ANLÄGGNINGS- OCH FÖRBRÄNNINGSTEKNIK 1234

Bränslehandboken 2012

Birgitta Strömberg, Solvie Herstad Svärd

värmeforsk

Bränslehandboken

2012

The Fuel Handbook

2012

Birgitta Strömberg, Solvie Herstad Svärd

A08-819

VÄRMEFORSK Serviceaktiebolag
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
April 2012
ISSN 1653-1248

Förord

Denna handbok för förnyelsebara bränslen vänder sig till kraft- och värmeproducenter främst i Sverige. Denna utgåva av Värmeforsks Bränslehandbok är nummer tre sedan 2005. Valda delar av Bränslehandboken utkom i en engelsk översättning 2006. (Värmeforskrapport nr 971).

Medarbetare i arbetet med uppdatering av Bränslehandboken har varit Henrik Brodén och Olof Stålnacke.
Riskvärdering vid hantering av olika bränslen har utförts av Grontmij.

Vi vill tacka referensgruppen för värdefulla synpunkter på Handboken under projektet.

Vi vill också tacka alla som bidragit med analyser och drifterfarenheter av olika bränslen som finns i handboken.

I ett så här omfattande arbete är det oundvikligt att fel kan ha smugit sig in trots att många redan hjälp till att granska materialet. Vi är tacksamma om du hör av dig till Värmeforsk om du upptäcker något anmärkningsvärt så att vi får en chans att korrigera till nästa version.

Stockholm och Göteborg
Birgitta Strömberg och Solvie Herstad Svärd

Sammanfattning

Bränslehandboken erbjuder en metod för att ur anläggningsägarens perspektiv bedöma olika bränslen på marknaden. Bränslehandboken omfattar förnyelsebara bränslen (dock ej hushållsavfall) som är tillgängliga på den svenska marknaden eller som bedömts ha en potential att bli tillgängliga inom en tidsperiod av 10 år.

Handboken omfattar i denna version 31 bränslen. Analysdata, speciella egenskaper, driftserfarenheter, rekommendationer, risker förknippade med bränslena samt litteraturreferenser redovisas för samtliga bränslen.

Handboken innehåller dessutom:

- En vägledning för hur man bör gå till väga när man planerar att introducera ett nytt bränsle. Vilka analyser och tester man bör genomföra för att minska riskerna för problem.
- Lagstiftning och skatter relevanta för energiproduktion finns sammanfattade, med hänvisningar till var aktuell lagtext går att återfinna.
- Teori och bakgrund för att bedöma bränslens förbrännings-, ask- och korrosions-egenskaper, samt olika metoder som kan användas för bedömningarna.
- Sammanställning av standarder, databaser och handböcker för biobränslen och andra fasta bränslen, där ytterligare information om bränslen kan hittas med hjälp av länkar till olika internetadresser.

I Bilagorna finns:

- Ett förslag till mall för proveldning av bränslen.
- Beräkningsrutiner för bl.a. värmevärden, rökgassammansättning, nyckeltal och fri fall hasighet hos partiklar. Dessutom finns omräkningsrutiner mellan olika enheter för en mängd olika tillämpningar.

Summary

This fuel handbook provides, from a plant owner's perspective, a method of evaluating different fuels on the market. The fuel handbook concerns renewable fuels (but not including household waste) that are available on the Swedish market today or which are judged to have the potential to be available within the next ten years.

The handbook covers 31 different fuels. Analysis data, special properties, operating experience, recommendations, risks when using the fuels and literature references are outlined for each fuel.

The handbook also contains:

- A proposed route to follow when one plans to introduce a new fuel. Those analyses and tests one should perform to reduce the risk of encountering problems.
- A summary of relevant laws and taxes for energy production, with directions as to where relevant documentation can be found.
- Theory and background to judge the fuel's combustion, ash and corrosion properties and different methods that can be used for such judgement.
- Summary of standards, databases and handbooks for biomass fuels and other solid fuels, and details on where further information on the fuels can be found, with the help of links to different web sites.

Included in the annexes are:

- A proposal for a standard procedure for test burning of fuel.
- Calculations procedures for, amongst others, heating value, flue gas composition and key numbers. In addition, calculations routines for different units for a number of different applications are provided.

Förkortningar

ABP	Animaliska BiProdukter
AFS	Arbetsmiljöverkets författningssamling
ASTM	American Society for Testing Materials
ATEX	Appareils destinés à être utilisés en **AT**mosphères **EX**plosibles
BFB	bubblande fluidiserad bädd
BS	Brittisk standard
BSE	bovin spongiform encefalopati, ("galna ko-sjukan")
CEN	European Committee for Standardization (Comité Européen de Normalisation).
CFB	cirkulerande fluidiserad bädd
CFBA	controlled fluidised bed agglomeration
DIN	Deutsches Institut fur Normung
FB	fluidiserad bädd, BFB och/eller CFB
GROT	GRenar och Toppar (skogsbränsle)
HVC	Hetvatten central
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
ISO	International Organization for Standardization.
LCA	livscykel analys
LRF	Lantbrukarnas riksförbund
LSO	Lagen om skydd mot olyckor
MAF	Melt area fraction (högtemperaturmikroskopi)
MBM	Kött- och benmjöl (Meat and bone meal)
MSB	myndigheten för samhällsskydd och beredskap
NFS	naturvårdsverkets författningssamling
ÖH	Överhettare
PB	pulverbrännare
PKS	palm kernel shells
PTP	bränsleblandning av papper-trä-plast
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
RGR	rökgasreningsrester
SBA	systematiskt brandskyddsarbete
SCR	selektiv katalytisk NO_x-reduktion
SFS	svensk författningssamling
SIS	Swedish Standards Institute
SJVFS	jordbruksverkets författningssamling
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
SNCR	selektiv icke-katalytisk NO_x-reduktion
SP	Sveriges provnings- och forskningsinstitut
SS	svensk standard
TGA	termovåg (termogravimetri)
TPS	TPS Termiska Processer AB
TS	torrsubstans
VOC	flyktiga organiska föreningar (volatile organic compounds)

Innehållsförteckning

1 INTRODUKTION 1

1.1 HANDBOKENS UPPLÄGG 1

2 METOD FÖR INTRODUKTION AV NYA BRÄNSLEN I KRAFT- OCH VÄRMEPRODUKTION 3

2.1 ALLMÄN BESKRIVNING AV BRÄNSLEHANDBOKENS ANVÄNDNING 3
2.2 LÄSANVISNING 5
2.3 "CHECKLISTA" FÖR INTRODUKTION AV NYA BRÄNSLEN 6
2.4 RISKER VID ANVÄNDNING AV OLIKA BRÄNSLEN 12
2.5 PROVTAGNING 18
2.6 ANALYSER 20
2.7 VAL AV BRÄNSLE UTGÅENDE FRÅN TYP AV ANLÄGGNING. 21
2.8 REKOMMENDERAD TEKNIK FÖR OLIKA BRÄNSLEN 24
2.9 METODER FÖR ATT TESTA BRÄNSLE- OCH ASKEGENSKAPER 31
2.10 REFERENSER 33

3 BRÄNSLEN 34

3.1 TRÄDBRÄNSLEN (SPÅN, FLIS, PULVER, PELLETS, BRIKETTER) 36
3.2 SKOGSBRÄNSLEN (GROT, GRÖN GROT, STUBBAR) 51
3.3 RETURTRÄ (ÅTERVUNNET TRÄDBRÄNSLE) 66
3.4 SALIX 79
3.5 BARK 91
3.6 LÖVTRÄD/ÄDELTRÄD 109
3.7 HALM 118
3.8 RÖRFLEN 131
3.9 HAMPA (INDUSTRIHAMPA) 143
3.10 SPANNMÅL 150
3.11 SPANNMÅLSAVRENS 160
3.12 OLIVAVFALL 167
3.13 KAKAOBÖNOR 174
3.14 CITRUSAVFALL 180
3.15 SHEANÖTTER 186
3.16 JORDNÖTSSKAL 191
3.17 SOLROSSKAL 195
3.18 PKS (PALM KERNEL SHELL) 199
3.19 RÖTSLAM/KOMMUNALT SLAM 203
3.20 SKOGSINDUSTRIELLA SLAM 219
3.21 GÖDSEL 244
3.22 PAPPER-TRÄ-PLAST (PTP) 259
3.23 GUMMI 270
3.24 LÄDERSPILL 281
3.25 KARTONGREJEKT 286
3.26 KÖTT- OCH BENMJÖL (MBM) 292
3.27 BIOMAL 300
3.28 TORV 311
3.29 LIGNIN 323
3.30 BIOOLJOR 333
3.31 TALLBECKSOLJA 339

4 ÅTGÄRDER FÖR ATT MINIMERA BRÄNSLERELATERADE DRIFTSPROBLEM 343

4.1 INLEDNING 343
4.2 TILLFÖRSEL AV ADDITIV 345
4.3 REGENERERING AV BÄDD OCH BYTE AV BÄDDMATERIAL 348
4.4 BRÄNSLERELATERADE DRIFTSPROBLEM-ÅTGÄRDER 349
4.5 BELÄGGNINGAR PÅ VÄRMEÖVERFÖRANDE YTOR SOM KVARSTÅR EFTER SOTNING 353
4.6 REKOMMENDATIONER TILL ANLÄGGNINGAR 357
4.7 REFERENSER 358

5 LAGSTIFTNING OCH SKATTER 360

5.1 REFERENSER 364

6 BAKGRUND/TEORI: METODER FÖR ATT BEDÖMA FÖRBRÄNNINGSEGENSKAPER365

6.1 KEMISK KARAKTERISERING 365
6.2 FYSIKALISKA BESTÄMNINGAR 371
6.3 REFERENSER 380

7 BAKGRUND/TEORI ASKA 382

7.1 VAD ÄR ASKA? 382
7.2 ASKFRAKTIONER VID FÖRBRÄNNING 382
7.3 METODER FÖR KARAKTERISERING AV ASKANS SMÄLTBETEENDE 390
7.4 EMPIRISKA INDEX OCH NYCKELTAL 399
7.5 REFERENSER 407

8 METODER FÖR BEDÖMNING AV KORROSIONSBENÄGENHET 409

8.1 ÖVERHETTARKORROSION 409
8.2 LÅGTEMPERATURKORROSION 411
8.3 ELDSTADSKORROSION 411
8.4 METODER FÖR ATT MÄTA KORROSION 412
8.5 HUR UNDVIKER MAN KORROSION? 417
8.6 REFERENSER 418

9 STANDARDER, HANDBÖCKER OCH DATABASER 420

9.1 STANDARDER 420
9.2 HANDBÖCKER 422
9.3 BRÄNSLEDATABASER 425

Bilagor

BILAGA A – BERÄKNINGSRUTINER

BILAGA B – BERÄKNING AV FRI FALLHASTIGHET

BILAGA C – MALL FÖR PROVELDNING AV BRÄNSLEN

1 Introduktion

Denna handbok för förnyelsebara bränslen vänder sig till kraft- och värmeproducenter i Sverige. Bränslehandboken erbjuder en metod för att ur anläggningsägarens perspektiv bedöma olika bränslen på marknaden. Bränslehandboken omfattar förnyelsebara bränslen (dock ej hushållsavfall) tillgängliga på den svenska marknaden eller som bedömts ha en potential att bli tillgängliga inom en tidsperiod av 10 år. Branschens erfarenheter av dessa bränslen redovisas där uppgifter finns. Bränsledata tillgängliga i litteraturen har sammanställts och kompletterats med experimentella försök.

För att underlätta en uppdatering av handboken rekommenderas att i kommande Värmeforskprojekt mer fullständiga analyser av bränslen ingår, samt dokumentation av driftsbetingelser t.ex. enligt det förslag till mall för test som finns i bilaga C samt även i Värmeforsks mäthandbok.

1.1 Handbokens upplägg

Handboken är uppdelad i ett antal kapitel enligt följande:
Kapitel 1. Allmänt om Handboken
Kapitel 2. Metod för introduktion av nya bränslen
Kapitel 3. Fakta om olika bränslen
Kapitel 4. Metoder för att minimera bränslerelaterade driftproblem
Kapitel 5. Lagstiftning, skatter och avgifter
Kapitel 6. Metoder för att bedöma förbränningsegenskaper
Kapitel 7. Metoder för att bedöma askegenskaper
Kapitel 8. Metoder för att bedöma korrosionsegenskaper
Kapitel 9. Databaser, handböcker och standarder

Kapitel 2 avser att ge en vägledning om hur man ska gå till väga när man planerar att introducera ett nytt bränsle. Hur man tar prover, vilka analyser och tester man bör genomföra samt översiktlig riskbedömning vid användning av olika bränslen.

Kapitel 3 behandlar fakta med bl a analyser och driftserfarenheter av olika bränslen.

Kapitel 4 ger en översikt av tillgängliga metoder för att minska bränslerelaterade driftproblem.

Kapitel 5 sammanfattar lagstiftning och skatter med hänvisningar till var den aktuella lagtexten går att återfinna.

Kapitel 6 redovisar teori och bakgrund för olika metoder för att bedöma ett bränsles förbränningsegenskaper.

Kapitel 7 berör teori och bakgrund om askor och askegenskaper samt olika metoder att bestämma dessa för bränslen.

Kapitel 8 behandlar teori och bakgrund om korrosion samt olika metoder att bedöma ett bränsles korrosionsegenskaper.

Kapitel 9 visar exempel på databaser, handböcker och standarder för biobränslen och andra fasta bränslen. Här finns bl.a. länkar till olika internetadresser där information om bränslen kan hittas.

I **Bilaga A** finns beräkningsrutiner för att beräkna värmevärden, bränsleanalyser, asksammansättning, emissioner samt nyckeltal. Bilagan erbjuder möjligheter att räkna om värden mellan olika enheter samt möjligheter att beräkna nyckeltal för blandningar av upp till fem bränslen.

I **Bilaga B** finns beräkningsrutiner för att beräkna fria fallhastigheten hos partiklar.

I **Bilaga C** finns ett förslag till mall för standardförsök med rekommendationer om hur proveldningar bör dokumenteras, så att mycket information kan erhållas med en relativt liten insats. Om proveldningar genomförs på samma sätt vid många olika anläggningar underlättar det ett ökat erfarenhetsutbyte.

2 Metod för introduktion av nya bränslen i kraft- och värmeproduktion

2.1 Allmän beskrivning av Bränslehandbokens användning

Introduktion av ett nytt/ny kvalitet av bränslen kan orsaka problem med driftstörningar om man inte har tillräcklig kännedom om bränsleegenskaperna för att kunna bedöma hur bränslet kommer att fungera i den valda förbränningssituationen.

I detta arbete finns en sammanställning av identifierade problem och egenskaper hos olika bränslen men också metoder för att identifiera dessa problem och egenskaper samt hur de kan påverka driften i en anläggning.

Vid introduktionen av ett nytt bränsle är det givetvis intressant att veta hur bränslets egenskaper stämmer överens med de lokala möjligheterna till hantering. Är bränslet möjligt att lagra och finns tillräckliga lagringsarealer och volymer? Är bränslehanteringssystemet avpassat för bränslets egenskaper eller kommer det att vara nödvändigt att skaffa nya bränslefickor, matningsutrustningar etc? Typexemplet är om man vill ersätta ett relativt högvärdigt bränsle som flis med riven halm där densiteten är låg men som också har helt andra transportegenskaper än flisen.

Speciellt om vi ger oss in på att ersätta biobränslen med retur- eller avfallsbränslen av allehanda slag, vad kommer det att medföra när det gäller tillstånden för anläggningen och vilka lagar och förordningar måste man ta hänsyn till? Om vi till exempel vill samelda en utsorterad plastfraktion med vår flis måste pannan och kringutrustningen uppfylla kraven i EU:s avfallsförbränningsdirektiv. Vilka lagar styr användningen av animala restprodukter och var kan jag söka tillstånd för att elda just den produkten?

Givetvis är det inte bara nödvändigt att ha de yttre ramarna för användningen klar för att det skall vara grönt ljus till att köpa ett parti av ett nytt bränsle, vi måste också förvissa oss om, så långt som möjligt, att det verkligen går att använda bränslet i vår anläggning utan att vi drabbas av oacceptabla driftproblem. Här finns ett helt spektrum av frågeställningar som vi helst vill ha ett så bra svar på som möjligt:

- För det första är anläggningen utformad på ett sådant sätt att vi kan använda bränslet?

- Har bränslet ett tillräckligt värmevärde för att de ska kunna eldas utan att det är nödvändigt att ändra inmurning. Typexemplet här är ju om vi vill ersätta en del biobränsle med avfallsslam, som säkert kommer att vara en aktuell frågeställning för fler energiverk. Här kommer driften eller inblandningsgraden säkert att påverkas av slammets höga vattenhalt. Motsatsen kan vara de fall där man ersätter en del fuktiga biobränslen med energirik plast. Då kan vi riskera att temperaturerna blir för höga om pannan är för mycket isolerad.

- Riskerar vi att hamna i en situation där vi får osedvanligt mycket oförbrända partiklar i flygaskan på grund av att bränslet är så finkornigt att det följer med rökgasen ut i stoftavskiljaren utan att hinna brinna färdigt?
- Finns det en risk att förbränningstemperaturen förändras så kraftigt att vi får en menlig förändring av värmebalansen? Här skulle man till exempel kunna tänka sig att tillsatsen av rötslam i exemplet ovan medför att förbränningstemperaturen sjunker men rökgasvolymen ökar, vilket förflyttar värmeupptagningen från eldstaden till konvektionsstråket. Den ökade rökgasvolymen kanske också medför att den uttagna panneffekten reduceras på grund av den förändrade värmeupptagningen men också på grund av ökad stofthalt, ökade gashastigheter och liknande följdeffekter. Givetvis kan vi förvänta en större belastning på stoftavskiljningen.
- Ett mycket centralt problemområde man står inför när man överväger att börja använda ett alternativt bränsle är förändrade askegenskaper. Dessa kommer inte bara att påverka mängden och kvalitén på askan som matas ut, utan även påverka hur bränslet kan eldas och vilka förändrade driftsvillkor och underhållsbehov vi kommer att få. Om vi återvänder till halm som ersättningsbränsle för träflis kan vi konstatera att risken för olika typer av slaggnings- och påslagsproblem säkert kommer att öka betydligt vilket i sin tur ökar kravet på rengöring, både i form av regelbunden sotning men säkert också mer omfattande rengöring av pannan. En hög klorhalt i halmaskan kan dessutom öka korrosionshastigheten i olika delar av pannan och minska livslängden för kylytorna.
- Vi måste även ta oss en funderare på om vi kan förvänta oss andra typer av korrosionsproblem i anläggningen. Kommer till exempel rökgaskondenseringsutrustningen att klara av att vi eldar ett bränsle med större andel sura gaser (klor och svavelföreningar) eller kommer det att bli nödvändigt att byta konstruktionsmaterial eller asfaltera/gummera anläggningen?
- Om vi vill ersätta ett relativt harmlöst biobränsle med ett avfallsbränsle måste vi kunna bedöma både förändrade reningskrav och emissionsövervakning. Finns det risk för dioxinbildning och måste vi förändra kontrollprogrammet för anläggningen?
- Det finns en allmän ambition att så långt det är möjligt återanvända aska, som jordförbättringsmedel och gödsel för att återföra mineraler till jord- och skogsbruk. Vad händer då med askan om vi ersätter ett biobränsle med returbränsle eller avfallsprodukter? Vilka förändrade kontroller måste tillgripas eller måste askresterna deponeras?

Till sist måste du som bränsleköpare göra en bedömning av om kostnadsbesparingen för att använda ett, förhoppningsvis, billigare alternativbränsle inte äts upp av ökade investeringar, mer omfattande drift och underhåll och ökade kostnader för restprodukthanteringen. I det här dokumentet har vi försökt att sammanställa ett antal hjälpmedel för dig att göra en säkrare bedömning och på ett tidigare stadium.

2.2 Läsanvisning

I avsnitt 2.3 finns en ”checklista” som anger hur man bör gå tillväga för att bedöma om ett nytt bränsle kan användas i en specifik förbränningsutrustning. ”Checklistan” innehåller information om lagstiftning och tillstånd som kan vara relevant. Bedömningen kan utgå antingen från ett givet bränsle eller från en given förbränningsanläggning. Generella rekommendationer om blandning av bränslen ingår.

I avsnitt 2.4 finns en sammanställning av generella risker i samband med användning av olika bränslen. Mer specifika risker för varje enskilt bränsle återfinns i kapitel 3 under respektive bränsle.

De flesta analyser, metoder och bedömningar kräver att bränslet är analyserat på någon eller några specifika komponenter. Om dessa analyser ska vara representativa för bränslet krävs att provtagning och provreducering sker på ett korrekt sätt. I avsnitt 2.5 sammanfattas viktig information om provtagning och analys av bränslen samt hur detta ska utföras.

I avsnitt 2.6 visas på vilka analyser som är lämpligt att utföra för olika kategorier av bränslen.

I avsnitt 2.7 har vi utgått från typ av anläggning och en sammanställning över vilka krav som ställs på ett bränsles egenskaper beroende på typ av förbränningsanläggning redovisas i Tabell 2.7.1.

I avsnitt 2.8 har vi istället utgått från bränslet och en sammanställning av specifika egenskaper, viktiga parametrar och lämplig förbränningsutrustning med utgångspunkt från bränsleklass finns sammanställt Tabell 2.8.1.

I avsnitt 2.9 har olika metoder för att bedöma bränsle- och askegenskaper sammanställts. I Tabell 2.9.1 finns en sammanställning av olika metoder som kan användas för att bedöma bränsleegenskaper. I Tabell 2.9.2 finns motsvarande sammanställning av metoder för att bedöma askegenskaperna hos olika bränslen.

2.3 "Checklista" för introduktion av nya bränslen

Vid introduktion av ett nytt bränsle kan man vid bedömningen utgå antingen efter ett givet bränsle eller från en given förbränningsanläggning. I Tabell 2.3.1 finns en sammanställning av viktiga frågeställningar när ett nytt/nya bränslen ska introduceras, med hänvisningar till avsnitt där utförligare information finns att hitta.

Tabell 2.3.1 Checklista för introduktion av nya bränslen.
Check list for introduction of new fuels.

Frågeställning	**Avsnitt**	**Speciell information**
Är bränslet ett avfallsbränsle?	Se 0	Tabell 2.3.2
Vilka tillstånd behövs?	Se 2.3.2	
Vilken förbränningsteknik ska användas?	Se 2.3.3 och 2.7	Tabell 2.7.1, Tabell 2.7.2
Vilka bränslen är tänkbara?	Se 2.3.4 och 3	Tabell 2.8.1
Vad gäller för bränsleblandningar?	Se 2.3.5 och 2.6.4	
Hur kan askan återvinnas/hanteras?	Se 2.3.6	
Vad gäller för arbetsmiljö/säkerhet?	Se 2.4	
Hur tar man prov?	Se 2.5	
Vad ska analyseras?	Se 2.6	
Vilka testmetoder finns?	Se 2.9	Tabell 2.9.1, Tabell 2.9.2

2.3.1 Är bränslet ett avfallsbränsle?

Oavsett vilken teknik man avser att använda vid förbränningen är det viktigt att klarlägga om bränslet är ett avfallsbränsle som omfattas av reglerna för avfallsförbränning, (SFS 2002:1060) eller omfattas av andra särskilda regler som t.ex. om animaliska biprodukter. (Se även kapitel 5 Lagstiftning.) Exempel på avfallsbränslen som inte omfattas av avfallsförbränningsdirektivet (se Tabell 2.3.2).

Tabell 2.3.2 Exempel på avfallsbränslen som inte omfattas av Förordning (SFS 2002:1060) om förbränning av avfall).
Examples of waste fuels excluded from the legislation on combustion of waste (SFS 2002:1060).

Bränslen som inte omfattas av avfallsförbränningsdirektivet enligt SFS 2002:1060	**Exempel på bränslen[1]**
Vegetabiliskt jord- och skogsbruksavfall	GROT, halm, kakaobönor, spannmål
Vegetabiliskt avfall från livsmedelsindustrin, om den energi som alstras återvinns.	Sheanötter, citruspellets, spannmålsavrens
Vegetabiliskt fiberhaltigt avfall som uppstått vid produktion av nyfiberpappersmassa eller vid pappersproduktion, om avfallet förbränns på produktionsplatsen och den energi som alstras återvinns.	Skogsindustriella slam som förbränns på produktionsplatsen. *Anm.* Gäller inte för alla slam. Avsvärtningsslam är t ex inte undantaget
Träavfall, med undantag för träavfall som till följd av ytbehandling eller behandling med träskyddsmedel kan innehålla organiska halogenföreningar eller tungmetaller inklusive sådant träavfall från bygg- och rivningsverksamheter.	Spån, obehandlat returträ.
Djurkroppar i den mån inte annat följer av andra föreskrifter om djurkroppar.	*Anm.* Omfattas av Jordbruksverkets regelverk

[1]Exempel på bränslen finns inte i förordningen utan är en tolkning av texten

2.3.2 Tillstånd

Enligt **förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd** gäller tillståndsplikt eller, för mindre anläggningar, anmälningsplikt för förbränningsanläggningar för produktion av kraft och värme. Vilka anläggningar som är tillståndspliktiga respektive anmälningspliktiga och vilka instanser som är beslutande framgår av bilaga till nämnda förordning.

2.3.2.1 Animaliskt avfall

När det gäller animaliskt avfall finns särskilda regler. Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1069/2009 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter och därav framställda produkter som inte är avsedda att användas som livsmedel. Jordbruksverket är tillsynsmyndighet och lagstiftning och tolkning av densamma finns på deras hemsida.
Avfall Sverige har en utmärkt sammanställning av lagstiftningen på området.

2.3.3 Val av bränsle utgående från förbränningsteknik

Olika förbränningstekniker ställer skilda krav på bränsleegenskaperna för att problem ska undvikas och/eller minimeras. I Tabell 2.7.1 finns en sammanställning av vilka bränsleegenskaper som är betydelsefulla för olika förbränningstekniker. Tabellen är avsedd som en vägledning om vilka krav man ska ställa på bränsleegenskaperna för en viss förbränningssituation.

I Tabell 2.7.2 sammanfattas betydelsen av olika bränsleparametrar för förbränning, drift och utrustningsbehov.

När man vet vilka bränsleegenskaper som är av betydelse för anläggningen och man vill testa sitt bränsle finns det ett flertal metoder att tillgå för att utföra dessa tester. Metoder för att bestämma bränsleegenskaper finns listade i Tabell 2.9.1. Några av testerna kan utföras på anläggningen, medan andra kräver speciallaboratorium.

Askegenskaperna hos bränslet är av stor betydelse för bl. a påslag och korrosion och det finns ett flertal metoder som kan användas för att analysera dessa. I Tabell 2.9.2 redovisas olika metoder för att bedöma bränslets askegenskaper. Bland dessa metoder finns också, precis som för bränsleegenskaperna, sådana som relativt enkelt kan utföras på anläggningen, medan andra kräver specialanalyser.

2.3.4 Val av bränsle utgående från bränsleklass

Om man istället utgår från ett valt bränsle kan man i Tabell 2.8.1 se vilka speciella egenskaper som finns för de bränslen som ingår i Handboken. Tabellen summerar mycket kortfattat den information som finns för varje bränsle i kapitel 3 och kan användas som en första rekommendation på vilka bränslen som är lämpliga för olika typer av förbränningsutrustningar. Hänvisningar finns till aktuellt avsnitt där utförligare information om sammansättning, driftserfarenheter, lagstiftning och referenser går att hitta.
Exempel: Om jag vill inkludera bark i bränslemixen kan jag förvänta mig ökade NO_x emissioner och måste då veta/se till att min reningsutrustning klara detta.

2.3.5 Bränsleblandning

Endast ett fåtal bränslen används som "rena" bränslen. Dit hör t.ex. träpellets/briketter, halm i speciella pannor och flytande bränslen som tallbecksolja samt animaliska- och vegetabiliska fetter. För övriga bränslen sker oftast sameldning med en varierande bränsleblandning. En viktig anledning till att blanda bränslen är att få ett jämt värmevärde. Blandningens utformning beror ofta på tillgång och pris. Hur blandningen utformas beror ofta på erfarenhetsmässiga bedömningar av de ingående bränslena.

Panndesignen, liksom matningsutrustning är viktig för vilken typ av bränsleblandning som kan användas. Bränslets fysikaliska egenskaper kan avgöra vilket/vilka bränslen som kan blandas.

Viktiga parametrar att tänka på är:

- Omblandningen av de ingående bränslena är mycket viktig för att t.ex.
  - få en stabil förbränning
  - undvika lokala sintringar
  - kunna utnyttja olika bränslens positiva egenskaper
  - få effekt av svavelrika bränslen för att undvika/minska korrosion och påslag
- Bränslen med stor skillnad i partikelstorlek/form kan kräva speciell hantering som t.ex. extra bränsleberedning i form av kvarnar eller separata bränslematnings-system.
- Stora skillnader i fukthalt mellan bränslena kan kräva speciallösningar för bränslematningen.
- Torrhalten på bränsleblandningen bör vara > 40 % för att det ska bli energivinst i pannor utan rökgaskondensering.

Den kemiska sammansättningen av de ingående bränsleslagen har stor betydelse för hur bra en blandning kan fungera. Generellt gäller att:

- Svavelrika bränslen som t.ex. torv, rötslam och däck kan förbättra egenskaperna hos trädbränslen med höga alkalihalter.
- Bränslen med höga asksmältpunkter kan förbättra egenskaperna för jordbruks-bränslen som halm och spannmål med låga asksmältpunkter.
- En mycket låg inblandningsgrad (< 2-3%) av ett "besvärligt" bränsle i en fungerade bränslemix brukar inte förorsaka problem. Ett undantag är dock spannmålsavrens vid höga förbränningstemperaturer, som redan i mycket små mängder kan ge problem med sintringar.

För att kunna elda **returbränslen** i en biobränslepanna kan tilläggsinvesteringar krävas för att uppfylla kraven i avfallsförbränningsdirektivet. Detta gäller speciellt för mindre

anläggningar med enklare rökgasrening. Investeringar som krävs för att gå över till samförbränning beror på typ av anläggning samt vilket bränsle som ska användas:

- Rökgasreningsutrustning av lämplig typ
- Mätutrustning
- Utrustning för hantering av avfallsbränslet (t.ex. rivare, transportband, kran bränslelager)

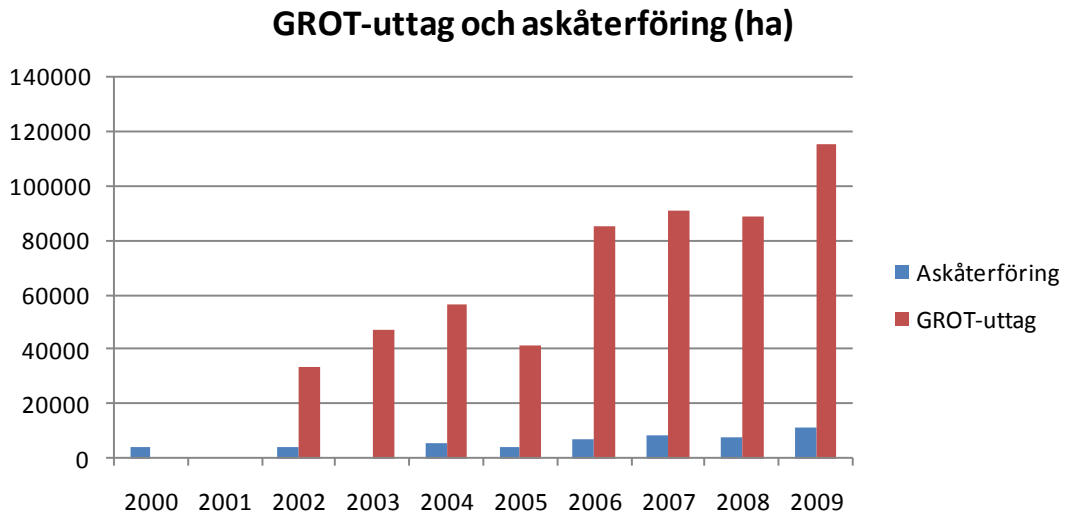
Inblandningsgraden av avfallsbränslet har betydelse för lönsamheten av investeringarna. För mindre anläggningar kan det också vara svårt att klara kravet på 850 °C i 2 sekunder, speciellt vid låglast. Kostnader för personalinsatser liksom även för mätutrustning kan bli också att bli höga i förhållande till den producerade värmemängden. [1]

2.3.6 Askanvändning

Askor från förbränning är definierat som ett **avfall** enligt miljölagstiftningen. Förbränningsaskor som återvinns i egenskap av avfall för anläggningsändamål berörs av regelverk för klassificering av avfall, transport av avfall, prövning av miljöfarlig verksamhet och dokumentation av hantering av avfall. I allmänhet kan sägas att varje steg i återvinningen av avfall förutsätter att verksamheten har förhandsprovats och godkänts av en tillsynsmyndighet.

Huvuddelen av de ca 1,5 miljoner ton askor som produceras årligen används i Sverige. Merparten används för sluttäckning av deponier. En avsättning som kommer att minska under den närmaste 10–årsperioden när deponierna är sluttäckta. En mindre andel askor används i anläggningsbyggen utanför deponier för att exempelvis stabilisera skogsbilvägar.

Askor från biobränslen bör enligt rekommendationer från Skogsstyrelsen återföras till skogen. Återföring sker dock i begränsad omfattning. 2009 återfördes aska till ca 10 000 ha medan man tog ut GROT från nästan 120 000 ha. Figur 2.3.1.



Figur 2.3.1 Grotuttag och askåterföring i Sverige 2000-2009. Skogsstyrelsen 2010/ Removal of forest residues and recycling of ash in Sweden 2000-2009.Swedish Forest Agency 2010.

Naturvårdsverkets Handbok om ”Återvinning av avfall i anläggningsarbeten” [2] innehåller bland annat en vägledning om när avfall kan användas utan anmälan till kommunen. I detta fall är nivåerna för innehåll av miljöskadliga ämnen så låga att det sannolikt inte är tillämpbart för askor. Handboken innehåller även exempel på när avfall kan användas som deponitäckning, vilket är den vanligaste formen för askanvändning. Handboken innehåller också vägledning om vilken information som behövs om avfallens egenskaper då man överväger en användning av avfallet i anläggningsarbeten.

Om en aska har en säker avsättning som är laglig kan den anses vara en biprodukt. Några avfall har fått kriterier för när de kan anses sluta vara avfall och bli en produkt enligt End of Waste kriterierna. Det finns ännu inte några kriterier som gäller för askor. Om en aska anses vara en produkt och dess användning till stor del beror på dess kemiska egenskaper skall den registreras enligt kemikalielagstiftningen REACH. Askor från anläggningar i Sverige finns registrerade i REACH.

Värmeforsks program ”Miljöriktig användning av askor” startades 2002 och har under perioden fram till 2011 finansierat mer än 130 olika projekt. Bland annat finns askdatabasen Allaska som fritt kan användas. Ett stort antal handböcker och riktlinjer för användning av askor finns framtagna inom programmet och kan kostnadsfritt laddas ner från Värmeforsks hemsida; www.varmeforsk.se/rapporter

2.4 Risker vid användning av olika bränslen

2.4.1 Allmänt

Riskbegreppet och ordet ”risk” definieras vanligtvis som en sammanvägning av sannolikheten för en negativ händelse och dess konsekvenser. I det riskarbete som utförts i denna handbok har en riskidentifiering utförts med förslag till förbättringar. Det har i detta arbete inte gjorts några försök till att värdera sannolikheter för skador eller kvantifiering av deras konsekvenser. Sådant arbete får istället genomföras på varje anläggning utifrån de speciella förutsättningar som råder just där. De risker som har identifierats för varje bränsle redovisas under respektive bränsleavsnitt och hänför främst till bränslets specifika egenskaper. De händelser som undersökts avser att belysa arbetsmoment eller delar i processen som vid olycka medför en konsekvens som påverkar följande områden:

- Miljö
- Hälsa/Arbetsmiljö
- Egendom

Då en potentiell risk identifieras kan man utföra riskreducerande åtgärder som riktar sig till att begränsa sannolikheten för att en händelse ska uppstå alternativt utförs konsekvenslindrande åtgärder för att begränsa effekten av händelsen.

Vid förbränningsanläggningar kan ett bränsle ge upphov till specifika risker för anläggningens drift och personal. Genom att belysa dessa risker kan värdering utföras vid val av bränsle samt vilka skydd som behövs för att minimera och hantera dessa identifierade risker. Detta avsnitt avser att beskriva det som ligger till grund för de bränslespecifika risker som identifierats och beskrivs under varje bränsle i kapitel 3. Det avser även att ge en inblick i hur riskinventeringen utförts samt beskriva allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan snarare är knutna till typen av anläggning.

2.4.2 Utförd riskinventering

I riskinventeringen ingår följande steg:

- Lossning av bränslet inom anläggningen
- Lagring av bränslet inom anläggningen
- Beredning av bränslet inom anläggningen
- Transport av bränslet inom anläggningen
- Förbränning av bränslet

Både bränslespecifika risker och risker av mer allmän karaktär har dokumenterats efter en framtagen checklista,[3].

2.4.3 Lagar och regler för riskarbete

Detta arbete avser inte att ersätta kravet eller behovet av att utföra riskanalys på en anläggning utan avser endast att belysa bränslespecifika risker i allmänhet. Stora variationer finns på de olika anläggningarna och därmed också skillnader i hanteringssteg vilket medför att en komplett riskanalys ändå alltid skall utföras för varje specifik anläggning.

Ett flertal av de risker som identifierats kräver att riskanalys utförs för att minimera uppkomsten arbetsmiljörelaterade risker samt minimerar konsekvensen för dem. De beskrivs och regleras av arbetsmiljölagen [4] och dess föreskrifter. Dessa föreskrifter är ett urval ur dem som vanligtvis skall beaktas vid arbete i en förbränningsanläggning:

- AFS 2009:02 Arbetsplatsens utformning
- AFS 2006:04 Användning av arbetsutrustning
- AFS 2006:6 Användning av lyftanordningar och lyftredskap
- AFS 2002:1 Användning av trycksatta anordningar
- AFS 2005:16 Buller
- AFS 2005:15 Vibrationer
- AFS 2005:1 Mikrobiologiska arbetsmiljörisker
- AFS 2003:3 Arbete i explosionsfarlig miljö
- AFS 1993:03 Arbete i slutet utrymme

Vid användandet av en maskin på en arbetsplats krävs att maskinen är CE-märkt och uppfyller kraven i Maskindirektivet (2006/42/EC) samt AFS 2008:3 Maskiner.

Då riskerna i arbetet bedöms som allvarliga eller det finns minst tio arbetstagare i verksamheten skall arbetsmiljöpolicy och rutiner dokumenteras skriftlig i form av ett systematiskt arbetsmiljöarbete och utföras enligt systematiskt arbetsmiljöarbete, AFS 2001:1.

Vanligt förekommande risker inom förbränningsanläggningar är risker knutna till brand och explosion. Ett grundläggande krav enligt Lagen om skydd mot olyckor (LSO) [5] är att åtgärder och utrustning skall vidtas av ägare eller nyttjanderättshavare för att förebygga brand och hindra eller begränsa skador till följd av brand. Ett systematiskt brandskyddsarbete (SBA) skall genomföras och dokumenteras där bland annat risken för uppkomst av brand, spridning av brand samt rutiner vid uppkomst av brand dokumenteras.

Arbetsmiljöverket ställer krav i en föreskrift (AFS 2003:3) att arbetsgivaren skall utarbeta ett explosionsskyddsdokument för arbetsplatser där explosionsrisk föreligger. Dokumentet skall innefatta en riskbedömning av explosionsrisker samt vilka organisatoriska och tekniska åtgärder som är utförda. Liknande krav på dokumentation ställs även i en föreskrift (SRVFS 2004:7) från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB). Områdesklassning skall utföras enligt följande standarder och anvisningar för klassning av explosionsfarliga områden.

- SEK handbok 426, "Klassning av explosionsfarliga områden - områden med explosiv gasatmosfär" (innehållande den europeiska standarden SS-EN 60079-10 med nationella tillägg i bilagor).
- SS-EN 50281-3, "Utrustning i områden med explosiv dammatmosfär - Del 3: Klassning av riskområden med explosiv dammatmosfär".

2.4.4 Allmänna risker med biobränslen

Nedan följer en redogörelse för risker som identifierats men som bedöms vara likvärdiga för flera bränslen och mer anläggningsspecifika. Faror och hälsorisker vid förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen samt förslag på förebyggande åtgärder finns i rapport 2011: 2 från Arbetsmiljöverket. [10]

Riskerna med lagring och transport av biologiskt material kan delas in i:

- Gaser, syrebrist
- Damm
- Brandrisker

Risker- gaser, syrebrist
Vid förvaring av biologiskt material i slutna utrymmen förbrukas syret och de giftiga gaserna kolmonoxid och koldioxid bildas och ackumuleras till farliga koncentrationer. I pelletsförråd är CO (kolmonoxid) den största faran. Vid förvaring av träflis och timmer är det syrebrist i kombination med förhöjda halter av CO_2 som utgör största risken. Även aldehyder, som kan vara irriterande för luftvägarna, kan bildas vid lagring av pellets.

2.4.4.1 Lagring av biobränslen

Risken för brandspridning är stor vid lagring av fasta bränslen. Konsekvensen vid dessa stora bränder är ofta påverkan på miljö i form av förorenat släckvatten, utsläpp vid brand samt brandgaser som påverkar andra verksamheter och hushåll. Den direkta konsekvensen för anläggningsägaren är dock förlorat lager men kan även resultera i stilleståndsproblematik och att förbränningsanläggningen hotas. Antalet personal som befinner sig i dessa anläggningar är oftast mycket begränsad och utrymning förväntas kunna ske på ett betryggande sätt. Vid bränder i lager bedöms det dock ej vara vanligt förekommande med allvarligare personskador eller dödsfall i samband med brand utan det är mest ekonomiska skador samt skador på miljö som sker. [12]

Riskerna som är förknippade med flytande biobränslen skiljer sig vanligtvis mot fasta bränslen. Vid hantering av flytande bränslen som klassas som brandfarlig vara skall kraven i föreskrifter från MSB samt Arbetsmiljöverket skall följas. Likaså skiljer sig principen för brandsläckning varvid en strategi samt val av släckmedel skall i förväg analyseras och bestämmas.

Andra risker som identifierats vid lagring är mikrobiell aktivitet, bränsleförsämring, bränsleras, självantändning och frysning men dessa risker är av mer bränslespecifik art och beskrivs därför närmare under respektive bränsle.

Förslag till riskreducerande åtgärder:

- Temperaturövervakning – En temperaturövervakning inom stackarna kan ge tidig varning om aktivitet som kan leda till självantändning och därmed kan förloppet hindras i tid.
- Avståndskrav mellan stackar och material med stor brandbelastning skall beaktas med avseende på att förhindra risken för spridning av brand. Avståndet ska visas genom utförd analys med avseende på värmestrålning, gnistbildning och vindförhållanden.
- Rasvinklar för respektive bränsle bör beaktas för att minimera personskador.
- Riskanalys ska utföras som visar hur förorenat släckvatten hanteras.
- Utrustning som skall användas (truck, hjullastare, flismaskin och dylikt) skall kontrolleras före användning i områden med lättantändligt material för att minska risken för antändning.

2.4.4.2 Beredning av bränsle

Beredning (flisning, krossning, sortering o.s.v.) av bränslet kan innefatta manuella arbetsmoment som riskerar att ge upphov till arbetsmiljörelaterade personskador såsom:

- Klämskador
- Krosskador
- Tippskador
- Skärskador
- Fallskador

Andra skador som kan uppstå vi beredning och annan hantering av fasta bränslen är:

- Skador orsakade av damm
- Skador orsakade av mikroorganismer

Damm förkommer främst där torra bränslen som exempelvis träpellets/briketter används. Även torv och lignin kan ge upphov till mycket damm. (Läs mer i respektive bränsleavsnitt i kapitel 3.)

Damm kan ge upphov till akuta och kroniska luftvägs- och hudbesvär. Exponering för trädamm orsakar irritation av ögon och övre luftvägar och kan vid långvarig exponering påverka lungfunktionen. Hudkontakt med trädamm kan orsaka båda irriterande och allergiska kontakteksem. [10]

Damm kan också ge upphov till dammexplosion. Risken uppstår när kornstorleken är mellan 100-400 µm (beroende på material) samt har en viss koncentration i en luft/partikelblandning. Den nedre explosionsgränsen är ca 30-60 g/m^3 och den övre explosionsgränsen är mellan 2000-6000 g/m3 (beroende på material). [6] Problematiken uppstår främst vid oförädlade biobränslen samt RT-flis [7] där fukthalten i ämnet även har betydelse men kan även uppstå till viss del för exempelvis pellets.

En undersökning hos 120 tillverkare och användare av förädlade bränslen av trä och torv visade på stora brister framförallt när det gällde riskbedömning för verksamheten. [11] I 70 % av de undersökta anläggningarna krävdes att riskbedömningen måste klargöras och dokumenteras. Exempel på kravinnehåll från Arbetsmiljöverket:

- Hanterade ämnens explosionsbenägenhet
- Tändkällor som kan starta en explosion
- Sannolikheter för att en explosionsfarlig atmosfär uppstår och antänds
- Områden som riskbedömts
- Rutiner som riskbedömts
- Utbildningskrav för de som vistas i explosionsfarlig miljö

Skador orsakade av mikroorganismer kan uppkomma vid hantering av fuktiga bränslen. Både bakterier och svampar förekommer och kan orsaka både akuta och kroniska lungsjukdomar. [10]

Förslag till riskreducerande åtgärder:

- Systematiskt arbetsmiljöarbete skall bedrivas och beskriva de risker, arbetsmoment samt vilken skyddsutrustning som ska användas för att minimera uppkomsten av arbetsmiljö- och personskador.
- I de utrymmen där risk för dammexplosion finns skall klassningsplaner utföras. ATEX (Explosiv Atmosfär) godkänd utrustning får endast användas inom klassat område, potentialutjämning skall utföras samt utrustning för att ge tryckavlastning för de bärande konstruktionerna i byggnadsdelen skall installeras.

2.4.4.3 Transport inom anläggningen

Transportsystemen inom anläggningen kan innebära risker i flera avseenden. Transportsystemet i sig är en potentiell tändkälla och kan resultera i en antändning av bränslet. Det kan bero på mekaniska fel, överhettade lager, gnistbildning eller överhettade elmotorer som kan antända närliggande damm eller material. [8] Brandspridning kan då ske beroende på transportsystemets konstruktion och utformning eller genom direkt brandspridning via transportör eller bränsle.

Stopp i transportsystemet medför även andra problem som ojämn bränsleinmatning och risk för friktion och därmed en ökad brandrisk. De olika typerna av transportörer inom en anläggning exempelvis skoptransportörer, skrapor, transportband och skruvar medför en ökad risk för brandspridning samt ”bakåtbrand” som kan sprida sig tillbaka till bränslelagret.

Andra problem som identifierats vid transportörer är t.ex. damning som förorsakat att branddetektor aktiverats och i sin tur startat sprinklersystem, och att föroreningar från bränslet fastnat i, alternativt slitit på transportsystemet.

Förslag till riskreducerande åtgärder:

- Använda gummitransportörer av självsläckande material. Flera material som tillverkas i enlighet med DIN 22109 samt brandtesten DIN 22118 finns på den svenska marknaden.
- Installation av automatiska släcksystem i form av exempelvis vattensprinklersystem.
- Installation av fysisk separation som fungerar som ”brandavskiljare” konstruktioner för att begränsa spridning av brand.
- Programmering av transportörer så att det stannar så brandspridning försvåras alternativt i de fall det finns fördel av att transportera brinnande bränsle till pannan. Detta bör analyseras i detalj.
- Installation av ett automatiskt detektionssystem som medför tidig detektion av en brand.
- Utforma elmotorer samt lager i transportörer så att överhettning ej sker.
- Installera brandgasventilation och/eller tryckavlastning i de fall dammexplosion kan förekomma i slutna transportörer.

2.4.4.4 Förbränning

Inom anläggningarna sker en kontrollerad förbränning varför det inte identifierats några generella förbränningstekniska risker. Bränslespecifika risker vid förbränning beskrivs närmare under avsnitt för respektive bränsle.

2.4.4.5 Askhantering

Många askor från eldning av biobränslen är starkt basiska. Askorna kan därför ställa höga krav på de askhanteringssystem som används på anläggningarna. Manuell hanteringen av aska kan därför resultera i arbetsmiljörelaterade skador. Även flygaskorna kan på grund av sina innehåll vara besvärliga att hantera. Askornas sammansättning varierar dock med olika bränslen varför de askrelaterade riskerna beskrivs noggrannare under respektive bränsle.

2.5 Provtagning

Provtagningen är det mest kritiska momentet vid kvalitetskontrollen av ett bränsle. För bulkmaterial gäller generellt att ca 80 % av felet ligger i provtagningen, ca 15 % vid provberedning och ca 5 % i själva analysen. Biobränslen, i synnerhet GROT och bark, är heterogena där fukthalten, askhalten och den kemisk sammansättning skiljer sig åt i de olika bränslepartiklarna. Den fundamentala principen för korrekt provtagning och provberedning är att varje enskild partikel i materialet, vid provtagning, neddelning och krossning/malning, ska ha samma möjlighet att ingå i det slutliga provet för analys. Vid värmevärdesbestämningar används ca 1g prov som exempels ska utgöra grund för värdering av 1000 tals ton bränsle. De olika momenten vid provtagning beskrivs i Svensk standard, som också är gemensam med den nya Europeiska standarden för provtagning och provberedning;

- SS-EN 14778:2011 **Fasta biobränslen – Provtagning**
- SS-EN 14780:2011 **Fasta biobränslen – Provberedning.**

Dessa nya standarder ersätter svenska standarder för provtagning och provreducering av Biobränslen och torv SS 187113 och SS 187114, och har förbättrats på en rad punkter.
I standarden för provtagning beskrivs olika provtagningssituationer, utrustning för provtagning samt formler för beräkning av provstorlek och antal delprov som krävs för att uppnå en given precision. Vidare finns guidelines för provtagning som bygger på omfattande forskning från EU-projektet Bionorm, där flera olika bränslen undersökts.

Information om standarder finns på SIS (Swedish Standards Institute) hemsida. Läs mer om standarder i kapitel 9.1.

2.5.1 Hur man tar prov?

En provtagningsplan tillsammans med ett provtagningscertifikat ska upprättas innan provtagningen sker. Detta för att provet ska kunna identifieras och det ska tydligt framgå vilka analyser som ska utföras. Olika analyser kräver olika provmängd, från ca 500 gram för fukthaltsmätning till 30 kg för bulkdensitets mätning. Det händer att laboratorierna inte får tillräckligt med prov för de analyser som ska utföras.

Vid provtagningen är det viktigt att skopan eller annan provtagningsutrustning har en öppning på minst 2,5 gånger så att minst 95 % av materialet kan passera.

Provtagning kräver resurser och är många gånger en avvägning vad som är praktiskt möjligt och också värdet på den leverans som ska provtas, t.ex. en lastbil med 35 ton bränsle eller en båtlast med pellets på 5000 ton. Generellt sett är det bättre att ta flera mindre delprov på flera provpunkter och slå samman dessa till ett laboratorieprov än att ta en större mängd på en enda provpunkt.
En provmängd på totalt ca 10 liter från en lastbil med ca 35 ton bränsle brukar i de flesta fall vara hanterbart för fukt-, askhalt och värmevärde.

2.5.2 Räkneexempel

Slumpmässiga provtagningsfel förekommer men särskilt för större leverantörer brukar det jämna ut sig över tiden. Systematiska fel i provtagningen kan leda till exempelvis fel fukthalt, som kan betyda avsevärda belopp över tiden.

Systematiskt fel (Bias) 1.0 % på fukthalt t.ex. pga. överrepresentation av finmaterial
Fall A
Värmevärde vid 49.0 % fukthalt: 8.5915 MJ/kg (2.386 MWh/ton)
Fall B
Värmevärde vid 50.0 % fukthalt: 8.3750 MJ/kg (2.326 MWh/ton)
Ger en differens på 2.5 % på Energiinnehållet

Bil nettovikt 35.0 ton GROT flis 200 kr/MWh
Fall A värde: 16702 kr
Fall B värde: 16282 kr
Differens: 420 kr
Motsvarar 10000 kr/dygn för 24 billass/dygn!

2.5.3 Automatiska provtagare

Automatiska provtagare kan t.ex. vara borrsonder som tar ut bränsle prover från lastbilar och s.k. NIR sonder (NärInfraröd spectrometri) som direkt kan ge besked om bl.a. fukthalten.
När automatisk utrustning används är det viktigt att den valideras mot de standardiserade manuella metoderna.

2.6 Analyser

Vad som ska analyseras bestäms av det ingående bränslet samt av vilken anläggning man avser att använda.

Ett homogent bränsle, t.ex. träpellets, som kommer från samma leverantör behöver inte analyseras lika ingående som returträ. I fallet med träpellets räcker det sannolikt med en bestämning av fukthalten, medan för returträ kan man behöva analysera både elementarsammansättning, huvudkomponenter och spårämnen förutom ask- och fukthalt.

För en anläggning som har tillstånd att elda avfall kan kraven på analys av spårämnen i bränslet vara mindre viktigt än för anläggningar som endast har tillstånd att elda biobränslen.

Många analyslaboratorier har speciella analyspaket som omfattar de vanligaste parametrarna där priset blir billigare än att analysera varje parameter för sig.

2.6.1 Homogent bränsle från samma leverantör

Om man endast använder ett slags bränsle från en eller ett fåtal leverantörer räcker det oftast med att man vid något/några tillfällen gör en fullständig analys av bränslet och vid kommande leveranser enbart kontrollerar t.ex. fukthalten. Observera att korrekt utförd provtagning enligt standard är av stor betydelse även vid dessa prover.

2.6.2 Homogent bränsle med många leverantörer

Även här kan det vara tillräckligt med att enbart bestämma fukthalten vid leveransen om bränslet tidigare genomgått en fullständig analys. Fukthaltsbestämningen kan kompletteras med stickprovskontroller av askhalt, svavel och klorhalt. Även här gäller att provtagning sker på ett standardiserat sätt.

2.6.3 Inhomogena och nya bränslen

För dessa bränslen bör analys av åtminstone följande parametrar utföras:

- Fukthalt
- Askhalt
- Värmevärde*
- Elementaranalys* (kväve, svavel och klor är viktigast)
- Asksammansättning huvudkomponenter. (Aluminium, fosfor, järn, kalcium, kalium, magnesium, mangan, natrium, kisel och titan)

  *med en komplett elementaranalys kan värmevärdet beräknas t ex med hjälp av Bilaga A.

Om man analyserar spårämnen i bränslet bör minst följande föreningar analyseras då gränsvärden för utsläpp av dessa element finns angivna i avfallsförbränningsdirektivet:

As (arsenik), Cd (kadmium), Cr (krom), Cu (koppar), Co (kobolt), Hg (kvicksilver), Mn (mangan), Ni (nickel), Pb (bly), Sb (antimon), Tl (tallium) och V (vanadin).

Zink (Zn) omfattas inte av avfallsförbränningsdirektivet, men är en viktig förening när det gäller korrosion och påslag.

2.6.4 Bränsleblandningar

När en blandning av olika bränsleslag används kan man antingen analysera varje bränsleslag för sig eller analysera den färdiga blandningen.

Fördelen med att analysera de enskilda bränsleslagen är att man kan utföra beräkningar av värmevärden och t.ex. nyckeltal och med ledning av resultaten avgöra hur stor andel av varje slag som ska ingå i bränslemixen. Om man använder separata inmatningar för de olika bränslena, kan detta vara en hjälp för att bestämma matningshastigheter i de olika linjerna.

Om man blandar bränslet innan inmatning, kan det vara en fördel att göra analysen på den färdiga bränsleblandningen. I detta fall är det synnerligen viktigt att omblandningen är god samt att bränsleprover sker på ett standardiserat sätt för att få en bra bild av bränslesammansättningen. Kostnaderna för analys av bränslet kan i detta fall reduceras. Om man praktiskt vill testa inverkan av ett nytt bränsle på sin bränsleblandnings ask- och/eller sintringsegenskaper är det en fördel att genomföra testerna på den nya bränsleblandningen

2.7 Val av bränsle utgående från typ av anläggning.

Om man väljer bränsle utgående från typ av förbränningsanläggning finns en sammanställning av vilka parametrar som kan vara viktiga att kontrollera i Tabell 2.7.1. Tabellen sammanfattar vilka krav som olika förbränningsteknik ställer på bränsle-egenskaperna. För varje egenskap refereras till avsnitt i kapitel 6 där mer information finns om t.ex. vilken betydelse egenskapen har för förbränningen samt vilka standarder och metoder som finns för att bestämma dessa.

Uppgifter för värmevärde, fukthalt och askhalt gäller inte för en specifik panna, utan för tekniken som sådan. När det gäller till exempel fukthalt så kan ju inte en och samma rostpanna klara variationer i fukthalt mellan 5-60%, däremot kan enskilda pannor konstrueras för att klara ett specifikt fukthaltsområde i detta intervall. Detsamma gäller för värmevärde och askhalt. För BFB/CFB-pannor gäller att enskilda anläggningar kan klara mycket större variationer av dessa parametrar än rostpannor.

Tabell 2.7.1 Förbränningsteknikens krav på bränsleegenskaper.
Important fuel characteristics for different kinds of combustion installations.

Egenskap	Pulverpannor	Rost	FB
Värmevärde Kapitel 6.1.3	Medelhög till hög > 15 MJ/kg	Stort spann från ca 5 MJ/kg till torra bränslen, beror på inmurning och panndesign.	BFB: 5-18 MJ/kg CFB: större spann än BFB ca 5 MJ/kg till torra bränslen (ca 30 MJ/kg)
Fukthalt Kapitel 6.1.1	< 15% fukthalt. Torrt bränsle nödvändigt för snabb antändning	Relativt okänslig för fukthalt. Spann 5-60%, beror på designen av pannan.	Höga fukthalter kan accepteras, beror på design. BFB: Spann 20-65 %. CFB: Spann 5-65 %
Askhalt Kapitel 6.1.2	< 1 % för konverterade oljepannor. Övriga pulverpannor mer okänsliga.	Rörlig rost okänslig. Stationär rost – låg askhalt.	Okänslig för aska med hög smältpunkt. Låg halt om besvärlig aska.
Flykthalt Kapitel 6.1.4	Beroende på panntyp, > ca 30 %.	Beror av rostkonstruktion.	Om hög flykthalt – större krav på bränslespridning
Partikelstorlek Kapitel 6.2.1	Beror på bränslereaktivitet men kräver finmalt bränsle. Partikelstorlek < 1 mm, ca 20 % < 0,1 mm	Risk för rostgenomfall och medryck med finkornigt bränsle. Beror av rostkon-struktion och primärluftandel. Kan designas för stor styckestorlek, upp till 3-4 dm	Finmalt bränsle riskerar att ryckas med och brinna högt upp i pannan. Partikelstorlek på 50-100 mm fungerar bäst.
Partikelform Kapitel 6.2.1	Partikelformen kan påverka flyt- och matningsegenskaperna, oregelbundna, taggiga och fibrösa partiklar ökar risk för strängbildning och ojämn matning	Har viss påverkan på tryckfall över bränslebädden. Avlånga bitar (slamsor, remsor) kan ge problem på rosten och även i bränslematning.	Kan ha betydelse för hur bränslet sprids på bädden.
Flytegenskaper Kapitel 6.2.3	Kan ha betydelse för utform-ningen av transportsystemet.	Viss betydelse för bränslematning	Skall kunna hanteras i cellmatare Viss betydelse för bränslematning
Matningsegenskaper/ Hållfasthet Kapitel 6.2.2	-	Bränslet får inte falla sönder och ge hög finandel.	Bränslet får inte falla sönder och ge hög finandel.
Densitet Kapitel 6.2.5	Kan ha betydelse för utform-ningen av transportsystemet.	Påverkar bränslehanteringen	Påverkar bränsle-hanteringen. Har betydelse för om bränslet brinner på ytan eller inne i bädden.
Alkaliinnehåll Kapitel 6.1.6	Högt innehåll ger generellt påslag. Hög förbränningstemperatur medför alkali i gasfas/flygaska.	Högt innehåll ger generellt påslag. Hög förbränningstemperatur medför alkali i gasfas/flygaska.	Högt innehåll kan medföra risk för bäddsintring samt risk för påslag
Klor- och svavelhalt Kapitel 6.1.5.2	Generell betydelse för hög- och lågtemperaturkorrosion samt för påslagsbildning	Generell betydelse för hög- och lågtemperaturkorrosion samt för påslagsbildning	Generell betydelse för hög- och lågtemperatur-korrosion samt för påslagsbildning. Möjlighet finns till effektiv svavel-infångning i bädden.

Tabell 2.7.2 ger vägledning om hur bränsleegenskaperna påverkar förbränning, drift och utrustningsbehov. Uppgifterna är hämtade från Värmeforskrapport 861. [9]

Tabell 2.7.2 Betydelsen av olika bränsleparametrar för förbränning, drift och utrustningsbehov [9].
Significance of different fuel characteristics for combustion, maintenance, and equipment requirements [9].

Bränsleegenskaper	**Effekt/Påverkan**	**Design/konstruktions-parametrar**
1) Sammansättning - % brännbart - elementarsammansättning - värmevärde	- Värmefördelning i pannan - Gräns för autotermisk förbränning - Luft, -ask- och rökgasflöden - Panneffekt - Beläggningar och korrosion	- Bränsleberedning - Ytskikt i panna och rökgaskanaler - Temperaturreglering - Styrning och hantering av flöden av luft, aska och rökgas
2) Partikelfördelning och förbränningsegenskaper - Fukthalt - Partikelstorlek - Partikeldensitet - Flyktigt/bundet kol - Syre/bundet kol	- Torktid - Tid för förgasning och förbränning - Partikelblandning och fördelning - Förbränningsstabilitet	- Behov av ytterligare lufttillförsel och tillförselpunkter - Bränsleberedning (partikelstorlek, blandning) - Inmatningsmöjligheter - Uppehållstid - förbränningsreglering
3) Askegenskaper - Smält/förångningspunkt - Kornstorlek - Kemisk sammansättning - Fysikalisk sammansättning	- Asksmältförlopp - Uppkomst av föreningar/ämnen med låg smältpunkt - Påslag - Partikelstorlek (FB)	- Utformning och material i konvektionsdelar - Partikelstorlek i bäddmaterial och kontroll - Lufttillförsel - Stoftrening - Möjlighet till additiv
4) Ämnen som kan ge luftemissioner - Svavel - Kväve - Klor/fluor - Tungmetaller	- Emissioner av NO_x, SO_x och HCl - Flyktiga tungmetaller	- Rening i/efter förbränning - Val av sorbenter, mängder - Hantering av fast avfall

2.8 Rekommenderad teknik för olika bränslen

Om man utgår från bränslet, finns en sammanställning i Tabell 2.8.1 av de bränslen som ingår i Handboken, med specifika egenskaper, viktiga parametrar samt lämplig förbränningsteknik för respektive bränsle. Tabellen kan användas som en första rekommendation för vilka bränslen som kan vara lämpliga för en viss typ av anläggning. För varje bränsle finns hänvisning till respektive avsnitt i kapitel 3 där bränslena beskrivs utförligare med analyser, driftserfarenheter, lagstiftning och litteraturreferenser.

Generellt för samtliga bränslen gäller:

- Lagring av fuktigt bränsle kan medföra risk för nedbrytning av bränslet och mögelbildning.
- Partikelstorleken och fukthalten kan påverka val av förbränningsteknik.
- En god omblandning är viktig om flera bränsleslag används för att få en stabil förbränning.
- Torrhalt på >45% krävs för energivinst för pannor utan rökgaskondensering.

Tabell 2.8.1 Egenskaper för olika bränslen. Rekommenderad teknik inom parenteser kan kräva extra behandling av bränslet innan förbränning eller att bränslet inte har testats med denna teknik./
Characteristics for different fuels. Recommendations inside brackets means that extra treatment of the fuel might be necessary or the fuel has not been tested with this technique.

Bränsle	Speciella egenskaper	Viktigt att tänka på	Lämpligt för
Trädbränslen			
Rent trä (spån, flis, pulver) Kapitel 3.1	Låg andel av aska och föroreningar Låg bulkdensitet Askan kan återföras	Fuktigt sågspån och bränslen med hög finandel kan vara problematiska. Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft	Alla typer av anläggningar
Förädlat trädbränsle (Pellets, briketter) Kapitel 3.1	Enhetlig styckestorlek bra transport- och matningsegenskaper Dyrare i inköp Askan kan återföras	Eventuella tillsatser kan ge problem i kvarnar, samt påslag i pannan Damningsproblem vid lossning Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft	Alla typer av anläggningar
Skogsbränslen			
Skogsbränsle (GROT, grön GROT, stubbar etc.) Kapitel 3.2	Hög fukthalt, Högre askhalt än rent trä Föroreningar både i bränslet och från medföljande material Askan kan återföras	Risk för sintring i FB Risk för korrosion och påslag Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft	Rost, FB
Övriga trädbränslen			
Returträ Kapitel 3.3	Förhöjda halter av aska och föroreningar. Billigare än andra trädbränslen Ojämn partikelstorlek Askan kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	RT-trä omfattas av avfallsförbränningsdirektivet om det finns tungmetaller och/eller halogenerade organiska föreningar. Högsta andelen föroreningar i minsta partikelfraktionen. Risk för korrosion och påslag. Emissioner: NO_x, SO_2, HCl, CO, kolväten, Dioxiner/furaner, tungmetaller och stoft Kan kräva extra rökgasrening för att uppfylla lagkrav.	Rost, FB Avfalls- och samförbränningsanläggningar
Energiskog (Salix) Kapitel 3.4	Förhöjda halter av tungmetaller Energikrävande vid malning Jämn partikelstorlek med liten finandel Askan kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	Kan ge intensiv förbränning. Hög barkandel påverkar förbrännings-egenskaperna. Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft, tungmetaller (Cd)	Rost- och FB
Bark Kapitel 3.5	Askhalten högre än för rent trä Hög fukthalt Ojämn partikelstorlek. Risk för ”slamsor” med t ex aspbark Hög halt av kalium och kalcium. Kvävehalten högre än i rent trä Priset ungefär som GROT (om TS är < 40 %) Askan kan återföras	Skruvar och blåsledningar kan ge ökad andel små partiklar. Risk för högtemperatur korrosion Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft	FB Rost

Bränsle	Speciella egenskaper	Viktigt att tänka på	Lämpligt för
Lövträd Kapitel 3.6	Hårda träslag Hög densitet Högt värmevärde Askan kan återföras	Kan ge intensiv förbränning Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft	FB Rost
Jordbruksbränslen			
Halm Kapitel 3.7	Låg densitet Höga halter av aska, kisel, alkali och klor Höga transport- och lagringskostnader Pris som RT-flis Askan kan återföras	Risk för självantändning vid lagring av fuktig halm. Risk för korrosion och påslag Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft, HCl Askan har låg smältpunkt.	Rost
Energigräs (Rörflen) Kapitel 3.8	Askhalt beror av växtplats, varierar mellan 2-16%. Damning vid rivning av balar Stor andel finfraktion vid malning Något dyrare än GROT Låg bulkdensitet Hög kvävehalt Askan kan återföras	Risk för sintring Risk för korrosion och påslag Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft, HCl	Rost PB (FB)
Hampa (industrihampa) Kapitel 3.9	Sammansättning av bränslet är dåligt känd. Stora variationer i de analyser som hittills utförts. Låg bulkdensitet Askan kan återföras	Volymkrävande bränsle Bränsleberedning viktig Saknas erfarenheter från förbränning Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft, HCl	(Rost FB PB)
Spannmål Kapitel 3.10	Jämn fukt (14 %)- och askhalt (2-3%) Bra transport-, lagrings- och matningsegenskaper Pris som GROT Låg asksmältpunkt Hög kvävehalt Askan kan återföras	Måste skyddas från fukt och skadedjur vid lagring Risk för lågtemperatur korrosion Risk för beläggningar och påslag. Risk för rostgenomfall pga. partikelstorleken Kalktillsats ger förbättrade förbränningsbetingelser Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft,	FB (Rost)
Spannmålsavrens Kapitel 3.11	Hög densitet Hög askhalt Hög finandel Karakteristisk doft Hög svavelhalt Hög kvävehalt Bättre flytegenskaper än trä Askan kan återföras	Risk för problem med askutmatning Risk för påslag och sintring Emissioner: NO_x, CO, kolväten, stoft,	PB (FB)

Bränsle	Speciella egenskaper	Viktigt att tänka på	Lämpligt för
Olivavfall Kapitel 3.12	Höga halter av alkali Höga halter av svavel och klor Hög askhalt Luktproblem Askan kan återföras	Vid lagring finns stor risk för biologiskt aktivitet som kan medföra brandrisk Stor risk för påslag och korrosion Risk för sintring Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft, HCl	PB FB
Udda jordbruksbränslen			
Kakaobönor Kapitel 3.13	Högt värmevärde Hög kvävehalt Enhetlig partikelstorlek Askan kan återföras	Bör lagras inomhus pga. risk för agglomerering av bränslepartiklarna vid regn Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft, HCl	FB
Citrusavfall Kapitel 3.14	Hög densitet Behaglig doft Hög kvävehalt Askan kan återföras	Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft	FB PB
Sheanötter Kapitel 3.15	Extremt hög kaliumhalt Askan kan återföras	Risk för stora problem med påslag Stor risk för sintring Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft, HCl	Kan användas som inblandning i små mängder
Jordnötsskal Kapitel 3.16	Hög kvävehalt Hög densitet Lättmalet	Nötallergiker kan få problem om de vistas i närheten.	Alla typer av anläggningar
Solrosskal Kapitel 3.17		Vid lagring finns risk för biologiskt aktivitet som kan medföra brandrisk Risk för problem med igensättningar/påslag	FB, rost
PKS Palm kernel shells Kapitel 3.18	Hög kvävehalt		FB, rost
Avfallsprodukter			
Rötslam Kapitel 3.19	Extremt höga halter av fukt och aska. Hög halt av svavel, kväve, fosfor, kalcium, aluminium, järn och kisel. Mycket lågt värmevärde. Kan förekomma tungmetaller och miljöstörande föreningar som flamskyddsmedel. Askan kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	Ökade askmängder ställer krav på askhantering Minskar risk för klorinducerad korrosion. Minskar risk för bäddagglomerering/sintring i fluidbäddpannor. Sameldning med energirikare bränsle alternativt torkning kan bli nödvändigt. Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft, HCl och tungmetaller	FB rost Avfalls- och samförbrän-ningsanlägg-ningar

Bränsle	Speciella egenskaper	Viktigt att tänka på	Lämpligt för
Skogsindustriellt slam Kapitel 3.20	Stora variationer mellan olika typer av slam Fukt- och askhalterna ofta mycket höga Lågt värmevärde Kväve-, svavel- och kloridhalter kan vara förhöjda Askan från vissa slam kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	Ökade askmängder ställer krav på askhantering Vissa slam kan ha positiva effekter på påslagsbilden och/eller agglomereringstendenser i FB-pannor. Vissa slam omfattas av avfallsförbränningsdirektivet Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft, HCl och tungmetaller	FB rost Avfalls- och samförbrän-ningsanlägg-ningar
Gödsel Kapitel 3.21	Sammansättningen varierar beroende på djurslag och djurhållning. Höga halter av kväve, fukt, aska, klor och svavel. Luktar mycket ammoniak Askan kan återföras	Risk för korrosions och påslagsproblem Risk för problem med lukt vid lagring Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft, HCl	Rost, FB
PTP (papper-trä-plast) Kapitel 3.22	Inhomogent bränsle Högt värmevärde (varierar med sammansättningen) Hög fukt och askhalt Ofta hög klorhalt (beror på typ av plast) Zink- och blyhalter kan vara höga Askan kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	Inhomogeniteten kan förbättras genom en bra bränsleberedning Risk för påslags och korrosionsproblem PTP omfattas av avfallsförbränningsdirektivet Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, stoft, HCl, tungmetaller	Rost FB Avfalls- och samförbrän-ningsanlägg-ningar
Gummi Kapitel 3.23	Högt värmevärde Hög svavelhalt Hög askhalt Minimal fukthalt Homogent bränsle Billigare än kol Låg kvävehalt Metallinnehåll, främst zink och järn Askan kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	Däcken bör vara klippta med ”rena” klipp för att minska problem med ståltråden i korden. God omblandning med övriga bränslen för att öka förbränningsstabiliteten Bottenaskutmatning måste ske ofta Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, HCl, tungmetaller	Cementugn FB Rost Avfalls- och samförbrän-ningsanlägg-ningar
Läderspill Kapitel 3.24	Höga halter av svavel, kväve och klor Höga halter av krom Risk för miljögifter (pentaklorfenol) och cancerogena färgämnen (azofärgämnen) Askan kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	Omfattas av avfallsförbränningsdirektivet Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, HCl, tungmetaller	Rost FB Avfalls- och samförbrän-ningsanlägg-ningar

Bränsle	Speciella egenskaper	Viktigt att tänka på	Lämpligt för
Kartongrejekt Kapitel 3.25	Hög fukt- och askhalt Hög klorhalt Låg densitet Föroreningar Askan kan vara förorenad med tungmetaller som medför att den kan behöva deponeras eller renas innan återföring/användning	Risk för korrosion Risk för matningsproblem pga. metallföroreningar Problem med kringflygande material vid lagring och matning Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten, HCl, tungmetaller	Rost FB Avfalls- och samförbrän-ningsanlägg-ningar
Animaliska produkter			
Kött- och benmjöl (MBM) Kapitel 3.26	Högt värmevärde Låg fukthalt Hög askhalt Hög kväve- och klorhalt Låga halter av spårämnen Obehaglig lukt Askan kan återföras	Omfattas av Jordbruksverkets regelverk. Materialet måste skyddas från fåglar och skadedjur. Spill måste tas om hand så att det inte läcker ut till vatten och mark. MBM kan ”baka ihop” i hanterings-system Besvärande lukt kan störa Stor risk för påslagsproblem Emissioner: NOx, SO_2, CO, kolväten, HCl,	FB Rost PB
Biomal Kapitel 3.27	Värmevärde ungefär som GROT Hög fukthalt Hög askhalt Höga halter av kväve, fosfor och kalcium. Innehåller svavel och klor	Omfattas av Jordbruksverkets regelverk. Materialet måste skyddas från fåglar och skadedjur. Spill måste tas om hand så att det inte läcker ut till vatten och mark. Biologiskt material som bör surgöras för att minimera gasutveckling vid transport och lagring. Risk för påslag i överhettarregionen. Emissioner: NOx (kan minska NOx-bildningen under vissa förhållanden), SO_2, HCl	FB/CFB
Övriga bränslen			
Torv Kapitel 3.28	Låg densitet Hög askhalt Hög kväve- och svavelhalt Askan kan återföras	Inblandning av torv med trädbränslen minskar ofta problem med påslag och korrosion. Lagring utomhus kan orsaka damning med explosionsrisk Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten	Alla typer av anläggningar

Bränsle	Speciella egenskaper	Viktigt att tänka på	Lämpligt för
Torv, förädlad Briketter/pellets Kapitel 3.28	Hög askhalt Hög kväve- och svavelhalt Högre pris än oförädlad torv Askan kan återföras	Inblandning av torv med trädbränslen minskar ofta problem med påslag och korrosion. Risk för damning med explosionsrisk vid malning Passar bäst för större anläggningar Emissioner: NO_x, SO_2, CO, kolväten	Alla typer av anläggningar
Lignin Kapitel 3.29	Högt värmevärde Hög svavelhalt Låg askhalt	Risk för damning med explosionsrisk Inblandning av lignin med trädbränslen minskar ofta problem med påslag och korrosion.	Alla typer av anläggningar
Flytande bränslen			
Biooljor Kapitel 3.30	Högt värmevärde Låg svavelhalt Hög askhalt Hög flampunkt	Måste oftast varmhållas under transport Risk för igensättningar i filter och pumpar Risk för påslag Emissioner: CO, kolväten	Oljebrännare
Tallbecksolja Kapitel 3.31	Trögflytande Korrosiv vid förhöjd temperatur Har en stark och stickande lukt Är hälsovådlig med faroklass X_i (irriterande)	Risk för påslag i eldstad och konvektionsdelar Syrafastmaterial nödvändigt i bränslesystemet Kan ge allergi vid långvarig kontakt Emissioner: CO, kolväten,SO_2, stoft	Oljebrännare

2.9 Metoder för att testa bränsle- och askegenskaper

En sammanställning av olika metoder som kan användas som hjälp för att bedöma bränsleegenskaper hos olika bränslen finns i Tabell 2.9.1. För varje princip finns hänvisning till en utförligare beskrivning av metoderna som redovisas i kapitel 6. Vissa av metoderna kan utföras på förbränningsanläggningar, under förutsättning att det finns tillgång till utrustning. Det kan vara specialutrustningar som t.ex. automatiska fukthalts- och densitetsinstrument som finns tillgängliga på marknaden. Det kan också vara mer standardiserad laboratorieutrusning som vågar och ugnar. För flera av metoderna krävs dock träning för att kunna bedöma smälttemperaturer etc. Av metoderna i Tabell 2.9.2 är DIN/ASTM-metoden, den metod som används mer eller mindre regelmässigt av flera energiverk för att få en uppfattning om askans smälttemperatur.
Av metoderna i Tabell 2.9.1 används framförallt skaksiktar regelbundet hos många energiverk för att bestämma partikelstorleksfördelningen. Fukthaltsmätning är den mest utförda analysen. Här används antingen automatiska instrument, eller torkning i ugn med efterföljande vägning.

Tabell 2.9.1 Testmetoder för bränsleegenskaper.
Methods for testing of fuel characteristics.

Princip	Metod	Standard metod	Utrustning	tidsåtgång	anmärkning
Flyt egenskaper Kapitel 6.2.3	SLU trattmetod	Ja, ej officiell	Standard		Kan utföras på anläggning
	Bridging properties	JA	Special		
	Jenikes skjuvcell		Special		
	Uniaxialtest		Special		
Densitet Kapitel 6.2.5	Manuella metoder	JA	Standard		Kan utföras på anläggning
	Instrumentella metoder	JA	Special		Kan utföras på anläggning
Partikel storlek Kapitel 6.2.1	Skaksikt	JA	Standard	Billig och snabb metod. Ca 1 h/prov	Kan utföras på anläggning
	Laserdiffraktion		Special	Snabb metod. On-line	Dyrbar utrustning
	Bildanalys		Special	Snabb metod	Dyrbar utrustning
	Aerodynamiska metoder		Special	Mycket manuellt arbete.	
Hållfasthet/ Malbarhet Kapitel 6.2.2	Hardgrove index	JA, för kol	Standard		
	Hållfasthet hos pellets och briketter	JA	Standard		Kan utföras på anläggning
Fukthalt Kapitel 6.1.1	Instrumentella metoder		Special		Kan utföras på anläggning
	Manuella metoder	JA	Standard		Kan utföras på anläggning

Tabell 2.9.2 Testmetoder för askor och asksmältbeteende.
Methods for testing of ashes and ash melting behaviour.

Princip	Metod	Standardiserad metod	Utrustning	Krav	tidsåtgång	anmärkning
Termiska metoder	**Fluidbädd/CFBA Kapitel 7.3.7**		Special	Ca 5 kg bränsle	2-3 prov/dag	Ex. Umeå Universitet och SP
	Fluidbädd/Sintra Kapitel 7.3.7		Special	Ca 20 kg bränsle	Ca 1 dag/prov	Ex. SP
	Roterugn Kapitel 7.3.4		Special	< 1kg bränsle 1-2 g inaskat bränsle	3-5 prov/dag	Kan utföras på anläggning om utrustning finns. Bl. a SP och Vattenfall har roterugn
	Degel Kapitel 7.3.2		Standard	< 1kg bränsle	Ca 10 prov/dag	Kan utföras på anläggning. Kräver träning.
	MAF Kapitel 7.3.5		Special	0,1 g Inaskat bränsle		Finns bl. a på dK-teknik i Danmark
	DIN/ASTM/ISO Kapitel 7.3.1	JA	Special	1 g Inaskat bränsle		Ex Analycen, SP och Umeå Universitet
	Tryckhållfasthet Kapitel 7.3.3			Inaskat bränsle		Ex. Åbo Akademi
	TGA Kapitel		Special	0,1 g Inaskat bränsle		Ex. SP
Laknings metoder Kapitel 7.3.6	Fraktionerad lakning		Standard		Flera dagar för att få resultat	
	Direkt lakning		Standard		Snabb och enkel metod. 8-10 prov/dag	Kan utföras på anläggning
Empiriska index Kapitel 7.4	Miles index			Kemisk analys av bränslet		Kan beräknas på anläggning
	Fouling index			Kemisk analys av bränslet		Kan beräknas på anläggning
	Nyckeltal			Kemisk analys av bränslet		Kan beräknas på anläggning

2.10 Referenser

1 Gyllenhammar Marianne, Larsson Sara, Rökgasrening vid samförbränning i biobränslepannor i storleken 10-25 MW. Värmeforskrapport 838, 2004.

2 Naturvårdsverkets handbok 2010:1. Återvinning av avfall i Anläggningsarbeten (2010)

3 Värmeforskprojekt A08-829

4 Arbetsmiljölagen 1997:1160

5 LSO Lag 203:778 om skydd mot olyckor

6 The handbook of Fire protection Engineering, fourth edition. National fire Protection Association, Quincy Mass. 2008

7 Dyrke Jonas, Lindberg Mats, Morelius Peter Problematik vid lagring och hantering av biobränslen - en förstudie. Värmeforskrapport nr 661, 1999.

8 Haglund Annika, Öberg AnnCharlott, Lindhe Magnus Riskbedömning och zonklassificering av fastbränsleanläggningar. Värmeforskrapport nr 1004, 2007.

9 Elisabet Blom, Annika Ekvall, Lennart Gustavsson, Kerstin Robertsson, Jan-Olov Sundqvist. Erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring av verksamhets-avfall i Sverige och Europa. Värmeforskrapport 861, 2004.

10 Faror och hälsorisker vid förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen. Arbetsmiljöverket rapport nr 2011.2

11 Explosionsfarlig miljö, Projektrapport Arbetsmiljöverket 2011:10

12 Guidelines for storing and handling of solid biofuels. NT ENVIR 010 (approved 2008-10)

3 Bränslen

I detta avsnitt presenteras fakta om de olika bränslen som ingår. Omfattningen av material skiljer sig åt, då vissa bränslen är väldokumenterade medan andra knappt har testats som bränslen ännu.

Bränslena är uppdelade i:

- Trädbränslen
- Skogsbränslen
- Övriga trädbränslen
- Jordbruksbränslen
- Udda jordbruksbränslen
- Avfallsbränslen
- Animaliska bränslen
- Övriga bränslen
- Flytande bränslen

I Tabell 3.1 finns en sammanställning av de olika bränslen som ingår i handboken. Några signifikanta parametrar och egenskaper presenteras. Utförligare information finns under varje bränsleavsnitt.

Ytterligare information om de bränslen som ingår i Handboken finns redovisade i Tabell 2.8.1. Tabellen kan t.ex. användas som en första rekommendation för vilka bränslen som kan vara lämpliga för en viss typ av förbränningsteknik.

Analysdata för bränslena är sammanställda med hjälp av litteratur och faktainformation från olika användare/producenter av bränslen. Exempelanalysen är, i de fall det är möjligt, från något verkligt fall eller från någon undersökning som refereras till i tabellhuvudet. Målsättningen för val av exempelvärde har varit att hitta bränsleanalyser som är typiska för det speciella bränslet, och att analysen ska vara så komplett som möjligt. Om det har varit möjligt har exempelvärdet valts från någon dokumenterad undersökning av bränslet. I andra fall kan det vara data från någon bränsledatabas, som också anges.

Nyckeltal som redovisas är ett urval som har bedömts ge information om bränslets egenskaper. Utförligare information om nyckeltal- och nyckeltalsberäkningar finns i kapitel 7.4.3 samt i bilaga A.

Driftserfarenheterna som redovisas är exempel på data som insamlats via intervjuer och enkäter som skickats ut till bl.a. energiverk och skogsindustrin. En del erfarenheter är resultat av omfattande litteraturundersökningar samt kontakter både nationellt och internationellt.

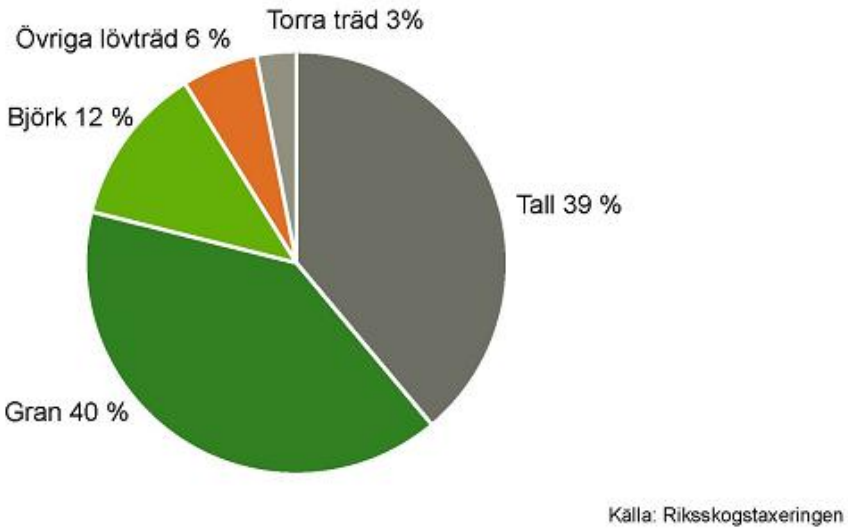
Tabell 3.1 Bränslen som ingår i Handboken. Några viktiga parametrar och egenskaper. Fuels included in the Handbook.Some important parameters and properties.

Kapitel	Bränsle	Fukt vikt-%	Aska vikt-% TS	Svavel vikt-% TS	Klor vikt-% TS	H_{cal} MJ/kg (torrt, askfritt)	Bulkdensitet kg/m^3
Trädbränslen							
3.1	Trä (spån, flis, pulver)	8-60	0,4-0,6	0-0,3	0-0,05	16-18	200-350
3.1	Trä (pellets, briketter)	9-10	0,4-0,8	0-0,3	0-0,05	19-21	550-700
Skogsbränslen							
3.2	GROT	35-55	1-5	0,02-0,05	0,02-0,05	19-21	200-350
3.2	Grön GROT						
3.2	Stubbar	18-55	4-17	0,01-0,04	0,01-0,1	19-21	
Övriga trädbränslen							
3.3	Returträ	3-50	3-16	0,04-0,3	0,04-0,2	20-24	200-350
3.4	Salix	25-50	1-5	0,01-0,03	0,01-0,1	18-20	200-350
3.5	Bark	21-65	2-6	0-0,1	0-0,02	20-25	300-550
3.6	Lövträd	20-40	0,3-1,7	0,01-0,04	0,01-0,06	19-21	440-580
Jordbruksbränslen							
3.7	Halm	10-20	4-10	0,05-0,2	0,05-1,5	18-20	Låg
3.8	Energigräs (rörflen)	10-15	3-7	0,05-0,2	0,1-0,2	17-20	200-300
3.9	Hampa	15-75	1,6-6,3	0,03-0,07	0,04-0,1	19	låg
3.10	Spannmål	14	2-4	0-0,5	0,02-2,3	17-22	250-390
3.11	Spannmålsavrens	12	10	0,2	0,2	20	Hög
3.12	Olivavfall	0-21	0,4-16	0,01-0,3	0-0,4	19-25	hög
Udda jordbruksbränslen							
3.13	Kakaobönor	7	5	0,3	0,02	30	495
3.14	Citrusavfall	8-10	4-7	0,2	0,02	21	600
3.15	Sheanötter	3,3-7,6	6-7	0,3	0,1	23	700
3.16	Jordnötsskal	9	3-4	0,08-0,2	0,02	21-22	500-700
3.17	Solrosskal	8	3	0,1	0,1	21-22	
3.18	Palm kernel shells	16-30	5	0,25	0,17	23-24	
Avfallsbränslen							
3.19	Rötslam	53-77	35-50	0,2-5	0,05-1,5	15-24	låg
3.20	Skogsindustriella slam	41-84	2-60	0,1-2,4	0,01-0,3	17-23	låg
3.21	Gödsel	4-92	15-42	0,3-1,1	0,6-2,4	19-21	
3.22	PTP	10-55	5-13	0,07-0,5	0,01-1,5	18-31	låg
3.23	Gummidäck	0,6-4,3	5-26	1,3-3,3	0,06-0,9	36-43	450-900
3.24	Läderspill	54	2,5	2,6	1,2	19	
3.25	Kartongrejekt	42-64	10-27	0,03-0,2	0,07-0,6	12-20	Låg
Animaliska bränslen							
3.26	Kött-och benmjöl	7	30	0,7	0,5	23	Hög
3.27	Biomal	58-63	13-20	0,3-0,4	0,2-0,5	29-32	1000
Övriga bränslen							
3.28	Torv	38-58	2-9	0,1-0,5	0-0,1	19-27	300
3.28	Torv (briketter/pellets)	10-15	2-8	0,25		20-27	
3.29	Lignin	29-40	0,3-1,2	1,8-3,2	0,01	26-28	500-700
Flytande bränslen							
3.30	Biooljor	0-1,2	0-0,4	0-0,05	0-0,001	39	860-900
3.31	Tallbecksolja	0,1-0,3	0,2-0,4	0,2-0,3	0	40	

3.1 Trädbränslen (spån, flis, pulver, pellets, briketter)

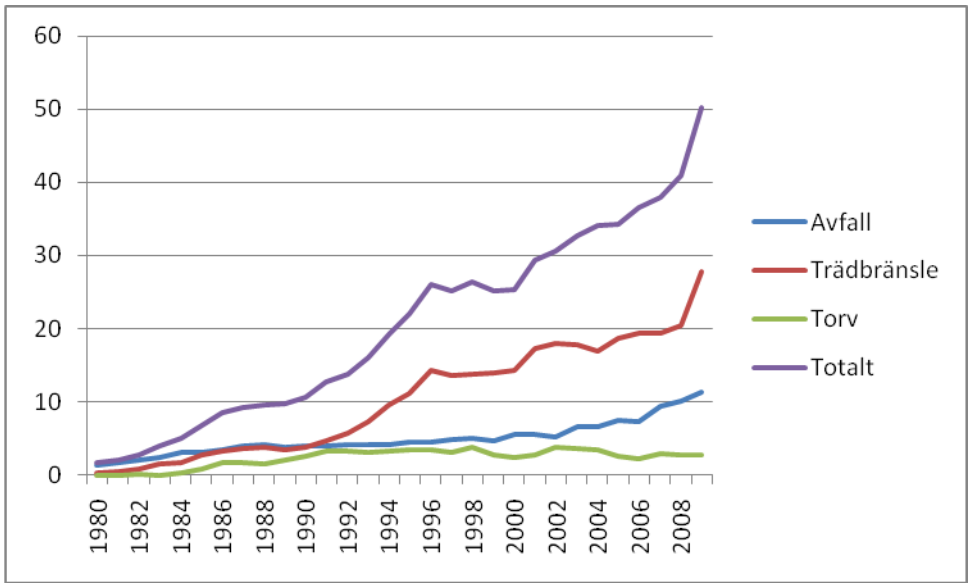
trädbränsle (inte: träbränsle)
biobränsle från trädråvara som inte genomgått en kemisk process
Trädbränslen innefattar alla biobränslen där träd eller delar av träd är utgångsmaterial, t.ex.
Bark, barr, löv, ved samt bränsleråvara från skogs- och trävaruindustrin t.ex. hyvelspån, kutterspån, sågspån, torrflis, justerverksflis och frånsåll.
Bränsle av avfallspapper och avlutar ingår inte

Det svenska skogsförrådet har under de senaste hundra åren stadigt ökat och uppgår nu till 3 000 miljoner skogskubikmeter (m^3_{sk}), vilket är mer än någonsin tidigare. Skogstillväxten är årligen drygt 110 miljoner m^3_{sk} och av detta avverkas ca 90 miljoner m^3_{sk}. Detta gör att virkesförrådet, liksom avverkningsmöjligheterna, fortsätter att öka. [1]. Fördelningen mellan olika trädslag visas i
Figur 3.1.1.



Figur 3.1.1 Trädslagens andel av det svenska virkesförrådet.2009 [1]
The share of different variety of trees in the total amount of the Swedish wood supplies.2009

Under 2009 användes knappt 30 TWh trädbränslen i fjärrvärmevärmeverken. Den totala biobränsleanvändningen i värmeverken var 50 TWh, vilket då även inkluderar torv, avfall, tallbecksolja och övriga bränslen. Figur 3.1.2. Den totala tillförseln av biobränslen (även inkl. returlutar från massatillverkning) och torv var 127 TWh. [2]



Figur 3.1.2 Användning av biobränslen, torv, avfall mm i fjärrvärmeverk 1980-2009./ Use of bio fuels, peat, waste, etc. in district heating plants.1980-2009. [2]

Sågverksbränslen

Sågverken producerar sågad vara dvs. i dagligt tal plank och bräder. Kanske tänker inte alla på att bara drygt 50 % av stockens volym blir plank och bräder. Den övriga delen blir biprodukter. Dessa biprodukter är:

- Råflis (används av cellulosa industrin).
- Sågspån (användas som biobränsle eller till spånskiveindustrin).
- Torrflis (när man kapar och justerar torkade plank och bräder till rätt längd får man kapbitar som kan flisas till s.k. torrflis).
- Bark
- Reducerflis (ibland är stockens rotdel för stor och då svarvar man ner den och får reducerflis som är ett fint biobränsle).
- Kutterspån, går nästan enbart till pelletsindustrin för tillverkning av bränslepellets.

Spån

Rått sågspån håller en fukthalt på 50-60%. Den höga fukthalten gör att användning av bränslet är begränsat till perioder när pannan går på fullast då effektregleringen av pannan med fuktigt spån är starkt begränsad.

Kutterspån är en betydligt torrare produkt men densiteten är låg vilket medför krav på stora lagringsutrymmen.

Flis

Flis av stamved håller en fukthalt på ca 50 % och används som regel inte till bränsle utan har sin avsättning främst inom cellulosa industrin.

Pulver

Vid pulvereldning sker bränsleleveranser ofta i form av pellets och/eller briketter som mals vid energiverken innan förbränning. Malningstekniken varierar och hammarkvarnar samt slagkvarnar ger i huvudsak bra resultat medan kulkvarnar och valskvarnar kan platta ut träpartiklarna så att de ”flyger iväg” och brinner ut dåligt vilket ger höga halter av oförbränt i askan. Pulver levereras även i mald form till energiverk. Oftast sker detta när producenten finns inom ett kort avstånd från förbrukaren.

Förädlade bränslen

Förädlade bränslen i form av pellets och briketter började tillverkas i större skala i början av 1980-talet. En oklar energipolitik samt mycket varierande oljepriser gjorde att marknaden för briketter och pellets utvecklades långsamt under 80-talet. Införandet av miljöavgifter har påverkat produktionen och användningen av förädlade trädbränslen och 2010 var den totala användningen av pellets i Sverige drygt 2 miljoner ton, se Figur 3.1.3.

Figur 3.1.3 Pelletsförbrukning i Sverige.[3]
Consumption of pellets in Sweden.

Användning av förädlade trädbränslen har medfört att pannorna går att reglera över ett stort effektområde och antalet drifttimmar kan ökas betydligt jämfört med användning av icke förädlade bränslen. Förädling till pellets och briketter gör också att transporter blir billigare samt att lagringen kräver mindre utrymme.

Pellets

Normalt används sågspån direkt från sågverken som råvara i processen. Spånet torkas, mals och siktas för att därefter pressas till pellets, vilket oftast sker i plan- eller ringmatrispressar. Den friktionsvärme som uppstår när spånet pressas till pellets får en av träets beståndsdelar, lignin, att smälta och på så sätt binda ihop den färdiga pelleten. Ligninet gör också att inga tillsatser för att "limma samman" pelleten behöver tillsättas utan det är helt och hållet en naturlig produkt Blandningen av tall och gran samt inblandningsgraden av lövträd påverkar askhalten i den slutliga produkten. Även hanteringen av råvarorna innan pelletering kan ge en förändrad askhalt och asksammansättning.
[3].

Kostnaderna för att producera pellets är något högre än vid brikettillverkning, då verktygskostnader i kvarnar och pressar är högre. Sammansättningen hos pellets har hos vissa tillverkare visats sig vara av betydelse för hållfastheten hos pellets. Andelen gran/tall bör ligga i ett snävt intervall runt 50/50 (48/52 - 52/48). [4]

Energimyndigheten har utfört tester (2007 och 2009) av 27 pelletskvaliteter från olika tillverkare där man jämför pris och kvalitet. Testresultaten finns på myndighetens hemsida.

Briketter

Briketter tillverkas vanligen genom att grovt sönderdelat material i form av sågspån, flis etc. torkas till en fukthalt på ca 10 % och sedan pressas ihop. Bindemedel används inte vid brikettillverkning. Briketter har en diameter över 25 mm, men normaldiametrar för svenska briketter är 50-75 mm. Längden kan variera från någon cm till ca 2 dm. Briketter framställs genom att torkat, sönderdelat material pressas i en kolvpress eller en skruvpress. Produktionstekniken är förhållandevis enkel och produktionskostnaden cirka 10-20 % lägre än för pelletsframställning. Fukthalten är oftast lägre än 10 %. Ett ton träbriketter har ett värmevärde på cirka 4,7 MWh.

Standarder för trädbränslen, pellets och briketter

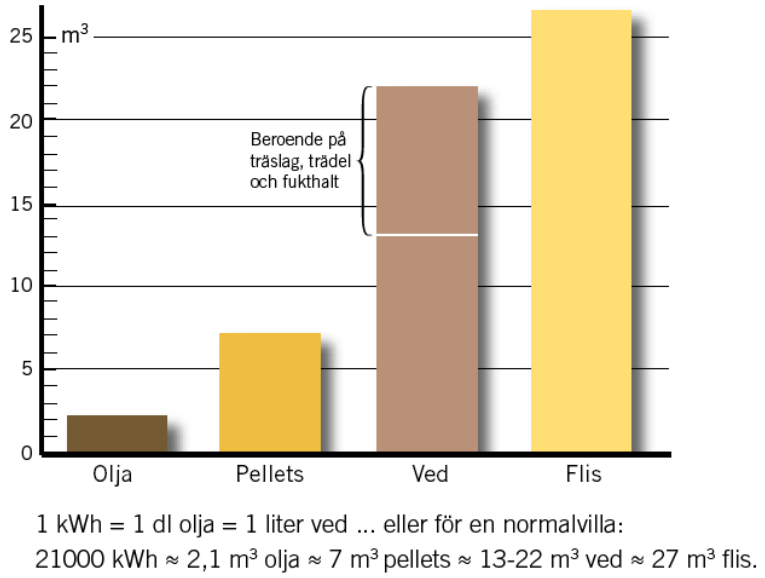
Standarder för olika trädbränslen inklusive pellets och briketter finns som EU-standarder och arbete pågår för att ta fram internationella standarder för biobränslen. (Se mer i kapitel 9. Standarder, databaser och handböcker.)

Torkning av biobränslen

Torkning av biobränslen t.ex. innan förädling till pellets och briketter kräver säkerhets-åtgärder för att inte problem med emissioner och brand ska uppstå. En jämförande LCA- analys av förädlat biobränsle (pellets/briketter) och oförädlat bränsle (grot/skogsflis) visar på att belastningen på miljön från torkanläggningen är i samma storleksordning som från energiverket. [5]

Lagring av trädbränsle

Lagringsvolymerna varierar kraftigt beroende på i vilken form trädbränslet används.
I figur 3.1.4 jämförs volymerna som krävs för att värma en normalstor villa med olika bränslen. [6]



Figur 3.1.4 Jämförelse av volymbränsle som krävs för att värma en normalstor villa med olja, pellets, ved och flis [6]
Comparison of the volume of fuel needed to heat a normal sized house with oil, pellet, wood and chips

3.1.1 Lagar

Förbränningen av trä regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Trä är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Trä berättigar sedan den 1/4 2004 till elcertifikat.

3.1.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.1.1 Analys av träpellets/ Analysis of wood pellets

Prov	Exempel [7]		Median	Spann		Antal
	Pellets			***Min***	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	9,4		7,3	5,1	12,4	65
Aska (% torrt)	0,6		0,6	0,2	2,1	65
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	84,4		84,25	82	84,6	8
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	20,41		20,40	19,44	21,45	50
Hkal (leverans)	18,38		18,78	17,84	20,23	50
Heff (torrt askfritt)	19,05		19,05	18,15	20,03	50
Heff (leverans)	16,93		17,36	16,43	18,77	50
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	50,8		50,9	49,65	52,1	50
H (väte)	6,24		6,14	5,83	6,64	50
O (syre)	42,84		42,76	41,27	44,17	50
S (svavel)	0,01		0,01	0,005	0,07	58
N (kväve)	0,1		0,1	0,03	0,48	51
Cl (klor)	<0,01		0,005	0	0,03	43
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	156	25985	12807	3700	40221	20
As (arsenik)			20	20	20	12
Ba (barium)	8,9	0	2260	1300	3900	18
Ca (kalcium)	1 158	192967	219000	98628	261578	20
Cd (kadmium)	0,2		21	12	35	12
Co (kobolt)			10	5	17,4	14
Cr (krom)	0,5	0	70	29	170	18
Cu (koppar)	1,0	0	250	67,7	1000	18
Fe (järn)	149	24830	11681	3400	24830	20
Hg (kvicksilver)			-	-	-	0
K (kalium)	498	83015	89300	67491	114000	20
Mg (magnesium)	183	30516	32325	16645	41300	20
Mn (mangan)	67	13708	21802	9479	36200	16
Mo (molybden)		0	10	5,5	33	8
Na (natrium)	27	4414	4748	2100	20000	20
Ni (nickel)	0,1	0	30	11,7	147	18
P (fosfor)	61	10211	11957	7400	100368	20
Pb (bly)	0,4		83	38	300	12
Sb (antimon)			-	-	-	0
Si (kisel)	693	115464	57031	11800	235135	20
Ti (titan)	6,8	1163	500	100	1349	19
Tl (tallium)			-	-	-	0
V (vanadin)	0,2	0	9,3	5	18	17
Zn (zink)	11	0	2730	2170	4300	18

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.1.2 Nyckeltal träpellets för villamarknaden. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers wood pellets for residential use. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**1,54**	**2,92**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0,15	0,15
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0,55**	**0,51**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0,08	0,08
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	4,27	4,28
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	**0,38**	**0,82**

Tabell 3.1.3 Svavel- och fosforkvoter för träpellets. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for wood pellets. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	75,88	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	9,94	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,0	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.03	

**Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
***Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

I tabell 3.1.4 redovisas analys av obehandlat trädbränsle. Fukthalten är betydligt högre än för behandlade trädbränslen. Det utförs vanligen inte analyser av asksammansättning för rena trädbränslen.

Tabell 3.1.4 Analys av sågspån och träflis/ Analysis of saw dust and chipped wood.

Prov	**Median [18]**	**Spann**		**Antal**
		Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)				
Fukt	44,2	26,6	62,3	270
Aska (% torrt)	0,70	0,2	5,5	270
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)				
Värmevärde (MJ/kg)				
Hkal (torrt askfritt)				
Hkal (leverans)				
Heff (torrt askfritt)	19,12	18,59	19,87	270
Heff (leverans)				
Elementaranalys (% torrt askfritt)				
C (kol)	50,8	49,4	53,2	270
H (väte)	6,2	5,3	6,7	270
O (syre)				
S (svavel)	0,01	0,01	0,15	270
N (kväve)	0,05	0,01	0,38	270
Cl (klor)	0,01	0,01	0,15	270

3.1.3 Driftserfarenheter

Trädbränslen eldas i olika typer av förbränningsutrustningar, från små dedicerade pellets och brikettpannor, vanligtvis rosterpannor, till stora roster- och fluidbäddpannor för flis och blandningar av flis och (såg)spån, i vilka ofta även bark och grot ingår, samt i pulverpannor. De senare kan vara baserade på ombyggda olje- eller kolpannor med pulverbrännare eller dedicerade front- eller hörneldade pulverpannor för kol (PC) anpassade för pulveriserat biobränsle (mald pellets).

Förbränning av trädbränslen är sällan förknippade med påtagliga svårigheter, vilket sammanhänger med att de är väldefinierade samt att pannorna av detta skäl blir relativt lätta att dimensionera. Beläggningar och korrosion utgör i regel inte något problem vid förbränning av trädbränslen eftersom asksmälttemperaturerna generellt är höga och askegenskaperna är gynnsamma.

De största svårigheterna uppstår vid förbränning av spån. Spån eldas ofta i blandningar med grövre material som flis, bark och grot, vilket sammanhänger med att rosterpannor och fluidbäddpannor har en övre gräns för hur mycket finkornigt och fuktigt material de kan hantera. Förbränning av enbart spån kräver konverterade oljepannor eller pulverpannor. Observera dock att direkt fallande spån är för grovt för att kunna användas. Biobränslen behöver inte malas fullt ut i samma omfattning som är

nödvändigt för kol, men det krävs att max kornstorlek ligger under 0,8-1 mm och en fördelning med ca 75 % < 0,5 mm. Förbränning av pulver i konverterade oljepannor kräver i regel en lägre askhalt än vad fallet är i pulverpannor. Kutterspån och hyvelspån från sågverk, träindustri och snickerier eldas i regel i mindre pannor (för torra bränslen).

Att förbränning av fina bränslefraktioner kan innebära risker framgår av de erfarenheter som gjorts och görs vid pulverförbränning, speciellt i applikationer där oljepannor byggs om för ändamålet. Jämförelsevis små volymer och korta uppehållstider ger vid nominell last höga volymbelastningar.

Vid pulvereldning förekommer ofta problem med höga halter CO i rökgaserna samt höga halter oförbränt i askan. Problemen är vanligast vid dellast då det finns risk att temperaturen faller under den nivå som krävs för att CO ska brinna (ca 650 ^{o}C). Brinnande bränslepartiklar kan också kylas ner genom avstrålning mot kalla eldstadsväggar. Korrekt dimensionering och anpassning av pulvrets partikelfördelning är väsentligt för undvikande av problem.

Partikelstorlekens inverkan på utbränningsgraden är entydig. Finare partikar innebär bättre utbränning och därmed bättre förbränningsverkningsgrad. Försök med att minska partikelstorleken visar att en positiv effekt på CO kan noteras med en ökande andel fint material i bränslemixen. CO-halterna var dock i samtliga fall högre än vid ordinarie partikelstorlek. En orsak kan vara att matningen av den fina fraktionen i befintligt bränslesystem var ojämn. [8]

Vid trädbränsleförbränning har det varit problem med katalysatorer för att minska utsläppen av kväveoxider (SCR). Drifterfarenheter har visat att en bättre funktion och ökad livslängd på katalysatorn erhålls genom inblandning av torv, bland annat på grund av minskad kaliumkloridhalt och en viss ökning av halten svaveldioxid i rökgaserna.

Drifterfarenheter från 2 års drift av 11 mellanstora närvärmepannor, effektområde 0,1-1,5 MW, som eldas med pellets och briketter visar på att av inrapporterade fel utgör mer än 50 % fel som berör styr och övervakning samt bränsleinmatningen. [9]

3.1.4 Rekommendationer

Kutterspån kan ge höga halter oförbränt i rosterpannor och BFB och kan leda till att operatören avstår från användning. Kutterspån och spån bör därför begränsas till att eldas i små dedicerade rosterpannor (3-4 MW). Luftfördelning och rostens täthet är viktiga parametrar för att få säkerställa god utbränning.

Spån är inte lämpligt som enda bränsle i fluidbäddar. Leverantörer och användare har minskat andelen allteftersom miljökraven har ökat. I såväl BFB som CFB krävs blandning av sågspån med styckebränslen och torv för att uppnå önskade egenskaper m.a.p. reglerbarhet och emissioner samt att potentiella nackdelar minimeras. [10]

Positiva effekter av inblandning av torv vid trädbränsleledning har också noterats beträffande påverkan på katalysatorer (SCR) för reduktion av NOx. Med inblandning av torv förbättras funktionen (reduktion av NOx) och livslängden på katalysatorelementen förlängs. Effekten tros sammanhänga med att halten kaliumklorid minskar och svaveldioxidhalten ökar i rökgaserna.

Det har visat sig att halten CO kan sänkas drastiskt, speciellt i pulverapplikationer, genom tillsats av svavel i olika form som elementärt svavel, specifika svavelföreningar, eller svavelbärande bränslen som torv. Effekten tros sammanhänga med att svavlet bildar dendritiskt formade partiklar med stor yta på vilka CO oxideras katalytisk.

En rapport som fungerar som en manual för nyetablering av biobränsleeldade anläggningar i effektområdet 0,3-10 MW anges vilka eldningstekniker som är typiska för olika biobränslefraktioner.[11] tabell 3.1.5.

Tabell 3.1.5 Typiska eldningstekniker för användning av biobränslen i olika skalor./ Typical techniques for the use of biomass fuels.

Fuktiga oförädlade bränslen				
10 kW	**100 kW**	**1MW**	**10 MW**	**100 MW**
Vedeldning		Flis på rost	Flis i BFB	Flis i CFB
Torra eller förädlade bränslen				
10 kW	**100 kW**	**1 MW**	**10 MW**	**100 MW**
Pelletsbrännare	Pellets på rost	Briketter på rost		Träpulver

Rekommendationer från Energimyndighetens projekt om drifterfarenheter från mellanstora biobränsleanläggningar med pellets och briketter som bränsle. [9];

- Matarskruvar och transportsystem för bränsle ska vara kraftigt dimensionerade, gäller både motorer och godstjocklek.
- Bränslen ska hålla god kvalitet. Våga ifrågasätta bränslets kvalitet och reklamera tveksamma leveranser.
- Växelcontainersystem för bränslematning ger få driftstörningar.
- Pelletsförråd bör utföras som stående silos.

Enkla tips för att testa pelletskvalitet utan analysutrustning [17]:

- Lägg en näve pellets i en plastpåse och lukta. De ska lukta nysågat trä. Om det luktar något annat bör man vara försiktig.
- Titta noggrant på ett urval av pellets. De ska vara ljust bruna om de är tillverkade av rent spån. Mörkbruna partiklar kan vara ett tecken på barkinblandning. Pellets kan bli mörka på ytan av pressningstekniken. Kontrollera att pelleten är ljus inuti genom att bryta sönder dem.
- Tänd eld på en lång pellets. Om röken luktar något annat än bränt trä, är pelleten av sämre kvalitet.
- Lägg en handfull pellets i ett glas vatten. De ska lösa upp sig inom några minuter. Om inte har man förmodligen använt någon form av bindemedel vid tillverkningen. När pelleten lösts sig, snurra glaset och se vad som hamnar i

mitten på botten av glaset. Om det är stor andel material i mitten kan det tyda på en ökad askhalt som kan ge problem med sintring.
- Fyll ett litermått med pellets och väg. En liter pellets ska väga ca 0,65 kg. Om vikten är mindre än 0,6 kg är pelleten för mjuk och kan lätt brytas sönder och ge för hög finandel.

3.1.5 Risker och åtgärder vid hantering av trädbränslen

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [12,13] men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker
Riskerna med lagring och transport av träpellets, träflis och timmer kan delas in i:
- Gaser, syrebrist
- Damm
- Brandrisker

Risker- gaser, syrebrist
Vid förvaring av biologiskt material i slutna utrymmen förbrukas syret och de giftiga gaserna kolmonoxid och koldioxid bildas och ackumuleras till farliga koncentrationer. I pelletsförråd är CO (kolmonoxid) den största faran. Vid förvaring av träflis och timmer är det syrebrist i kombination med förhöjda halter av CO_2 som utgör största risken. Även aldehyder, som kan vara irriterande för luftvägarna, kan bildas vid lagring av pellets. [14]

Risker- damm, mikroorganismer
Allt biologiskt material är infekterat av mikrober i omgivningen. De mikrobiella angriparna utgörs av svampar och bakterier. Deras aktivitet är intressant ur två aspekter:
- Påverkan på hälsa
- Orsaka till substansförluster

Mikrobernas krav på omgivningen:
- Trivs bäst vid temp 20-40C
- Syre (även i kompakta lager finns tillräckligt med syre)
- Vatten
- Näringsämnen (finns i trädmaterialen)

Fuktig flis kan betraktas som en färskvara då den möglar och bryts ned. Nedbrytningen avstannar vid torkning av flis och mikroberna intar ett viloläge men upptar aktiviteten igen då förhållandena blir bättre. Flis som ska lagras bör därför produceras av torr råvara. Risker förknippade med storskalig lagring av flis överensstämmer i övrigt med de risker som gäller för andra bränslen som hanteras i bulk, t.ex. bark.

Den som hanterar lagrat bränsle löper ofta en risk att inandas mikrosporer. Halten av sporer i luften kan uppgå till nivåer som leder till överkänslighetsreaktioner utan att mikrobtillväxten behöver vara synlig. Det kan inträffa t.ex. när bränslet lastas om.

Mikrosporer från mögelsvampar kan frigöras i luften när infekterad flis hanteras och transporteras. Ett material som är infekterat bör hanteras med varsamhet. Exponering av höga halter innebär en hälsorisk. Då koncentrationen av sporer i luften överskrider $10^6/m^3$ luft, finns det risk för allergisk alveolit. Sporerna kan tränga in i andningsorganens slemhinnor och framkalla allergiska reaktioner. Allergiska reaktioner i dessa sammanhang har kallats för trämögelsjuka.

Förutom mögelsporer kan även strålsvampar orsaka symptom som rethosta, frossa eller hög feber, huvudvärk, ledvärk och muskelvärk. Upprepade attacker av trämögelsjuka kan ge häftigare och allvarligare förlopp

Vid hantering av träpellets bildas en finfraktion av damm som lätt blir luftburet. Dammet kan orsaka akuta och kroniska luftvägs- och hudbesvär.[14] Pellets gjorda av fuktiga bränslen har sämre hållfasthet och faller lätt sönder under hantering. Det är också svårare att elda sådan pellets kontrollerat, speciellt i pelletsbrännare.

Risker- brand

Självantändning i fuktiga material som t ex träflis orsakas initialt av mikrobiologiska processer som medför uppvärmning och uttorkning av materialet. Därefter tar kemiska oxidationsprocesser över som medför ytterligare temperaturhöjning. [14]

Vanligtvis lagras allt flis på en anläggning, oavsett trädtyp i samma stack. Olika trädtyperna, alternativt olika leveranserna, har olika fukthalt vilket kan medföra en fuktvandring i bränslehögen. Detta kan medföra problem med självantändning.

Brand kan orsakas i både små och stora anläggningar av t ex gnistbildning i elektriska installationer, överhettning i fläktar och transportsystem genom rökning och användning av olika fordon.

Dammexplosioner kan uppstå när finfördelat damm kommer i kontakt med luftens syre och antänds. Risken ökar med torrheten och ju finare dammpartiklar som bildas. [14]

Exempel på åtgärder

Lagring

Det är först inför användning, gärna några dygn innan, som bränslen av olika ursprung (typ), storleksfördelning men framför allt olika fukthalter, bör blandas och lagras tillsammans. Syftet är bl.a. att få till stånd en utjämning av kvaliteten, speciellt fukthalten. För att minska risker med självantändning finns följande rekommendationer vid lagring av bränsle [15]:

- Lagra olika trädbränslesortiment i olika stackar. De bör ej ens komma i kontakt med varandra. Även flis och bark bör lagras åtskilda.
- Minimera fukthaltsspridningen i stacken.
- Packa inte stackar med helträdsflis, sönderdelade hyggesrester, bark eller sågspån.
- Undvik metallföremål i stacken.
- Lagra trädbränslen i en avlång stack med tvärsnittsareans bas lika med dubbla stackhöjden.
- Lagra ej bark högre än 7 m och sågspån 6 m.
- Tänk på rasvinkeln och fruset spån.
- Vid låg omsättning ökas risken för självantändning.
- De första tecknen på upphettning kan vara ångbildning och rökdoft. Lagret bör i första hand kontrollmätas med sond eller värmekamera.
- Lagring av torra bränslen, som pellets och kutterspån kräver lagring under tak och helst i slutna bränslelager eller silos (pellets)

Hantering

När man hanterar möglig flis är det nödvändigt att bära skyddsmask (klass p2), som skyddar mot partiklar mindre än 5µm i diameter. Andningsskydd bör också användas vid hantering av torr aska

Dammsugning eller sluten hantering förbättrar mottagningen av bränsle. Vattensprayning av pellets minskar risk för dammexplosioner. Utformning av matningsutrustning är viktig. Skaktransportörer och skopelevatorer genererar mycket damm och bör undvikas. [16]

Förslag till förebyggande åtgärder vid lagring av bränslen i slutna utrymmen [14]

Utbildning av personal är en grundläggande åtgärd men ersätter inte tekniska skyddsåtgärder. Utbildningen ska vara återkommande.
Ventilation är den viktigaste förebyggande åtgärden. Mekaniska barriärer och skyltning ska förhindra att någon av misstag går in i utrymmet.
Skyddsvakt vid ingången till förrådet.
Mätutrustning för gaser i lager och förråd. Mätning av CO, CO_2 och O_2 är viktigt
Andningsutrustning. Inga andningsfilter skyddar mot CO eller syrebrist utan det krävs en tryckluftsmatad andningsutrustning om det finns behov att gå in i en farlig atmosfär.
Skyltning som varnar för riskerna med att gå in i slutna utrymmen.

3.1.6 Länkar med mycket intressant om trädbränslen

Pellsam, Pelletsintressenters samorganisation
PIR, Pelletsindustrins riksförbund
Bioenergiportalen är en samlingsplats för bioenergifrågor.
Trädbränsleföreningen, är branschförening för svenska producenter av brännved, flis, skogsindustriella biprodukter
Svebio
Skogssverige

3.1.7 Referenser

1 http://www.skogsindustrierna.org/

2 Energiläget i siffror 2010, Statens Energimyndighet

3 http://www.pelletsindustrin.org/

4 Per Stenegaard, Forssjö Bruk, Personlig kommunikation

5 Edholm Anders, LCA-analys; En jämförande studie baserad på ett förädlat och ett oförädlat biobränsle, Värmeforskrapport nr 713, 2000

6 http://www.lansforsakringar.se/SiteCollectionDocuments/Sak/Skadeforebygg/Privat/Fastbransleeldning.pdf

7 Fredriksson, C, Padban, N., Zintl, F. Breddning av bränslebasen för pellets och pulverbrännare. TPS rapport TPS-03/19

8 Christian Fredriksson. Experimentell studie av inverkan av träpulvers storleksfördelning på förbränningsegenskaper. Värmeforsk, nr 854 (2004).

9 Erfarenheter av eldning med fasta bränslen. Energimyndigheten projekt nr 21651-1

10 Stridsberg S. SPÅNELD. Utvärdering av driftsförhållanden vid eldning av rått sågspån ensamt och i blandning med andra bränslen. Värmeforskrapport 442, 1992.

11 Närvärme med biobränsle. Vägledning från idé till färdig anläggning. Statens Energimyndighet 9:2005

12 Daniel Nilsson, Fortum Värme, Personlig kommunikation 2009-12-14

13 Martin Uulas, WSP Brand & Risk, Personlig kommunikation 2010-01-13

14 Faror och hälsorisker vid förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen. Arbetsmiljöverket 2011:2

15 Knudsen Anders, Persson Hans, Brandsäkerhet vid torkning av biobränslen – Anvisningar och råd för utförande och drift. Värmeforskrapport 709, 2000

16 Nyström K., Erfarenheter från eldning med briketter och pellets från trä. Värmeforskrapport 559, 1995

17 Pieter D. Kofman. Simple ways to check the quality of wood pellets.

18 Personlig kommunikation med Katja Pettersson, Söderenergi, 2011.

Läs mer om trädbränslen

- Allmänna och särskilda bestämmelser för mätning av biobränslen på skogsnäringens IT företags hemsida: www.sdc.se/
- Gunnar Hadders, Pelletspärmen, JTI (Institutet för jordbruks- och miljöteknik) 2002.
- Nordberg Gunnar, Alsparr Johan, Högberg Christer, Konvertering till träpulver i en kolpulvereldad anläggning, Värmeforskrapport nr 422, 1992
- Lindman Eva-Katrin, Ingvarsson Paul, Konvertering till pulvereldning med biobränslen, Värmeforskrapport nr 498, 1994
- Ryk Lennart, Jämförelse mellan olika metoder att karakterisera partikelegenskaper hos bränslepulver av trä, torv, olivkärnor och kol, Värmeforskrapport nr 530, 1995
- Shen Kecheng, Knudsen Anders, Persson Hans, Riskanalys för torkning av biobränslen, Värmeforskrapport nr 633, 1998
- Cronholm Lars-Åke, Dejfors Charlotte, Wiklund Sven-Erik, Bindemedel i pellets - Påverkan på kvarnar och beläggning i eldstäder, Värmeforskrapport nr 659, 1999
- Malmgren Alf, Tao L, Wennström M, Konvertering av befintliga oljepannor till pulvereldning för spetslast, Värmeforskrapport nr 686, 2000
- Sven-Erik Wiklund, Lars-Åke Cronholm, Kvalitetssäkring av pellets-inledande studie. Värmeforskrapport nr 692, 2000.
- Martinsson Lars, Råvaror för framtida tillverkning av bränslepellets i Sverige, Värmeforskrapport nr 813, 2003
- Granström Karin, Utsläpp av lättflyktiga kolväten vid torkning av biobränslen. Värmeforskrapport 745, 2001
- Knudsen Anders, Persson Hans, Brandsäkerhet vid torkning av biobränslen – Anvisningar och råd för utförande och drift. Värmeforskrapport 709, 2000
- Anna-Karin Hjalmarsson. Kornstorlekens betydelse för verkningsgrad och utsläpp av NO_x vid pulvereldning – en sammanfattning av teknikläget. Värmeforsk, nr 468 (1993).
- Wiklund Sven-Erik, Levén Per, Eriksson Lars, Lundin Terese, Malningsteknik för biopulver, Värmeforskrapport nr 650, 1998

3.2 Skogsbränslen (GROT, grön GROT, Stubbar)

I svensk standard SS 187106 finns flera definitioner av GROT:

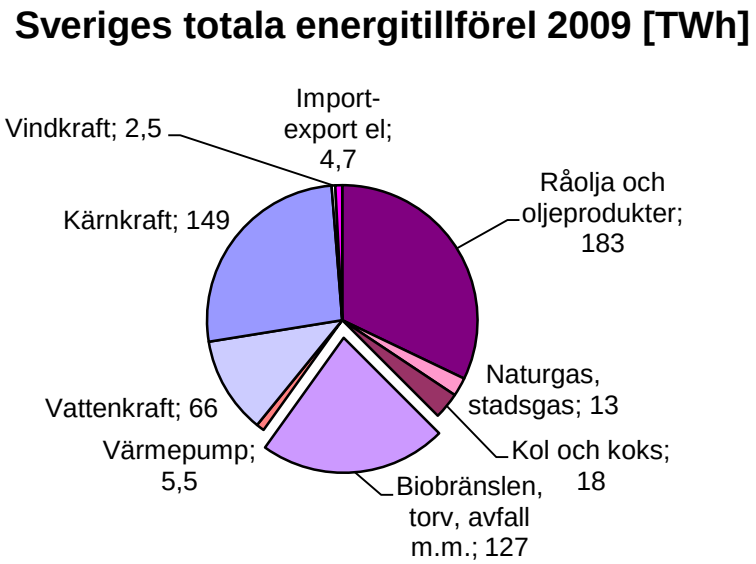
”**avverkningsbränsle**
biobränsle bestående av grenar, toppar och småträd från avverkning där även industrivirke tillvaratas
jfr hyggesbränsle
Avverkningsbränsle kan utvinnas vid såväl slutavverkning som gallring.
Förkortningen GROT står för avverkningsbränsle i form av GRenar Och Toppar.
hyggesbränsle
avverkningsbränsle från slutavverkning
skogsbränsle
trädbränsle där råvaran inte tidigare haft någon användning
Skogsbränsle kan t.ex. utgöras av bränsle från avverkning, från sågverk och från skiv- och massaindustrier. Bränslen från t.ex. rivningsvirke ingår inte”

GROT är ett mindre homogent bränsle än trädbränslen. GROT utgörs av rester från avverkning, såväl slutavverkning som gallring och bör inte användas färskt, som s.k. grön GROT. Det läggs upp i övertäckta s.k. vältor i anslutning till avverknings- eller gallringsplatsen för att barr och löv ska torka och falla av före flisning och transport, alternativt transport utan föregående flisning, till värmeverken, i det senare fallet till verk med egen flistugg. Oavsett vilket är det ofrånkomligt att visst oönskat material kommer med, vilket bl.a. syns i förhöjda ask- och kvävehalter. Det är tveksamt om GROT är lämpligt att pelletera om grus och jord följer med. Om sorterad GROT kan användas blir det dyrare men kanske ändå intressant.

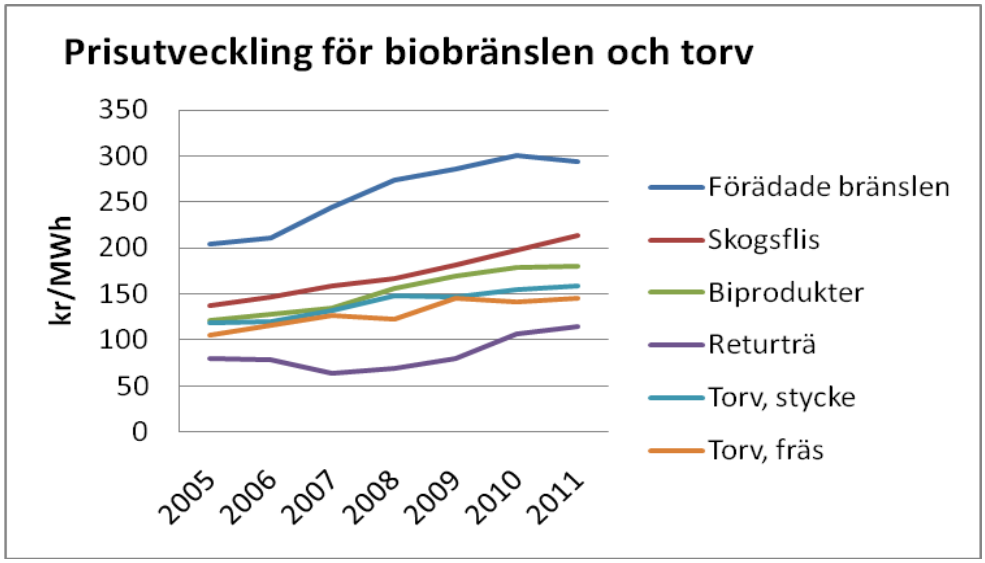
Figur 3.2.1 Flisad GROT./
Chips of forest fuel.

Av Sveriges totala energitillförsel 2009 stod biobränslen, torv och avfall för 127 TWh [1]. Figur 3.2.2.

SWEBIO uppskattade 2008 [2] att det finns en potential att fördubbla tillförseln av biobränslen fram till 2020 till ca 248 TWh och på lång sikt öka tillförseln till 394 TWh. Energitillgången i form av GROT uppskattades till ca 60 TWh. GROT eller skogsflis importeras från bl. a flera av Östersjöländerna. Prisutvecklingen för skogsbränsle under 2004-2008 visas i Figur 3.2.3. [3]



Figur 3.2.2 Sveriges totala energitillförsel 2009 Statistik från Energimyndigheten. [1]
The Swedish total energy supply. Statistics from Energy Agency.



Figur 3.2.1 Prisutveckling för GROT 2004-2011.Statistik från Energimyndigheten.[3]/
Price trend for forest fuel 2004-2011.Statistics from the Swedish Energy Agency.

GROT har i allmänhet en hög fukthalt, 40-55 % fukt är vanligt. GROT är ett volyminöst bränsle och transportkostnader för obearbetad GROT gör att transport till användare inte bör överstiga 7-10 mil för att vara ekonomiskt lönsamt. Biltransport av GROT till förbränningsanläggningar är vanligast. För att andra transportsätt, tåg eller båt, ska vara lönsamma krävs, förutom att räls finns ända in på anläggningen respektive hamn i närområdet, att transportavståndet är minst 20 mil för tåg och 50 mil för båt. I vilken form GROTen transporteras kan ha betydelse för både ekonomi, kvalitet och miljö. [4] Tabell 3.2.1.

Tabell 3.2.1 Utvärdering av olika sätt att transportera GROT.[4]
Evaluation of different methods för transport of forest residues.

	Osönderdelad GROT	**Buntad GROT**	**Balad GROT**	**Flisad GROT**
Ekonomi	Kräver sträckor på under 4 mil och specialfordon	Billigast om den nya buntningstekniken fungerar som man tror och hoppas	Kräver special-fordon, dock bra lönsamhet tack vare komprimering. Kräver speciell utrustning för sönderdelning.	Klarar längre sträckor tack vare komprimering, dyrt att flisa i skogen. Kräver specialfordon
Kvalitet	Ingen påverkan	Risk för högre fukthalt	Risk för högre fukthalt	Risk för högre fukthalt och energiförluster
Miljö	Ger hög utsläpps-faktor per MWh pga. låg lastningskapacitet Mycket damnings-benägen	Bra lastnings-kapacitet minskar utsläpp. Risk för mögelangrepp	Bra lastnings-kapacitet minskar utsläpp. Risk för mögelangrepp	Bra lastnings-kapacitet minskar utsläpp. Risk för mögelangrepp
Omdöme	Undvik helst	Mycket bra	Bra	Godkänd

3.2.1 Lagar

Förbränningen av GROT regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
GROT är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
GROT berättigar till elcertifikat.

3.2.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.2.2 Analys GROT/ Analysis of Forest residues

Prov	Exempel [5]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	47,9		43,95	23,10	67,50	294
Aska (torrt)	2,7		2,65	1,33	4,7	294
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)			75,6			1
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	21,2		20,8	18,38	21,5	294
Hkal (leverans)	10,7		10,5	8,9	13,8	12
Heff (torrt askfritt)	19,9		19,5	18,8	20,1	12
Heff (leverans)	8,9		8,6	7,0	12,1	12
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	53,1		51,0	42,8	54,1	294
H (väte)	6,0		6,1	5,0	6,6	294
O (syre)	40,6		40,0	37,7	42,4	12
S (svavel)	0,04		0,04	0,01	0,16	294
N (kväve)	0,31		0,4	0,05	1,1	294
Cl (klor)	0,02		0,02	0,01	0,05	294
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	540	20000	16968	5667	44255	16
As (arsenik)	0,08	3,0	3,6	3,0	14	7
Ba (barium)	73,1	2707	1723	1232	2707	3
Ca (kalcium)	5186	192063	181807	97021	272727	11
Cd (kadmium)	0,22	8,0	7,0	2,6	25	8
Co (kobolt)	0,16	6,0	5,8	4,4	14	8
Cr (krom)	2,7	101	140	98	415	8
Cu (koppar)	2,7	98	95	78	290	8
Fe (järn)	225	8339	11548	4333	26383	11
Hg (kvicksilver)	0,03	1,2	0,6	0,2	1,7	8
K (kalium)	2059	76251	71981	45238	165000	16
Mg (magnesium)	566	20948	22667	12617	28121	11
Mn (mangan)	430	15934	9931	1738	25000	14
Mo (molybden)	0,10	3,7	5,3	3,7	6,8	2
Na (natrium)	231	8573	6790	926	139680	16
Ni (nickel)	0,70	26	61	26	185	8
P (fosfor)	463	17141	18000	6936	24450	11
Pb (bly)	1,5	56	63	37	900	8
Sb (antimon)			4,0	2,4	17	5
Si (kisel)	3053	113079	120833	24278	183784	11
Ti (titan)	29,4	1088	805	400	2833	14
Tl (tallium)			1,7	0,7	8,0	5
V (vanadin)	0,5	17	19	14	46	8
Zn (zink)	54,3	2011	2047	1405	4500	8

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.2.3 Nyckeltal GROT. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers Forest residues. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**1,34**	**1,24**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0,17	0,17
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0,49**	**0,54**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0,16	0,14
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	5,43	5,79
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	**0,38**	**0,33**

Tabell 3.2.4 Bränsledata för GROT(skogsbränsle)[6]/
Fuel data for forest residues.

Fukt vikt-%	Aska vikt-% TS	Svavel vikt-% TS	Klor vikt-% TS	H_{eff} MJ/kg	Miles index[1]	Sintring enl ETC[2] °C	T_{15}[3] °C	ID [4] °C	Fouling index[5]	Pris öre/kWh
35-55	1-5	0,02-0,05	0,02-0,05	7-12	0,12	950	1080	1180	1,02	10-12

[1] kg alkali/GJ (< 0.17 användbara, 0.17-0.33 tveksamma, > 0.34 oanvändbara bränslen)
[2] CFBA-metoden, se kapitel askegenskaper
[3] Temperatur när 15 % av aska är smält
[4] Askans mjukningstemperatur enligt ASTM, se kapitel askegenskaper
[5] Beräknas med hjälp av asksammansättningen, se kapitel askegenskaper

Alla data i Tabell 3.2.4 utom möjligen Miles index indikerar låg till måttlig risk för bildning av slagg, beläggningar eller sintring.

Tabell 3.2.5 Svavel- och fosforkvoter för GROT. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for forest residues. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	10.4	9.63
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	3.7	3.4
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	2,0	2,0
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.05	0.06

**Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
***Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.2.3 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Data i tabell 3.2.3 visar på viss risk för sintring/bäddagglomerering i fluidiserad bädd. Svavel- och fosforkvoterna i tabell 3.2.5 visar att eldas bränslet i en fluidiserad bädd sker sannolikt en egenabsorption av svavlet i bränslet. Det i sin tur innebär att det klor som finns i bränslet sannolikt avgår som alkaliklorid som kan bilda korrosiva beläggningar på värmeöverförande ytor. Mängden alkali och klor i bränslet påverkar mängden alkaliklorid som bildas. Fosforkvoten visar att det inte finns fosfor i tillräcklig mängd för att kunna påverka klorinnehållet i beläggningar.

Tabell 3.2.6 Analys Stubbar/ Analysis of Stump wood

Prov	Exempel [14] Stubbar		Median	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	44,4		35,1	17,7	56,6	62
Aska (% torrt)	1,5		4,3	1,4	17,8	62
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)			-	-	-	1
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	20,84		20,62	19,13	22	17
Hkal (leverans)	11,41		13,02	8,0	14,63	11
Heff (torrt askfritt)	19,50		19,54	19,11	20,59	65
Heff (leverans)	9,60		11,24	6,10	12,88	11
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	51,80		49,9	41	52,9	72
H (väte)	6,1		5,95	4,7	7,2	71
O (syre)	41,8		41,1	40,4	42,3	8
S (svavel)	0,02		0,02	0,01	0,04	70
N (kväve)	0,18		0,13	0,05	0,43	72
Cl (klor)	0,02		0,01	0,0	0,2	70
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	688	45866	38987	32108	45866	2
As (arsenik)	0,2	10	6,2	2,4	10	2
Ba (barium)	14	953	749	544	953	2
Ca (kalcium)	2 258	150562	79938	9314	150562	2
Cd (kadmium)	0,1	6	3,3	0,7	6	2
Co (kobolt)	0,1	9	5,8	2,6	9	2
Cr (krom)	2,8	187	169	151	187	2
Cu (koppar)	1,0	66	43	20	66	2
Fe (järn)	539	35951	23539	11127	35951	2
Hg (kvicksilver)		<0,01				1
K (kalium)	828	55177	37172	19167	55177	2
Mg (magnesium)	270	17972	10307	2642	17972	2
Mn (mangan)	92	6144	3393	642	6144	2
Mo (molybden)	0,4	29			29	1
Na (natrium)	101	6726	8289	6726	9853	2
Ni (nickel)	0,6	38	1512	38	2985	2
P (fosfor)	102	6778	3764	750	6778	2
Pb (bly)	0,3	17	20	17	23	2
Sb (antimon)						
Si (kisel)	2 417	161120	223207	161120	285294	2
Ti (titan)	38	2557	1791	1025	2557	2
Tl (tallium)						
V (vanadin)	1,3	87	53	20	87	2
Zn (zink)	17	1120	657	194	1120	2

Tabell 3.2.7 *Nyckeltal stubbar. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.*
Key numbers stump wood. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**0,91**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0,13	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	0,08	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0.17	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	3,37	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0,2	

Tabell 3.2.8 *Svavel- och fosforkvoter för stubbar. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).*
Sulphur and phosphorus numbers for stump wood. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	75,88	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	9,94	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,0	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.03	

**Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
***Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.2.3 Driftserfarenheter

GROT

GROT eldas till största delen i värmeverk, endast mindre mängder i skogsindustrins pannor, och då oftast med blandningar av andra trädbränslefraktioner som spån, flis, torv, salix och bark. Inblandningar av 40-60% GROT är vanliga, upp till 75 % GROT-andel finns rapporterat. Fukthalterna på GROT-bränslet varierar och ligger normalt i intervallet 40-55%. Problem uppstår främst vid höga eller varierande fukthalter. Hög andel finfraktion kan också orsaka problem t.ex. vid eldning i FB-pannor där finandelen

rycks med och brinner sent i pannan. Material som brinner högt upp i pannan kan ge upphov till beläggningar och korrosion på överhettare (ÖH). Denna risk ökar i rosterpannor och BFB då temperaturen i ÖH-regionen i dessa pannor blir högre än i CFB. Asksmälttemperaturen för GROT brukar vara något lägre än för trädbränslen. Det framgår också av tabell 3.2.3 att nyckeltalet som indikerar förekomst av lågsmältande eutektikum är klart högre än motsvarande för trädbränslen.

Liksom för övriga trädbränslen har GROT orsakat alkali- och klorid- inducerade driftsproblem. Det har förekommit partiella bäddagglomereringar vid FB-eldning, oftast i samband med allvarliga driftsstörningar. Man har haft påslag av bäddmaterial i cyklonen eller inlopp och utloppet från cyklonen i vissa typer av CFB-pannor. Korrosion och beläggningar på överhettare är också vanliga problem vid eldning av GROT, en bidragande orsak kan vara att klorhalten är något högre än i t.ex. trädbränslen (tabell 3.2.2.). Det har visat sig att inblandning av svavelbärande bränslen som torv [7] och krossade däck reducerar korrosionen. Förklaringen till det senare är att alkali har större affinitet till svavel än klor och att de bildade alkalisulfaterna har högre smältpunkter än motsvarande alkaliklorider. Erfarenheter från 10 olika fluidiserade bäddar sammanfattades i en Värmeforskrapport 2001 [8]. Man fann bl.a. att:

- De pannor som har problem med påslag i cyklonen eldar ofta ganska mycket sågspån.
- I de fall GROT samförbränns med torv (15-20 %) har man oftast mindre problem.
- Högre bäddomsättning minskar askrelaterade problem
- Pannor försedda med i förhållande till eldstaden skyddade ÖH, och med lång uppehållstid har mindre problem med beläggningar

Sedan 2001 har branschen arbetat mycket med att lösa biobränslerelaterade driftsproblem bl.a. genom att designa pannorna annorlunda, använda mer höglegerade material i överhettarna, placera den varmaste överhettaren i cyklonbensreturen, dosera svavel alternativt samförbränna med torv eller andra svavelrika bränslen, dosera ammoniumsulfat i rökgaskanalen, öka bäddomsättningen i FB-pannor mm. GROT går därmed mycket bra att elda i de flesta pannor men man måste ta hänsyn till de problem som kan orsakas av bränslet.

Ett exempel på att pannans design har stor betydelse för om förbränning av GROT medför problem eller inte är Falu Energi och Vatten ABs anläggning Västermalmsverket [9]. Kraftvärmeverket har idag två 30 MW BFB-pannor som eldar samma bränsleblandning, en blandning av spån, bark, stamvedsflis och GROT. Andelen GROT uppgår till ca 30-40%. Den äldre pannan levererades 1993 av Ahlström (numera Foster Wheeler) med ångdata 510 °C och 63 bar. Pannan har hängande överhettare och man fick tidigt stora problem med beläggningar och korrosion. Man började dosera svavel för att minska korrosionen och har även bytt ut överhettaren till ett mer korrosionsbeständigt material (Esshete 1250). I dagsläget har man fortfarande problem med beläggningar på överhettare och konvektionstuber vilket innebär att man måste rengöra pannan varje år. Speciellt besvärligt blir det då GROT-en innehåller mycket finmaterial. I dagsläget har man dock inga korrosionsproblem. Man doserar fortfarande svavel men nu för att reducera CO.

Den nya pannan är en ACZ BFB levererad av Kvaerner Power 2006 designad för att kunna elda 100 % GROT och har ångdata är 500°C och 70 bar. Pannan är betydligt större och har en gasuppehållstid fram till första överhettaren som är 3 ggr så lång som i den äldre pannan. Den varmaste överhettaren är av det austenitiska materialet AC66. Man har med samma bränsleblandning inga korrosions eller beläggningsproblem och man doserar inget svavel. Pannan är mindre känslig för finmaterial i GROT-en.

Ett annat exempel där man inte har problem med att elda GROT är Ena Kraft[9]. Ena Kraft har en 75 MW (540 ºC och 100 bar) skakrost från 1994 som eldas med biobränsle. Från början eldades rent skogsbränsle och på senare tid har man blandat in 10-20% Salix i bränslemixern. Bränsleblandningen har under våren 2009 bestått av Salix (10-20%), GROT (50 %) samt flis och bark. Tillgängligheten på pannan är mycket hög, 98-99%.

Pannan går bra och man har inga problem med slaggning på rosten eller korrosiva beläggningar på överhettare. Man har inte bytt någon överhettare och har inga tecken på korrosion. Erfarenheten av att elda skogsbränsle och Salix är mycket goda.

Grön GROT

Grönt GROT är bränsle är som förbrukas i takt med avverkningen. I branschen finns viss skepticism mot att elda grönt bränsle. Några av argumenten är att bränslet skall soltorka och att man inte skall använda bränsle för att torka bränsle. Värdet på bränslet ökar med torkning. Hyggestorkning eller torkning i välta är den i särklass dyraste torken. Substansförluster både i form av nedbrytning och mekaniska förluster är omfattande.

Moderna större pannor har ofta ett fukthaltsspann på 40 – 45 % och kan därför inte tillgodogöra sig det högre värmevärdet om de inte från början är anpassade för det. Andra argument är att det bildas mer NO_x då barr eldas. Bildning av bränsle-NO_x är dock en komplicerad process och en ökad kvävehalt i bränslet behöver inte betyda en ökad NOx-bildning. Tvärtom kan NOx-emissionen minska vid ökad kvävehalt i bränslet. Detta har förklarats av att i bränslen med hög andel flyktiga beståndsdelar som trä, så frigörs kvävet bl.a. som ammoniak, samma ämne som används vid NO_x-reducering. Skillnaden i NO_x-emission kan även variera mellan olika typer av pannor för samma bränsle. När grön GROT används i mindre anläggningar kan det bli problem med att klara miljövärden, det gäller framförallt NO_x-emissionen.

Risken för agglomerering/sintring av bäddmaterialet i fluidbäddpannor kan öka med grön grot till följd av högre halt alkalimetaller i barren jämfört med stamved. Mekanismerna är i dag välkända och olika åtgärder som t.ex. ökad bäddomsättning kan vidtas om problem uppstår. Sannolikt binder grön grot, med alla sina barr, större andel föroreningar som sand, jord och grus. Problemet ligger dock inte i sortimentet, utan hur man hanterar bränslet på hygget.

Det är en allmän uppfattning att huvuddelen av slitage i bränslehanteringsanläggningen

härrör från mängden föroreningar i bränslet, vilket inte är korrekt. Naturligtvis är det föroreningarna som sliter men att slitaget blir så stort beror på punktkorrosion från den garvsyra som finns i bränslet och ett felaktigt materialval i transportörer mm. Exempel på detta är användandet av Hardox som i sig är ett utmärkt slitstål men som försvinner snabbt i dessa sammanhang pga. att det har mycket dålig motståndskraft mot korrosion.

Det anges ofta att grönt bränsle innehåller större andel finfraktion då barren är med. I verkligheten avbarras inte bränslet vid hyggestorkning utan barren lossnar vid sönderdelning och den fortsatta hanteringen. Med grönt bränsle sitter barren kvar på kvistarna efter sönderdelning och hantering, det bör logiskt sett därför vara möjligt att få mindre andel fria barr i bränslebulken. Sammantaget kan författarna inte finna några vetenskapliga hinder för att använda grönt bränsle i kombination med tork.[7]

Stubbar
Stubbar används i dagsläget som en mindre andel i den ordinarie blandningen av olika trädbränslen i många energiverk. Sannolikt kommer användningen av stubbflis att öka när alla problem med teknik, miljöpåverkan och riktlinjer för uttag av stubbar är klara. Det största problemet med stubbränsle är den föroreningsaska som i större eller mindre utsträckning följer med bränslet in i pannan. Utveckling av ny teknik för brytning kan minska andelen aska. Bränslehanteringen med krossning kan också påverkas av sten i råmaterialet. Den stora fördelen med stubbränslet är att fukthalten oftast är lägre än för andra skogsbränslefraktioner vilket gör stubbarna som ett attraktivt bränsle under perioder med hög last i energiverken. [14]

3.2.4 Rekommendationer

Det är viktigt att i fluidbäddar ”sköta” bädden och bäddmaterialet så att inte oönskade koncentrationer av sinterbildande komponenter byggs upp. Pannorna ska ha tillräcklig gasuppehållstid för undvikande av risk för beläggningar och korrosion. Inblandning av svavelbärande bränslen som torv av rätt kvalité ger oftast minskad risk för sintring och påslag vid eldning av GROT med FB-teknik. Effekten av torvinblandningen är dock beroende av torvkvaliteten. [11] Det finns t.ex. torv som innehåller mycket kalcium beroende på att de skördas i kalkhaltiga områden. Sådan torv är mindre effektiv när det gäller att minimera korrosiva beläggningar. Kalken i torven adsorberar svavel som annars skulle sulfatera de korrosiva alkalikloriderna i rökgasen.

En ekonomisk utvärdering av GROT-hantering ger följande rekommendationer [4]:

- Utveckla buntningstekniken
- Undvik terminallagring
- Maximera antalet returtransporter
- Minimera antalet hanteringsmoment
- Lager är billigast i skogen, alternativt på anläggningarna
- Utveckla logistik för ”Just In Time” leveranser direkt från skogen
- Vid nyprojektering av anläggningar, värdera möjligheten till egen flisning högt.

Man ger också följande rekommendationer för att öka kvaliteten hos GROT:

- Låt GROTen tappa barren på hygget, skota sedan till en hög och torr plats
- Underlaget måste vara fritt från sten och grus
- Täck över vältan med papp, inte presenning
- Vid flisning, eftersträva vassa knivar
- Vid lagring på terminal eller anläggning bör underlaget vara av asfalt eller betong
- Undvik att ta det understa lagret som kan innehålla föroreningar
- Undvik att lämna containrar nära allmänheten
- Undersök andra ersättningsformer för huggaren, för att stimulera minskad andel finfraktion.

3.2.5 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten är kompletterad med erfarenheter från branschen [7]. Nedan beskrivs också exempel på hur riskerna kan reduceras för att ge tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker
Risker förknippade med storskalig lagring och hantering av GROT överensstämmer med risker för andra bränslen som hanteras i bulk, t.ex. trädbränslen (flis) och bark [12]. Bland annat har mögeltillväxt i bränslestackar varit ett problem vid lagring av GROT.

Vanligtvis lagras GROT på en anläggning i stackar motsvarande åtminstone behovet över längre helger med nödvändiga reserver. I övrigt har utvecklingen gått mot ”Just in Time” leveranser, vilket innebär en viss risk för ojämn förbränning då kvaliteten på inkommande GROT kan variera. Dessutom har inte bränslet, eller bränslemixen, getts möjlighet att ”mogna” genom samlagring innan det tas in till pannan.

Lagring av grön GROT innebär en viss risk för självantändning om det får ligga en tid [12]. Risken ökar om det finns jord och lera på bränslet, vilket triggar den biologiska aktiviteten som kan leda till att temperaturen höjs i högen.

Transportutrustning och hanteringen med metallavskiljning och skyddsåtgärder är desamma som för trädbränslen och bark. Det finns dock en risk att GROT innehåller föroreningar i form av stenar och annat material som kan slita på, eller fastna i, berednings- och transportsystemen.

Vid brytning av **stubbar** lyfts stubbarna upp, klyvs och skakas av för att så mycket jord och sten som möjligt ska försvinna. Stubbarna får torka några månader på hygget, och efter transport till bilväg får de ligga kvar i 1-2 år för att torka samtidigt som väder och vind sköljer bort mer jord och sten. Först därefter krossas stubbarna och används som bränsle. Trots åtgärderna kan rester av jord och sten finnas kvar på stubbarna. Detta innebär utmaningar för den processutrustning som används.

För att sönderdela stubbarna behövs kraftig utrustning, t.ex. krossar eller långsamtgående rivare. Detta gör det svårare att finfördela stubbarna redan vid skördeplatsen än det är med exempelvis GROT. Följden om stubbarna måste sönderdelas vid förbränningsanläggningen blir att bränslet tar mer plats vid frakten, samt givetvis att det ställs krav på att anläggningen har lämplig bränsleberedningsutrustning. Även med kraftfull utrustning är risken stor för högt slitage.

För bränsleinmatningsutrustningen finns risk för ett stort slitage på t.ex. skruvar på grund av föroreningarna i bränslet.

Innan stubbarna krossas är de tunga och otympliga, och det kan finnas risk för personskador genom exempelvis klämning. Manuella moment vid hantering av stubbar bör därför minimeras.

Exempel på åtgärder

För att reducera risken för mögeltillväxt kan GROTen lagras på några olika vis [4]:

- Lagring i blandade bränslehögar med t.ex. träflis och GROT
- Lagring på hygget för att tappa barren
- Lagring på torr plats
- Övertäckning av vältan med papp, inte presenning

Föroreningar i GROT kan minimeras genom att [4]:

- Lagring görs på ett underlag fritt från sten och grus
- Lagring på terminal eller anläggning bör ske på underlag som är av asfalt eller betong.
- Undvika det understa lagret vid uppsamling/förflyttning av materialet.

Det är först inför användning (gärna några dygn innan), som bränslen av olika ursprung (typ), storleksfördelning, men framför allt olika fukthalter, ska blandas och lagras tillsammans. Syftet är tvåfalt; dels för att reducera fuktvandring och associerad risk för brand samt att få till stånd en utjämning av kvaliteten, speciellt med avseende på fukthalten. Därför är det en fördel om olika leveranser omfattande olika trädslag och typ av trädbränsle, t.ex. flis och bark, lagras i separata högar.

Åtgärder för att minimera potentiella problem kan sammanfattas enligt följande[13]:

- Lagra olika bränslesortiment i olika stackar
- Minimera fukthaltsspridningen i stacken
- Stackar med helträdsflis eller sågspån bör inte packas. Värme som bildas av till exempel mikrobiell aktivitet måste kunna ventileras ut från stacken så att risken för självantändning minimeras och tillväxten av mögelsporer minimeras.

- Metallföremål ska ha avskilts innan bränslena stackas. Metalldelarna kan annars fastna i transportörer och orsaka gnistor som leder brand, andra materiella skador eller personskador, samt driftstopp.
- Trädbränslen bör lagras i avlånga stackar med tvärsnittets bas lika med dubbla höjden för att minimera rasrisken och för att bränslet ska kunna torka effektivt vilket minskar energiförlusterna.
- Rasvinklar och frysrisken måste alltid beaktas
- Risken för självantändning ökar vid låg omsättning
- De första tecknen på upphettning kan vara ångbildning, rökdoft. Lagret bör i första hand kontrollmätas med temperatursond/-spett och/eller värmekamera.

3.2.6 Referenser

1 Energiläget 2010, Energimyndigheten.

2 SVEBIO, rapport: ”Potentialen för bioenergi – tillgång och användning” 2008-03-31, http://www.svebio.se/attachments/33/902.pdf

3 Prisblad för biobränslen, torv m.m. Nr1/2010

4 Dyrke J., Nilsson M., Olsson M., Sjöbom P. ”Från pinne till panna” Fjärrvärmeföreningen FVF 1999:13, 1999.

5 SEP bränsledatabas; SEP Bio20

6 Nyström, O., Johansson, K., Steivall, P. Småskalig biobränslebaserad kraftvärme - förutsättningar för standardiserade lösningar med avseende på teknik och bränslen i ett systemperspektiv. Värmeforskrapport 715, 2001.

7 Rodin Jennie, Wennberg Olle, Berntsson Mikael, Njurell Rolf, Thorson Ola. Optimal råvaruinsats och utnyttjandegrad i energikombinat för värme, el, biodrivmedel och avsalubränsle. Värmeforskrapport 1187, 2011.

8 Hansson S., Nyström O., Axby F., Andersson C., Kling Å. Askproblem vid skogsbränsleeldning i fluidbädd. Värmeforskrapport 730, 2001.

9 Bengt Östling Falu Energi och Vatten AB, 2009, Personlig kommunikation

10 Mats Lundvall ENA Kraft, 2009, Personlig kommunikation

11 Lundholm K, Nordin A, Öhman M, Näslund B-O; *”Experimental studies on the role of peat in preventing bed agglomeration during fluidized bed combustion of biomass fuels”,* 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-20 juni 2002, Amsterdam, Holland.

12 Dyrke J., Lindberg M., Morelius P., Problematik vid lagring och hantering av biobränsle – en förstudie, Värmeforsk rapport nr 661, A6-641, 1999

13 Knudsen Anders, Persson Hans, Brandsäkerhet vid torkning av biobränslen – Anvisningar och råd för utförande och drift. Värmeforskrapport 709, 2000

14 Strömberg Birgitta, Stubbar som bränsle. TPS 08:06

Läs mer om GROT

- Hansson S., Kallner P., Ljungdahl B., Wrangensten L., Stalenheim A., Goldschmidt B. Ramprojekt- Askproblem vid skogsbränsleeldning i fluidbädd; etapp2. Värmeforskrapport 833, 2003.
- Marcus Öhman et.al. ”Minskade askrelaterade driftsproblem genom inblandning av torv i biobränslen”. Värmeforskrapport 999, 2006

3.3 Returträ (återvunnet trädbränsle)

”**återvunnet trädbränsle**
trädbränsle som tidigare har haft annan användning, t.ex. rivningsvirke”

Returträ (RT-trä, RT-flis) är beteckning för de restprodukter av trä från konsumtion som återanvänds, återvinns eller energiåtervinns. Hit räknas inte restprodukter från avverkning eller olika träbearbetningsprocesser som sågning, hyvling etc. Returträ kan vara förorenad av bl.a. färg (kemisk förorening) samt metall och plast (mekaniska föroreningar).

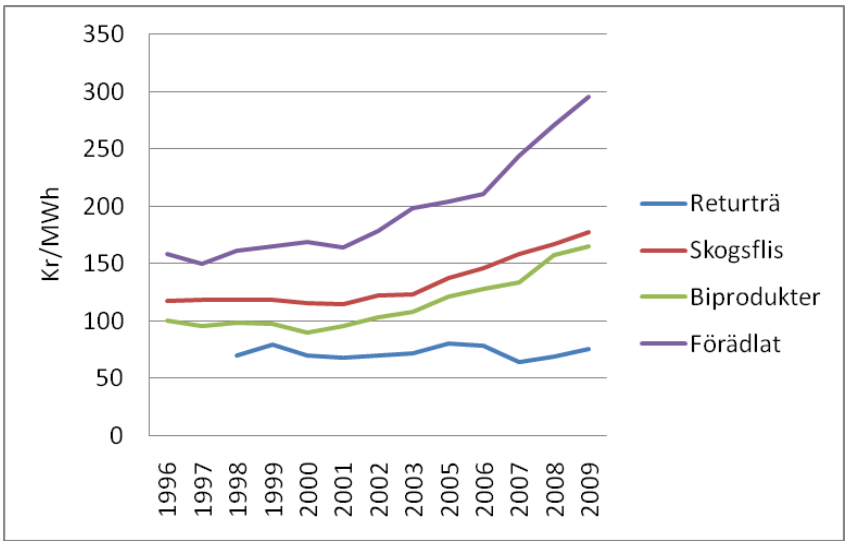
Enligt SDC (Skogsnäringens IT-företag, www.sdc.se) finns tre klasser av returträ; vitt (491), målat (492) och impregnerat (493). Vitt trä är obehandlat och kan likställas med rena biobränslen. Målat och impregnerat returträ behandlas i detta avsnitt.

Figur 3.3.1 Returträ/ Recycled wood.

De viktigaste kemiska föroreningarna utgörs av ytbehandlingar samt träskyddsmedel. Ytbehandlingarna ger framför allt ett stort bidrag av zink och bly, som kan orsaka problem med beläggningar. Impregnerat trä är den främsta föroreningskällan när det gäller koppar, krom och arsenik. Större delen av de mekaniska föroreningarna avlägsnas genom selektiv rivning samt upparbetning i samband med krossning av flisen. Plockanalyser indikerar att flisen innehåller ca 1-2% mekaniska föroreningar, mest plast- och metallföremål samt diverse mineraliska material som stenar o dyl. Ser man till trä bedöms ytbehandlat trä utgöra merparten. Impregnerat trä, exklusive sliprar och stolpar, uppskattas utgöra i genomsnitt ca 5 % av returträflödet. [1]

Användning av RT-flis i svenska energiverk har ökat under den senaste femårsperioden och är i storleksordningen 2500 GWh (2008). Generellt gäller att all tillgänglig mängd används och under senare år har det varit brist på returträ på den svenska marknaden då importen från framförallt Baltikum och norra Europa har avstannat.[2]

Priset för RT-flis har, enligt Energimyndighetens statistik [3] under den senaste 15 årsperioden legat runt 70 kr/MWh med vissa regionala- och årstidsvariationer. Priset har generellt sätt varit lägre jämfört med traditionella bränslen. Prisuppgifterna ska användas som ”färskvara” och med viss försiktighet då flera energiverk angett att de betalat högre priser för samtliga trädbränslen än de priser som anges i [3]. Tydligt är ändå att prisutvecklingen för returträ inte följer samma tendens som övriga trädbränslefraktioner.



Figur 3.3.2 Priser för olika biobränslen. Från [3]./ Prices of different biofuels.

3.3.1 Lagar

Förbränningen av returträ regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
RT-flis är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
RT-flis berättigar till elcertifikat.

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG
av den 4 december 2000 om förbränning av avfall (Upphör att gälla 2014-2016. Läs mer i kapitel 5. Lagstiftning)

Förordning om förbränning av avfall SFS 2002:1060

NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning

RT-flis som är förorenad med tungmetaller och/eller organiska halogenföreningar omfattas av dessa föreskrifter. Ovanstående lagar och föreskrifter ställer bland annat krav på kontinuerlig och periodisk mätning av olika parametrar, 2 sekunders uppehållstid vid 850°C och gränsvärden för utsläpp till luft och vatten.

3.3.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.3.1 Analys av returträ bränsle/Analysis of recycled wood fuel

Prov	Exempel [5]	Median	Spann		Antal
			Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)					
Fukt	33,7	23,3	11,1	39,1	12
Aska (torrt)	4,8	5,8	3,2	15,9	12
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)					
Värmevärde (MJ/kg)					
Hkal (torrt askfritt)	20,9	20,9	20,3	23,8	12
Hkal (leverans)	13,2	15,3	11,9	16,8	12
Heff (torrt askfritt)	19,5	19,6	19,0	22,3	12
Heff (leverans)	11,5	13,7	10,2	15,4	12
Elementaranalys (% torrt askfritt)					
C (kol)	51,7	51,9	50,2	56,5	12
H (väte)	6,3	6,3	6,1	6,9	12
O (syre)	41,1	40,3	36,2	42,0	12
S (svavel)	0,07	0,08	0,04	0,29	12
N (kväve)	0,84	1,2	0,12	1,56	12
Cl (klor)	0,05	0,06	0,04	0,22	12
Askanalys					
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***		
Al (aluminium)	1307	27229	26992	7972	33340	12
As (arsenik)	61	1271	430	42	2750	12
Ba (barium)	168	3500	3316	860	13094	12
Ca (kalcium)	3436	71583	67689	45303	123757	12
Cd (kadmium)	0,3	7	8	2,9	278	12
Co (kobolt)	0,5	11	20	6,9	71	12
Cr (krom)	117	2438	948	81	3191	12
Cu (koppar)	41	854	594	75	1912	12
Fe (järn)	1154	24042	22508	9306	60394	12
Hg (kvicksilver)	0,05	1	1	0	3,1	12
K (kalium)	1058	22042	20494	10020	26291	12
Mg (magnesium)	705	14688	11729	5340	29563	12
Mn (mangan)	119	2479	1688	755	2538	12
Mo (molybden)	0,5	10	8	0,3	17	12
Na (natrium)	793	16521	14357	5800	19127	12
Ni (nickel)	2	42	39	14	106	12
P (fosfor)	90	1875	1787	755	2758	12
Pb (bly)	27	563	544	140	28611	12
Sb (antimon)	0,7	14	13	2,5	53	12
Si (kisel)	5695	118646	116107	54444	171971	12
Ti (titan)	880	18333	17582	4333	47500	12
Tl (tallium)	0	0	0	0	3,1	12
V (vanadin)	4	81	39	12	109	12
Zn (zink)	303	6313	10393	2420	184167	12

Det är intressant att notera att exempelvärdet för returträ, (som är en analys av en returträleverans), som redovisas i tabell 3.3.1 stämmer väldigt väl med medelvärdet för alla 460 analyserna i tabell 3.3.2.

Tabell 3.3.2 Medelvärde av 460 analyser av returträ bränsle/Mean value of 460 analysis of recycled wood fuel

Prov	Exempel [5]	Medelvärde 460 analyser [13]	SDAV
Bränsleinnehåll (vikt-%)			
Fukt	33,7		
Aska (torrt)	4,8	4,6	4,5
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)			
Värmevärde (MJ/kg)			
Hkal (torrt askfritt)	20,9	20,6	0,8
Hkal (leverans)	13,2		
Heff (torrt askfritt)	19,5	19,1	0,36
Heff (leverans)	11,5		
Elementaranalys (% torrt askfritt)			
C (kol)	51,7	45,6	11,6
H (väte)	6,3	6,3	0,54
O (syre)	41,1	39,9	4,9
S (svavel)	0,07	0,17	0,58
N (kväve)	0,84	0,74	0,49
Cl (klor)	0,05	0,08	0,06
Askanalys			
	mg/kg ts Exempel [5]	**mg/kg ts Medelvärde 460 analyser [13]**	**SDAV**
Al (aluminium)	1307	1778	2548
As (arsenik)	61	30	29
Ba (barium)	168		
Ca (kalcium)	3436	4039	4216
Cd (kadmium)	0,3	0,6	0,5
Co (kobolt)	0,5	1,6	1,1
Cr (krom)	117	56	55
Cu (koppar)	41	56	99
Fe (järn)	1154	1855	3648
Hg (kvicksilver)	0,05	0,1	0,1
K (kalium)	1058	1110	866
Mg (magnesium)	705	748	741
Mn (mangan)	119	103	51
Mo (molybden)	0,5		
Na (natrium)	793	946	677
Ni (nickel)	2	3	6
P (fosfor)	90	381	1924
Pb (bly)	27	54	65
Sb (antimon)	0,7		
Si (kisel)	5695	7577	8626
Ti (titan)	880	1039	490
Tl (tallium)	0	0	0
V (vanadin)	4	3	3
Zn (zink)	303	515	352

RT-bränsle kan innehålla kraftigt förhöjda halter av zink och bly, se ovan, samt för vissa sorter även höga halter av koppar. Utöver dessa metaller är det förhöjda halter av främst klor men även svavel, natrium, arsenik och krom i RT-flis jämfört med

skogsbränsle. Förhöjda halter av speciellt zink och klor är utan tvekan viktiga orsaker till de ökande problemen med beläggningsbildning och korrosion vid förbränning av RT-flis i jämförelse med renare skogsbränslen.

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.3.3 Nyckeltal returträ. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers recycled wood fuel. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	0,71	0,66
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0,18	0,17
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0,70**	**0,98**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0,56**	**0,54**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	4,18	4,13
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0,20	0,19

Tabell 3.3.4 Svavel- och fosforkvoter för returträ. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for demolition wood. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	3,93	3,93
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	3,70	3,27
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1	1,33
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,0	0.01

**Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
***Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.3.3 Drifterfarenheter

Generellt genererar förbränning av returflis en för pannan mer problematisk aska relativt skogsflis. Risken för besvärliga beläggningar och korrosion tycks allmänt öka med ökad returflisinblandning.

En stor mängd undersökningar av RT-flis som bränsle finns redovisade i litteraturen. I referensförteckningen finns mer än 20 Värmeforskrapporter som på ett eller annat sätt behandlar RT-bränsle. I Värmeforskrapport 820 [4] sammanfattas erfarenheterna från många av de rapporter som finns under rubriken ”Läs mer om returträ”.

Returträ är ett relativt torrt bränsle som, beroende på ursprung och levererad storleksfördelning, kan damma vid lossning, beredning och lagring. Detta innebär att man får städa mer. Se vidare riskbedömning nedan.

De driftrelaterade problemen är främst beläggningsbildning och korrosion på överhettare och andra värmeöverförande ytor och förhöjda emissioner av vissa föreningar som gör att det kan vara svårt att innehålla de krav som finns i avfallsförbrännings-direktivet.

Finfraktioner i bränslet flyger upp i pannan och brinner högre upp i eldstaden eller i fribordet (fluidbädd) och t.o.m. i överhettarregionen. Det kan medföra accelererande korrosion på grund av en kombination av beläggningar, förhöjd temperatur och reducerande miljö (låg O_2- och hög CO-halt). På sikt kan detta leda till allvarliga tubskador och ångläckage samt göra det svårt att klara miljökraven. Finfraktionerna som inte hinner brinna ut i eldstaden medför också att flygaskan kommer att hålla en hög andel oförbränt material [7,8].

Föroreningar i bränslet försvårar förbränningen och reducerar anläggningens tillgänglighet genom att vissa metaller i bränslet, (t.ex. aluminium och zink), smälter och sätter igen förbränningslufthål och dysor på en roster respektive en bäddbotten (FB). En hög inblandning av RT-flis ger ett ökat behov av att omsätta sanden i fluidbädden för att förhindra sintring.

Oorganiskt material som tegelstenar och gipsplattor i bränslet försvårar förbränningen och sliter mycket på pannan varför pannans delar behöver bytas oftare än vanligt. Pannan måste också sotas med tätare intervall.[9,10]

Slipers

Svenljunga har eldat slipers sedan 1993. Man har en 12 MW rost och använder numera flisad slipers som normalbränsle och sameldar med RT-flis. Slipers upplevs som ett något enklare bränsle än RT-flis. Emissionerna för slipers är jämförbara med vad som får med RT-flis, men NO_x-halten blir något lägre med slipers. [6]
Trollhättan har utfört jämförande miljömätningar vid användning av slipers och vanligt skogsbränsle. En tydlig skillnad var att mängden mögelsporer vid bränslehanteringen var mer än 100 gånger lägre vid användning av slipersflis. [11]

Emissioner

Innehållet av tungmetaller i bränslet gör att emissioner av dessa föreningar kan förväntas. Vid de temperaturer som är aktuella för stoftrening återfinns samtliga metaller, med undantag av kvicksilver, till dominerande del som askpartiklar. Om stoftkraven kan innehållas klarar de flesta anläggningar utsläppskraven i EU:s avfalls-förbränningsdirektiv. Det innebär att emissionsgränsvärdet för stoft blir begränsande och om detta kan ske med rätt dimensionerade el- eller spärrfilter, klaras även gränsvärdena för tungmetaller. Undantaget kan vara bly. Emissionerna av HCl och SO_2 kan bli avgörande för vilken rening, förutom stoftreningen, som krävs för att uppfylla EU-kraven. I många fall kommer det att krävas rökgaskondensering för att innehålla gränsvärdena för HCl och SO_2. [4]

Rökgaskondensat

Pannor som är utrustade med rökgaskondensering och använder RT-bränsle kan få problem med förhöjda halter av tungmetaller i kondensaten beroende på bränslets ursprung. Detta kan medföra att miljötillstånden för utsläpp med vatten kan bli svåra att klara och installation av dyrbar reningsutrustning kan bli nödvändigt.

3.3.4 Rekommendationer

Olika vägar att minska problemen med eldning av RT-bränsle har identifierats. Rekommendationerna kommer från ”Förbränning av returträflis; Ramprojekt returträflis” [4].

Förbättrad bränslekvalitet

Bränslekvaliteten kan förbättras genom en bättre källsortering. En stor del av de problematiska föroreningarna kan sorteras bort, men detta måste göras innan bränslet flisas. Konsekvensen av en alltför noggrann sortering är att andelen ”ren” flis blir liten och priset blir högt. Hur långt flisen ska renas beror bland annat av vilken panna som bränslet ska användas i. För bränsleanvändaren är det viktigt att känna till vilka kvalitetskrav hos flisen som är väsentliga för driften samt att veta hur dessa krav kan följas upp vid bränsleleveranser.

För att få en god kvalitet på bränslet är det viktigt att ha en bra relation med leverantören och en bra bevakning av bränslet. Ett sätt att slippa oönskat material är att ställa upp en bränslespecifikation till leverantören och att inte ta emot bränsle som inte uppfyller denna specifikation.[10]

Magnetavskiljare tar bort en stor andel av det metalliska material som följer med bränslet. Den magnetiska avskiljningen kan kompletteras med en icke magnetisk avskiljning, t.ex. en virvelsströmsseparator som med hjälp av inducerade magnetfält sorterar ut ledande metaller från bränslet. För att få en bra reningseffekt bör bränslet först krossas (inkapslat material avskiljs inte annars) och fördelas i ett tunt lager över bandet. Dessutom bör magnetiskt material avskiljas innan virvelströmsseparatorn, materialet riskerar annars att värmas upp av virvelströmmarna.
Bränslekvaliteten kan också förbättras genom att de finaste fraktionerna siktas bort. Det finns visat att de finaste fraktionerna av bränslet innehåller förhöjda halter av flertalet av de oönskade föreoreningarna.[4] Om dammfraktionen, som utgör 5-10% av bränslet siktas bort kan man minska innehållet av de beläggningsrelaterade föreningarna med 40 %. Dammfraktionen har en hög askhalt (12-40%) och är önskvärd att sikta bort även av arbetsmiljöskäl. Klorhalten minskar bara med ca 10 % om dammfraktionen siktas bort.

Konsekvenserna för storskalig siktning vid anläggningar bör vara positiva vad gäller beläggningsbildning och korrosion i pannan, påverkan på utsläpp, damning vid bränslehantering och ska vägas mot kostnaderna för siktning samt för metoder att ta hand om det bortsiktade materialet.

Förbränningstekniska åtgärder

Det är viktigt att säkerställa oxiderande betingelser vid värmeöverförande ytor. Reducerande atmosfär vid pannväggar och/eller överhettare får extra stor negativ inverkan vid förbränning av RT-flis på grund av de föroreningar som finns i bränslet (t.ex. zink). En viktig åtgärd för att komma tillrätta med de driftrelaterade problemen bör därför vara att genomföra förändringar av luft- och/eller bränsletillförseln för att minska/eliminera perioderna med syreunderskott. Strömningstekniska beräkningar kan vara ett hjälpmedel i samband med modifieringar av pannan.

Det finns indikationer på att det kan finnas fördelar med att elda RT-bränsle i fluidbädd-pannor (CFB) jämfört med rostpannor. Både beläggningar och flygaska i en fluidbädd-panna innehåller markant mindre andel zink jämfört vad man får i en rostpanna.

En panna som anpassas till RT-flis bör ha reversibla skruvar och fler utmatningsvägar. En bra avskiljnings-/separationsprocess och en bra kross, kan förbättra tillgängligheten när RT-flis används i pannan.

Additiv/tillsatsbränslen

Det finns förutsättningar att minska problemen vid förbränning av RT-flis genom tillsats av additiv till bränslet och/eller rökgasen. Additivet kan på olika sätt oskadliggöra de besvärliga föroreningarna innan de deponeras på pannytorna. Ett alternativ kan vara att samelda RT-bränslet med ett bränsle som har motsvarande gynnsamma egenskaper. Positiva resultat har redovisats genom:

- Ökning av svavelhalten i bränslet. Kan ske på flera sätt, t.ex. genom tillsats av svavel, sameldning med torv, däck, rötslam etc.
- Dosering av vattenhaltig svavellösning i eller omedelbart efter eldstaden.
- Tillsats av silikathaltiga additiv/bränslen (kaolin, vissa skogsindustriella slam).

Tabell sammanfattar på ett mycket kortfattat sätt de viktigaste förbättringsmöjligheterna för att uppnå en mer problemfri panndrift och lägre underhållsbehov vid förbränning av RT-flis.

Tabell 3.3.5 Förslag till åtgärder för att minimera driftproblemen vid förbränning av RT-flis.[4]/
Suggestion how to minimize the combustion problems with waste wood.

Generell åtgärd	Konkret förslag till åtgärd	Åtgärdens inriktning
Uppgradering av bränslekvaliteten	Bättre källsortering	Minska andelen metaller och klor
	Siktning av bränslet	Avskilja finfraktionen och därmed minska andelen metaller
Förbränningstekniska åtgärder	Undvika syreunderskott vid värmeöverförande ytor	Minska beläggningsbildning och korrosionshastighet
Additiv/tillsatsbränslen	Tillsätta svavel med bränslet	Sulfatera besvärliga metallklorider
	Insprutning av svavelförening i eldstaden	Sulfatera besvärliga metallklorider
	Tillsätta specifika silikathaltiga additiv/bränslen	Binda beläggningsrelaterade ämnen

3.3.5 Risker och åtgärder vid hantering av returträ

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [7,8,9,10,12], men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker vid hantering

Returträ är ett relativt torrt bränsle som, beroende på ursprung och levererad storleksfördelning, kan damma vid lossning, beredning och transport. Dammandet kan medföra både risk för dammexplosion och försämrad arbetsmiljö. Grus, sten eller metaller kan vid bränsleberedning, t.ex. i krossar, medföra gnistor och initiera dammexplosioner. Eftersom returträ kan innehålla otrevliga föroreningar i form zink, bly, krom, arsenik och koppar är det ohälsosamt att inandas damm från bränslet.

I skivsållet, en roterande cylinder som har till syfte att avskilja föroreningar i form av oönskat material, uppstår ibland problem med långt material som lindar in sig och fastnar. Sådana problem leder till en försämrad avskiljning i skivsållet. Exempel på sådant oönskat material är tygrester, rep, plast och ståltråd. Detta ökar även slitaget på efterföljande processdelar och magnetavskiljare. Både i kross- och sållhus finns risk för dammexplosion, för beredning som sker utomhus är risken betydligt mindre.

Returträ som innehåller en stor andel finfraktioner, kan vid lagring utomhus suga upp regnvatten i stackens översta skikt (1-2 dm). Denna ytuppfuktning medför i regel inga problem. Däremot kan regnvatten tränga längre ner i stacken, vid långtidslagring av avsiktat returflis, och ge upphov till autooxidation och värmeutveckling med risk för självantändning.

Transport av returträ inom anläggningen innebär ett flertal problem. Speciellt problematiskt är föroreningar i form av endimensionellt långsträckt material såsom kablar, rep, ståltråd och textilier kan trassla in sig i skruvar och liknande. Även överstort material i returflisen kan fastna i transportbanden. Föroreningar i bränslet ökar dessutom slitaget på transportsystemens delar. T.ex. riskerar spikar i bränslet att fastna i transportbandet och öka slitaget av detta.

Eftersom returträ är ett torrt och dammande bränsle innebär detta att risken för brand i transportsystemen är förhöjd gentemot andra fuktigare bränslen. Metallbitar i bränslet är dessutom en källa till gnistbildning och kan därmed vara en orsak till uppkomst av brand.

Returflis, speciellt om det innehåller stickor och föroreningar av den typ som specificerats ovan, är ett hängningsbenäget bränsle som kan hänga sig vid bränslestup. Av detta skäl krävs att bränslestupen har ett ökande tvärsnitt. V-formade stup medför hängning och bör byggas om.

Exempel på riskreducerande åtgärder
Hantering av returträ utomhus minskar de risker som damning medför. Det bör undersökas om området ska ATEX-klassas, d.v.s. om det finns risk för explosionsfarlig miljö. Personal som befinner sig i närheten av lossningsstället kan, för att minska arbetsmiljörisken, bära andningsskydd.

Returträ med mycket finfraktion, eller berett bränsle, kan lagras under tak för att väderskydda bränslet. Vid hantering och lagring inomhus är det viktigt att ha god ventilation som ventilerar ut dammpartiklar i luften, en lösning är att ha ett halvöppet lager med t.ex. öppna dörrar och vid behov, inte minst av arbetsmiljöskäl, punktutsug. För att minimera skadorna vid en eventuell explosion i en lagerbyggnad bör tryckavlastningsluckor installeras. Rökdetektorer samt olika typer av värmedetektorer finns installerade hos flera anläggningar tillsammans med automatiska släcksystem. Ett annat sätt att reducera risken för dammexplosion är att installera ett gnistdetekteringssystem i sådana positioner där gnistor kan uppstå.

Många av riskerna/problemen med returträ beror på föroreningar i bränslet. Om föroreningarna reduceras minskar också de risker som föroreningarna medför. Detta kan göras med hjälp av en tydlig specifikation av vad som får och inte får ingå i bränslet vid leverans, t.ex. maximal andel textil, plast och metall. Ett annat alternativ är att göra ett större arbete med utsortering av främmande föremål på själva anläggningen. För att underlätta hanteringen av svåra material som gärna fastnar i transportsystemen är ombyggnad till system med färre roterande delar ett alternativ.

För att reducera slitage på matningsskruvar kan skruvarna och deras gängor förstärkas med påsvetsade metallförstärkningar, ”klackar”.

3.3.6 Referenser

1 Jermer Jöran, Ekvall Annika, Tullin Claes, Inventering av föroreningar i returträ. Värmeforskrapport 732, Mars 2001

2 www.svenskfjarrvarme.se (bibliotek, statistik)

3 www.energimyndigheten.se (webbshop, faktablad) Prisblad för biobränslen och torv.

4 Andersson Annika, Andersson Christer, von Bahr Bo, Berg Magnus, Ekvall Annika, Eriksson Jan, Eskilsson David, Harnevie Henrik, Hemström Bengt, Junstedt Jenny, Keihäs Juha, Kling Åsa, Mueller Christian, Sieurin Jan, Tullin Claes, Wikman Karin. Förbränning av returträflis; Ramprojekt returträflis. Värmeforskrapport 820. Augusti 2003

5 Tekniska Verken i Linköping. Returträ från Ulricehamn 2004

6 Sven-Arne Persson, Svenljunga Energi AB, personlig kommunikation

7 Roland Olsson, Lunds Energi, Personlig kommunikation

8 Tobias Norin, E.ON Värme, Personlig kommunikation

9 Daniel Nilsson, Fortum Värme, Personlig kommunikation

10 Kenneth Lundkvist, Fortum Värme, Personlig kommunikation

11 Peter Käck, Trollhättan Energi, Personlig kommunikation

12 Martin Resmark, E.ON Värme, Personlig kommunikation

13 Per Ljung, Vattenfall Idbäcksverket, Personlig kommunikation

Läs mer om returträ

Värmeforskrapporter

653 Tullin Claes, Jermer Jöran, Inventering och energiutvinning av träskyddsbehandlat virke i Sverige, 1998

668 Andersson Christer, Tullin Claes, Förbränning av returflis - kvalitetssäkring och drifterfarenheter, 1999

701 Njurell Rolf, Gyllenhammar Marianne, Upparbetning av returbränslen - förutsättningar, kvalité, teknik och kostnader, 2000

718 Harnevie Henrik, Olvstam Marie Louise, Regelverk för eldning av returträflis, 2001

733 Andersson Christer, Högberg Jan, Orsaker till askrelaterade driftproblem vid eldning av returträflis, 2001

734 Sjöblom Rolf, Hypoteser och mekanismer för bildning av beläggningar innehållande zink och bly i samband med förbränning av returflis, 2001

741 Linder Kristina, Sameldning av rötslam och energirika avfallsbränslen eller skogsbränslen, 2001

753 Ljungdahl Boo, Zintl Frank, RT-flis och rötslam. Problemidentifiering relaterad till bäddsintring och emissioner vid eldning i FB, 2001

754 Högberg Jan, Björkman Petter, Utvärdering av metoder för avlagringsmätningar, 2001

755 Berge N, Engvall K, Landtblom M, Larfeldt J, Ljungdahl B, Malmgren A, Rudling L, Zintl F, TPS Branschforskningsprogram för Energiverk 99/00, 2001

759 Strömberg Mats, Erdegren Per, Sameldning av returbränslen i form av papper, plast och trä i fastbränslepanna som idag ej är klassad för avfall, 2002

767 Sundquist Lena, Dejfors Charlotte, Wrangensten Lars, Rening av kondensat från rökgaskondenseringsanläggningar vid samförbränning av avfallsbränslen. Uppföljning av utsläpp. 2002

788 Elisabeth Blom, Rickard Lundborg, Lars Wrangensten, Proveldning i fastbränslepanna för att kartlägga emissioner vid inblandning, 2002

792 Axby Fredrik, Rökgaskondensering; Fördelning av emissioner mellan gas och kondensat, 2002

799 Lindau Leif, Mätning av emissioner vid förbränning av RT-flis för att identifiera eventuella ombyggnadsåtgärder, 2003
823 Aurell Johanna, Kling Åsa, Liljelind Per, Andersson Christer, Marklund Stellan, SCR som metod för kombinerad dioxin- och kväveoxidreduktion vid samförbränning av biobränsle och avfall, 2003
841 Kjörk Anders, Behovsstyrd sotblåsning för bio- och avfallseldade pannor - inventering och teknikval, 2003
843 Dejfors Charlotte, Lindeberg Åsa, Knutås Christer, Nordling Johan, Syntesrapport för Värmeforsks basprogram 1999-2003, 2003
844 Jacoby Jürgen, Rodin Åsa, Förbränningsförhållanden vid omblandning i bränslebäddar på rörlig rost vid eldning av biobränsle och sameldning med returbränslen - etapp 1; Försök i, 2003
856 Henrik Bjurström, Magnus Berg, Maria Alm, Pascal Suér, Karsten Håkansson, En förenklad testmetod för kvalitetssäkring - Etapp I, 2004
861 Elisabet Blom, Annika Ekvall, Lennart Gustavsson, Kerstin Robertsson, Jan-Olov Sundqvist, Erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring av verksamhetsavfall i Sverige och Europa, 2004
908 Kassman Håkan, Andersson Christer, Carlsson Jonas, Björklund Ulf, Strömberg Birgitta. Minskade utsläpp av CO och NOx genom dosering av ammoniumsulfat i förbränningsrummet. 2005
917 Berg Magnus, Andersson Christer, Ekvall Annika, Eskilsson David, de Geyter Sigrid, Helgesson Anna, Myringer Åse, Wikman Karin, Öhman Marcus. Förbränning av utsorterade avfallsfraktioner. 2005
928 Aurell Johanna, Kling Åsa, Myringer Åse och Marklund Stellan. Minskad dioxinbildning med hjälp av additiv vid sameldning av skogsbränsle och returbränsle. 2005
932 Kling Åsa, Myringer Åse, Eskilsson David, Aurell Johanna, Marklund Stellan. SCR vid sameldning av biobränslen och returbränslen. 2005
941 Bjurström Henrik, Wikman Karin. Askanvändning vid samförbränning av RT-flis med olika biobränslen; Försöksprogram i en 24 MWth bubblande bädd. 2005
957 Arm Maria, Lindeberg Johanna, Rodin Åsa, Öhrström Anna. Gasbildning i aska. 2006
997 Davidsson Kent, Eskilsson David, Gyllenhammar Marianne, Herstad Svärd Solvie, Kassman Håkan, Steenari Britt-Marie, Åmand Lars-Erik. Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem; Ramprogram. 2006

3.4 Salix

Salix är det latinska namnet för sälg, vide och pil och växer vilt på alla jordens kontinenter utom Australien. Det finns ca 400 [1] arter av familjen Salicaceae som Salix tillhör, varav ca 30 i Sverige. Korgvide (Salix viminalis) och vattenpil (Salix dasyclados) är de vanligaste i energiskogsodlingar, men nya sorter som är tåligare mot sjukdomar, skadeinsekter och frost tas fram främst genom utveckling i Sverige.

Figur 3.4.1 Korgvide (Salix viminalis)./ Willow (Salix viminalis)

Salix odlas främst i södra Sverige på grund av dess frostkänslighet. Nya sorter som Tora och Gudrun[2] klarar dock odlingszon 5, som täcker hela södra Sverige och sträcker sig uppåt efter norrlandskusten till trakterna kring Piteå [3]. Eftersom transportkostnaderna är relativt höga är salix att betrakta som ett lokalt bränsle som inte bör transporteras långa sträckor[4].

En salixodlings livslängd är ungefär 25 år och salix skördas vart 3:e till vart 4:e år. 2006 odlades Salix på knappt 15 000 ha i Sverige, med en ökning på ungefär 500 ha per år blir den årliga skörden ca 2 500 ha.[5] Salix är den energigröda som har högst avkastning av bioenergi per hektar åkermark och den kräver också relativt lite energi för odling och skörd. Potentialen för år 2020 bedöms av LRF vara 4 TWh, vilket motsvarar odling på 100 000 ha. [6]. Salix i energiskog blir i regel 6-8 meter hög och kan producera 8-10 ton TS flis/ha och år vilket motsvarar 4-5 m^3 olja [5]. Salix kräver bra åkermark, anpassad gödsling och bra val av salixsort. Gödsling sker oftast med handelsgödsel, men salix unika förmåga att ta upp näringsämnen och tungmetaller gör

att många kommuner använder salixodlingar som en del av sina reningsverk. Salix kan också användas för att rena åkermark från kadmium [7,8].

Salix skördas normalt mellan november och april, dels av växtfysiologiska skäl och dels för att markens bärighet är störst då [5,9]. Det finns grovt sett två olika skördemetoder; direktflisning respektive helskottsskörd. Vid direktflisning flisas de skördade skotten och blåses in i en container i anslutning till skördemaskinen. Flisen levereras därefter direkt till värmeverket. Vid helskottsskörd samlas skotten i hög och lagras i väntan på transport eller flisning.

Knutet till salixens skottliknande växtsätt får det vid flisning en storleksfördelning med en grovfraktion i intervallet 20-70 mm. Salix skiljer i detta avseende avsevärt från andra flisade eller krossade trädbränslen, grot och bark genom att i princip inte innehålla någon finfraktion. Med avseende på de problem som i regel följer med förekomst av finfraktioner kan det tyckas vara en fördel. Så är dock inte alltid fallet.

Ämnen som kväve, fosfor, kalium, magnesium, kadmium och bly med flera förekommer i högre koncentration i barken än i veden. Många av dessa ämnen kan vara problematiska om de finns i hög koncentration i bränslet. Eftersom barkandelen minskar med ökande ålder är det ur denna synvinkel fördelaktigt att låta plantorna stå längre tid. Konkret skulle det kunna innebära att man snarare skördar vart 4:e eller vart 5:e istället för vart 3:e år. En annan åtgärd som skulle ge bättre uthållighet i odlingen är att vid skörd bara ta stammarna och lämna kvar de näringsrika grenarna på åkern [10].

Tabell 3.4.1 Metallinnehåll för några biobränslen (medelvärden)[11].
Metal content in some biomass fuels (average).

	Energiskog		Skogsbränsle		Halm	
	mg/kg TS vedråvara	**µ g/g aska**	**mg/kg TS vedråvara**	**µ g/g aska**	**mg/kg TS vedråvara**	**µ g/g aska**
Kadmium	0,8—2,9	45-160	< 0,15	6	0,1-0,5	1,5-1,7
Nickel	0,5-0,7	30-40	0,5	20	0,3	4
Bly	1-2	55-110	1,1	45	0,2-0,3	3-4
Zink	50-100	2780-5560	20	800	5-12	70-170
Mangan	30-80	1670-4440	34	1360	20-35	290-500
Koppar	3-5	170-280	13	520	1-	15-30

3.4.1 Lagar

Förbränningen av salix regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Salix är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Salix berättigar till elcertifikat.

Salix är ett biobränsle och omfattas inte av avfallsförbränningsdirektivet men eftersom tungmetallinnehållet i salix kan vara högt kan det vara nödvändigt med behandling av framförallt flygaskan innan den deponeras. En jämförelse mellan gränsvärdena för utlakning från avfall som deponeras [12] och innehållet i aska från salix visar att halterna av till exempel kadmium, koppar, nickel och zink kan vara för höga.

3.4.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.4.2 Analys salix/ Analysis Willow

Prov	Exempel [13]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	51		12,6	3,5	61	14
Aska (% torrt)	1,9		2,1	1,1	6,9	18
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	80,8		81,6	80,6	85,9	7
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	19,5		19,9	18,3	21,4	14
Hkal (leverans)	9,38		16,7	7,5	18,9	13
Heff (torrt askfritt)	18,15		18,6	17,0	20,1	14
Heff (leverans)	7,48		15,9	5,5	17,6	13
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	48,9		49,8	48,5	52,1	17
H (väte)	6,22		6,12	5,9	6,57	17
O (syre)	44,37		43,6	41,1	44,9	17
S (svavel)	0,04		0,04	0,02	0,13	17
N (kväve)	0,41		0,5	0,1	0,98	17
Cl (klor)	0,03		0,02	0,01	0,41	11
Askanalys						
	mg/kg ts	***(mg/kg aska)***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	12	635	5625	635	44402	12
As (arsenik)	-	<1	6	1	88	5
Ba (barium)	-	-	367	250	484	2
Ca (kalcium)	4712	247999	244425	24295	275156	13
Cd (kadmium)	2	92	92	54	107	5
Co (kobolt)	-	-	32	8	56	2
Cr (krom)	0	16	150	16	2813	6
Cu (koppar)	3	135	150	96	438	7
Fe (järn)	16	839	6000	839	62670	13
Hg (kvicksilver)	0	0,4	0,45	0,4	0,5	2
K (kalium)	3013	158558	126182	38104	158558	13
Mg (magnesium)	454	23882	22000	2880	27681	13
Mn (mangan)	36	1896	2250	500	4850	10
Mo (molybden)	-	-	357	31	682	2
Na (natrium)	28	1484	7626	1484	132000	12
Ni (nickel)	1	54	67	21	4875	6
P (fosfor)	682	35871	38009	15972	45384	13
Pb (bly)	0	9	12	5	8438	5
Sb (antimon)	-	-	250	250	250	1
Si (kisel)	2562	31367	79469	9349	198953	12
Ti (titan)	1	60	563	60	8691	9
Tl (tallium)	-	-	-	-	-	
V (vanadin)	0	3	13	3	222	5
Zn (zink)	54	2850	3440	1930	3875	7

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.4.3 Nyckeltal salix. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers Willow. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**3,23**	**1,69**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,22	0,19
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,32**	**0,30**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,02	0,03
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**47,4**	**41,3**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	2,46	**0,66**

Salixaska innehåller liksom andra snabbväxande grödor relativt höga halter av smältpunktsnedsättande och korrosiva element som kan ge både sintrings- och beläggningsproblem. Till skillnad från t.ex. rörflen tvättas inte dessa element ur i samband med övervintring då de finns lagrade i veden. I Tabell 3.4.4 kan man tydligt utläsa att speciellt Fouling index är mycket högt och indikerar att salix kan ge upphov till sintrings- och beläggningsproblem.

Tabell 3.4.4 Bränsledata för salix. [14]
Fuel data for willow.

Fukt vikt-%	Aska vikt-% TS	Svavel vikt-% TS	Klor vikt-% TS	H_{eff} MJ/kg	Miles index[1]	Sintring enl ETC[2] °C	T_{15}[3] °C	ID [4] °C	Fouling index[5]	Pris öre/kWh
25-50	1-5	0,005-0,03	0,01-0,1	8-13	0,11		950	1250	7,3	10-15

[1] kg alkali/GJ (< 0.17 användbara, 0.17-0.33 tveksamma, > 0.34 oanvändbara bränslen)
[2] CFBA metoden, se kap askegenskaper
[3] Temperatur där när 15 % av aska är smält
[4]askans mjukningstemperatur enligt ASTM, se kap askegenskaper
[5]beräknas med hjälp av asksammansättningen, se kap askegenskaper

Tabell 3.4.5 Svavel- och fosforkvoter för salix. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal). Sulphur and phosphorus willow for demolition wood. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	9,42	10,3
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	2,58	2,50
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,33	2,0
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,08	0.09

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.4.3 Drifterfarenheter

Salix används alltid flisad och liknar normal bränsleflis när det gäller volymdensitet, rasvinklar och andra bränsleparametrar. Storleken på flisen är ofta något större än för vanlig flis och andelen fina partiklar är oftast låg.

Bränslematning
Tester har visat att salixbränslets benägenhet att brygga över öppningar är beroende av i första hand partikelstorlek och fukthalt. Bränsle som bestod till stor del av partiklar längre än 100 mm bryggade över betydligt större öppningar än bränsle med bara ett fåtal procent stora partiklar. Ökad fukthalt visade sig också öka tendensen att bilda överbryggningar [15].

Torkning
Torkning av stammar utomhus i högar kan sänka fukthalten till ca 20 % men torkningen sker långsamt på grund av att barken är svårgenomträngliglig, vilket också gör att veden inte återfuktas i någon större utsträckning vid regnväder. Övertäckning av högen ger därför inte heller någon effekt på lång sikt. Fukthalten inom stammarna visade sig vara homogen efter torkningen [16]. Försök med konvektiv torkning av en bränslebädd bestående av salixflis visade att torkningen fortskrider längs en tydlig front igenom bädden. Torkluften blev mättad på vattenånga vilket medförde viss kondensation i övre delen av bädden, vilket i sin tur ledde till längre torktid än förväntat i denna del av

bädden. Undersökningen visade också att kostnaderna för torkningen utgör en betydande del av den totala bränslehanteringskostnaden [17].

Lagring
Lagring av salixflis i stack är problematisk. Den biologiska nedbrytningen går snabbare och värmeutvecklingen ökar risken för mögel som kan ge arbetsmiljöproblem.[4].

Merkostnader
Energiverkens merkostnader för att använda salix i stället för skogsbränsle har beräknats och man visar på att dessa är i storleksordningen 0-1 kr/MWh. De flesta anläggningar ser inga merkostnader. En högre askhalt kan ge ökade kostnader för askhantering och sotning. [18]

Förbränningstester
Förbränningsegenskaper hos olika kvaliteter av salix har undersökts i laboratorieskala och även jämförts med GROT. Resultaten visar att partikelstorleken och fukthalten hos bränslena har stor betydelse för antändning och utbränning. Salix från unga odlingar har en större andel bark som delvis omsluter veden och gör att bränslet torkar betydligt långsammare än salix från äldre bestånd. Vid bäddförbränning konstaterades att mindre partikelstorlek ger snabbare antändning. I många fall med eldning av färsk salix riskeras lokalt mycket höga fukthalter i bränslet vilket leder till en mindre glödbädd på rosten vilket i sin tur försämrar förbränningsstabiliteten på rosten. Möjligen kan skillnader i antändningsförlopp för salix och skogflis hänföras till skillnader i mängden bark. [13]

Jämförelse mellan salix och gran i laboratorieskala som utfördes i en bubblande fluidbädd visar bl.a. att ytterbark förefaller ha en skyddande funktion och fördröja utbränningen av salixbränsle i sådana fall då den sitter kvar på bränslestyckena. Reaktiviteten för jämförbara bränslestycken med bark av gran och salix visar inga signifikanta skillnader. Fukthalt liksom area/volymförhållande har ett avgörande inflytande på förbränningshastigheten hos salixbränsle. [19]

Salix i mald form för pulverbrännare resulterade i stora problem med bränslematningen, valvning och statisk elektricitet orsakade stopp i hanteringen. Salix kräver ca 60 % mer energi för malning jämfört med barrträd [20].

Inblandning av 15-20 % torv har visats ge minskade problem med bäddagglomerering, vilket förklaras av att kalciumhalten ökas i det inre skiktet på bäddkornen samtidigt som kaliumhalten minskas. Inblandning av torv vid rosteldning ger dock ökade slaggningstendenser på grund av att kiselhalten ökar i förhållande till kalciumhalten. Emissioner av fina partiklar (<1μm) har setts minska vid inblandning medan emissioner av grova partiklar (>1μm) har setts öka [21].

Salix eldas i ca 25 energiverk i Sverige [5]. Salix är ett etablerat bränsle som används regelbundet i vissa anläggningar medan andra använder bränslet om det är ekonomiskt lönsamt. Erfarenheterna av förbränning av salix i full skala från dessa anläggningar varierar. Vissa rapporterar problem med påslag i eldstaden eller antändningen av bränslet, medan andra rapporterar en helt problemfri drift [22]. Vanligtvis sameldas

salix med andra bränslen vilket försvårar utvärdering av förbränningserfarenheterna. Men när det gäller vissa egenskaper så är salix likt andra trädbränslen. Salix brukar till exempel inte ge några problem med elektrofilter [4].

När det gäller påslag på rökgassidan i eldstaden kan de förklaras av att askans sammansättning förändras när salix tillförs bränslemixen. En ogynnsam asksammansättning kan leda till påslag i form av smälta askpartiklar som fastnar på eldstadsväggar och konvektionsytor. En annan viktig orsak till påslag kan vara förändringar i temperaturfördelningen i eldstaden, en temperaturändring kan provocera fram påslag i områden som tidigare varit fria från påslag. Temperaturfördelningen i eldstaden ges av var de brännbara gaserna brinner dvs. var de avges från bränslebädden och hur luften sedan tillförs. En användning av direkt skördad salix med en hög fukthalt kan tänkas fördröja antändningen av bränslebädden vilket i sin tur leder till att avgasningen förskjuts längre ned på rosten varvid gasförbränningen flyttas i eldstaden.

Eldning i CFB/BFB

Flera av verken har noterat att bränslet flyter upp ovanpå bädden, vilket kan bero på en större andel grovfraktion än den vanliga bränsleflisen och att bränslet inte hinner brinna ut i bädden. Detta borde inträffa för alla typer av bränsleflis, men salix har en mer väldefinierad storlek och saknar mycket av den fina fraktionen.

Upp till 15 % inblandning av salix i den vanliga mixen verkar fungera utan några större problem. I vissa anläggningar har upp till 100 % salix eldats utan problem, medan i andra har man fått sintring vid mindre andel salix. Sintring kan bero på att försökseldning med salix skedde inför ett byte av bäddmaterialet. [11] Vid andra tester med upp till 15 % inblandning av salix ihop med trädbränslen har beläggningar i pannan observerats. Det var dock inga större problem att sota bort beläggningarna [4].

Testeldning med 100 % salix i CFB, dels i labreaktor och dels 1 MW CFB, visar på kraftiga beläggningar i sandlås, cykloninloppet och även i bottenzonens läzoner. Inga beläggningar fanns i bakre draget. Man undersökte även bränsleaskans agglomereringstemperatur genom askindexberäkningar och rulltester som indikerade en relativt låg temperatur, 860°C. [23]

Vid försök med eldning i en 12 MW CFB-panna verkade det som att kalium anrikades något i bädden, vilket medför sänkning av smälttemperaturen för silikatblandningar. Risken för bäddagglomerering ökar därmed. Både svavel och klor hittades i beläggningsprover. Om kalium finns närvarande tillsammans med dessa ämnen kan smälta uppstå vid så låga temperaturer som 550-600°C. Risken för korrosionsproblem på tuber blir då påtaglig. På det stora hela visade dock undersökningen att det går att elda salix utan större problem [24].

Förbränning på rost

Vid rosteldning används salix kontinuerligt som inblandning i ett verk utan problem. Andra anläggningar blandar in salix beroende på bränslepriset. Upp till 100 % salix kan eldas utan problem i en panna, denna panna har överstor eldstad och rökgastemperaturen hinner gå ner innan överhettare. I andra verk har problem med

våldsam förbränning och genomblåsningar på rosten rapporterats. Detta beror sannolikt på den grova styckestorleken. Vid mindre inblandning är det inga problem. Påslag har rapporterats, dock är det osäkert hur påslagsbilden såg ut innan salix eldning startade. Vid sameldning av salix och RT-flis uppstod så stora problem med igensättningar att pannan måste stoppas för rengörning. [11]

I Flintrännan i Malmö eldar man med 10 % inblandning av salix på en fast rost. På överhettartuberna bildas beläggningar som är svåra att få bort eftersom sotblåsningen inte kommer åt. Beläggningarna är svampliknande men ej hårda. Inblandning av 30 % salix har konstaterats ge allt för mycket beläggningar [4].

3.4.4 Rekommendationer

I ett scenario med lagring av helskotten på åkern och flisning innan användning kan fukthalten sjunka till ca 30 %. Om denna lagring inriktas mot medveten torkning kan fukthalten reduceras ytterligare till ca 20 % [22]. Fukthaltsminskning leder till att en del av ovan nämnda problem kan reduceras.

Generellt kan sägas att en inblandning på 10-15% bör gå i de flesta pannor utan att orsaka problem med påslag eller sintringar. Erfarenheterna visar att det är möjligt att elda stora mängder salix i vissa pannor.

Salix visar hög tendens att bilda beläggningar i eldstaden, s.k. fouling, i rosterpannor och BFB. Dessa tendenser kan minskas genom att använda salix i pannor med låga volym- och ytbelastningar. Det leder till en lägre gastemperatur som också minskar risken för beläggningar och korrosion på överhettare.

Det är viktigt att i fluidbäddar ”sköta” bädden och bäddmaterialet så att inte oönskade koncentrationer av sinterbildande komponenter byggs upp.

Om rökgaskondensering används vid förbränning av salix, krävs sannolikt både en pH-höjning till ca 7,5-9 före filtrering samt även en sulfidfällning, då kadmium är svår att fälla ut genom enbart pH-höjning. [25]

3.4.5 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger på en intervju [26] och ett föredrag [27]. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker
Vid krossning på anläggningsplatsen ”adderas” de risker som vanligen kan förknippas med krossningsarbete.

Risker förknippade med storskalig lagring och hantering av salix överensstämmer i stort med dem som gäller för andra bränslen som hanteras i bulk, t.ex. trädbränslen (flis) och bark. Det innebär att lagring av fuktig salixflis i stack kan vara problematisk. Dels på grund av att den biologiska nedbrytningen går snabbare och dels på grund av att värmeutvecklingen från den biologiska aktiviteten gör att mögel kan bildas och skapa arbetsmiljöproblem.

Laboratorieförsök har visat att nedbrytningshastigheten är beroende av partikelstorlek och temperatur. Små partiklar och hög temperatur ger snabb nedbrytning. Fältförsök har visat att även antalet mikroorganismer i stacken blir fler när partiklarna är mindre. Långtidslagring i stack har även lett till omfördelning av fukten i stacken, med fukthalter upp till 70 %. Om bränslet ska långtidslagras i torr form är det viktigt att se till att fukthalten kommer att hamna under den så kallade fibermättnadspunkten, vilken ligger under 18-20 %. Under denna avbryts de processer som leder till mikrobiell nedbrytning och produktion av metan, vilken sänker kvaliteten och kan resultera i temperaturhöjning och självantändning.

Det färdigpreparerade bränslet transporteras från stacken till pannan oftast via transportband. Utrustningen och hanteringen med metallavskiljning och skyddsåtgärder är desamma som för trädbränslen och bark. Detsamma gäller det sista hanteringssteget in till pannan/eldstaden. Här ställs stora krav på skruvar och/eller cellmatare som är dominerande i fluidbäddar. Inmatningen i rosterpannor baseras på (djupa) inmatningsschakt enbart eller schakt kombinerade med hydrauliskt drivna pushers.

Salixbränslet har en benägenhet att brygga över öppningar. Bränsle som består till större del av partiklar längre än 100 mm brygger över betydligt större öppningar än bränsle med bara ett fåtal procent stora partiklar. Ökad fukthalt har även visat sig öka tendensen att bilda överbryggningar [15].

Exempel på åtgärder
Lagring av flis med samtidig ventilation med uteluft har setts ge lägre fukthalt och mindre materialförluster jämfört med utomhuslagring [4].

Risk för tillbakabrand kan reduceras med giljotinspjäll eller liknande samt branddetekterings- och släckningsutrustning.

Salixflis bör inte (långtids)lagras i fuktig form. Just-In-Time leveranser från åkern, där det lagrats och eventuellt torkats som helskott, med efterföljande flisning därute eller på anläggningarna, synes vara en framkomlig väg.

För att undvika bryggningstendenser är det viktigt att se till att flisningen resulterar i för hanteringsutrustningen anpassad partikelstorlek. Vidare bör knivarna i flisen vara vassa

för att få en väldefinierad partikelstorlek utan inslag av slamsor. Om man tror att man kommer att få in flisad salix med ofullständigt definierad partikelstorlek kan det finnas anledning att dimensionera upp känsliga avsnitt i hanteringskedjan.

3.4.6 Referenser

1 http://linnaeus.nrm.se/flora/di/salica/salix/welcome.html

2 http://www.salixenergi.se/

3 http://www.tradgard.org/svensk_tradgard/zonkarta/zonkarta_stor.html

4 Berg M., Bubholz M., Forsberg M., Myringer Å., Palm O., Rönnbäck M., Tullin C. Förstudie – sammanställning och syntes av kunskap och erfarenheter om grödor från åker till energiproduktion. Värmeforskrapport nr 1009, 2007

5 Gustafsson J., Larson S., Nordh N-E., Manual för salixodlare. Lantmännen Agroenergi AB

6 Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. Statens offentliga utredningar SOU 2007:36, Stockholm, 2007

7 Börjesson P. Produktionsförutsättningar för biobränslen inom svenskt jordbruk. Lunds tekniska högskola, Rapport nr 61, Lund, 2007

8 Värdering av möjligheten att rena svensk åkermark från kadmium med hjälp av Salix. ER 11:2003 www.energimyndigheten.se

9 Jirjis R. och Lehtikangas P., ”*Lagring av energiskog (Salix viminalis) med olika sönderdelningsgrad och stackhöjd”*, Sveriges lantbruksuniversitet, SLF Rapport nr 21, ISSN 1104-608210, Uppsala, 1996.

10 Adler A., Verwijst T., Aronsson P. Estimation and relevance of bark proportion in a willow stand. Biomass and Bioenergy 29, 2005

11 Hjalmarson, A-K., Ingman, R. Erfarenheter från förbränning av salix. Värmeforskrapport nr 631, 1998

12 Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall. Naturvårdsverkets författningssamling NFS 2004:10, 2004

13 Larfeldt, J., Rudling, L. Jämförelse mellan salix och skogsbränslen ur förbränningsteknisk synpunkt – studier av bäddförbränning, TPS rapport TPS 97/39, 1997

14 Nyström, O, Johansson, K., Steivall, P. Småskalig biobränslebaserad kraftvärme-förutsättningar för standardiserade lösningar med avseende på teknik och bränslen i ett systemperspektiv. Värmeforskrapport 715, 2001.

15 Mattsson J.E., Kofman P.D. Influence of particle size and moisture content on tendency to bridge in bio fuels made from willow shoots. Biomass and Bioenergy 24, 2003

16 Gigler J.K., van Loon W.K.P., van den Berg J.V., Sonneveld C., Meerdink G. Natural wind drying of willow stems. Biomass and Bioenergy 19, 2000

17 Gigler J.K., van Loon W.K.P., Vissers M.M., Bot G.P.A. Forced convective drying of willow chips. Biomass and Bioenergy 19, 2000

18 Åse Myringer, Martin Petersen, Johanna Olsson, Marie Rönnbäck, Monika Bubholz, Maya Forsberg. Identifiering av energiverkens merkostnader vid förbränning av åkerbränslen samt lantbrukarens möjlighet att påverka bränslekvaliteten, Värmeforskrapport 1114, 2009

19 Zethreaus, B., Oskarsson, J. TPS rapport 96/35, 1996

20 Fredriksson, C., Zintl, F., Padban, N. Breddning av bränslebasen för pellets och pulverbrännare, TPS rapport 03/19, 2003

21 Öhman M., Boman C., Erhardsson T., Gilbe C., Pommer L., Boström D., Nordin A., Samuelsson R., Burvall J. Minskade askrelaterade driftsproblem (beläggning, slaggning, högtemperaturkorrosion, bäddagglomerering) genom inblandning av torv i biobränslen. Värmeforskrapport nr 999, 2006

22 Lindqvist L. och Lindgren B., *”Eldning med salixflis i Kolbäckpannan*”, SLF 287/95, 1995.

23 Victorén, A. Förbränning av salix i CFB. Värmeforskrapport nr 416, 1991

24 Skrifvars B-J., Sfiris G., Backman R., Widegren-Dafgård K., Hupa M. Ash Behavior in a CFB Boiler during Combustion of Salix. Energy Fuels 11, 1997

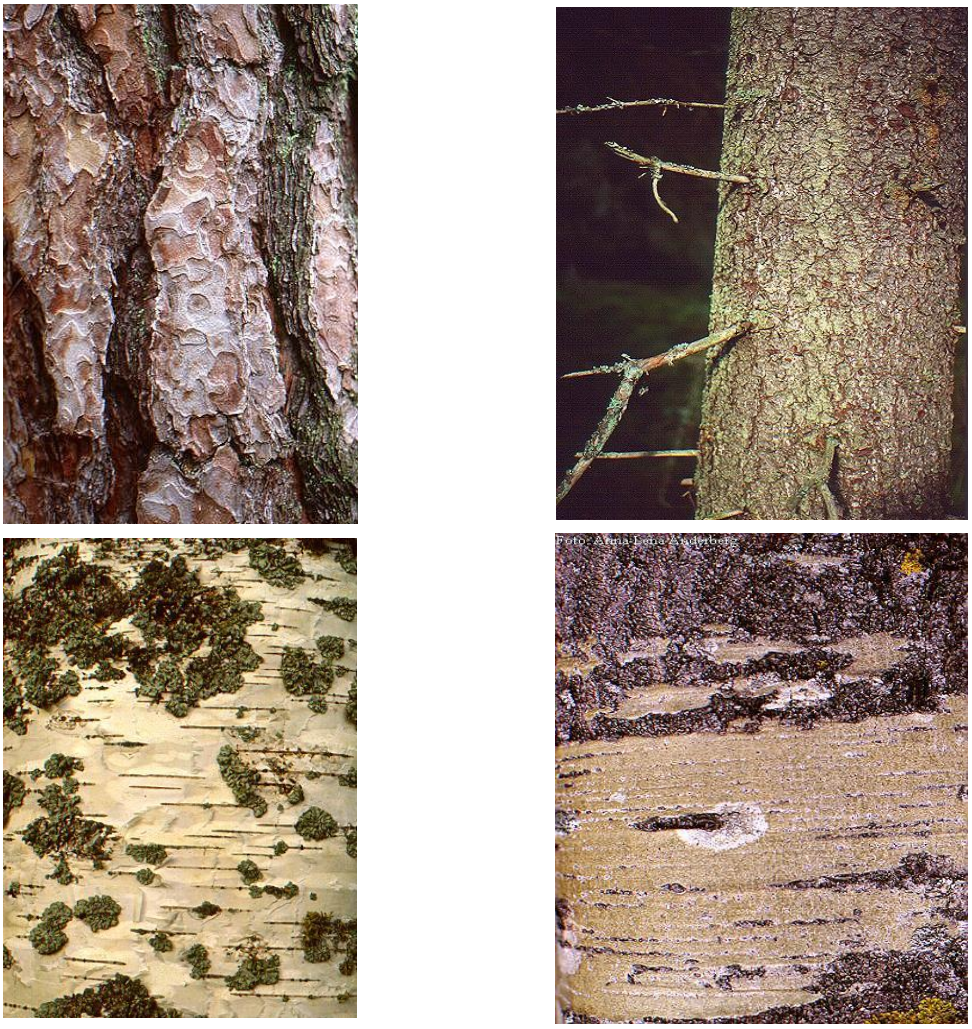
25 Westermark, M. Reningsteknik vid rökgaskondensering. Värmeforskrapport nr 576, 1996.

26 Résmark M., E.ON Värme, personlig kommunikation 2009-12-01

27 Forsberg M., JTI, föredrag på Värmeforskdagarna 2010-01-27

3.5 Bark

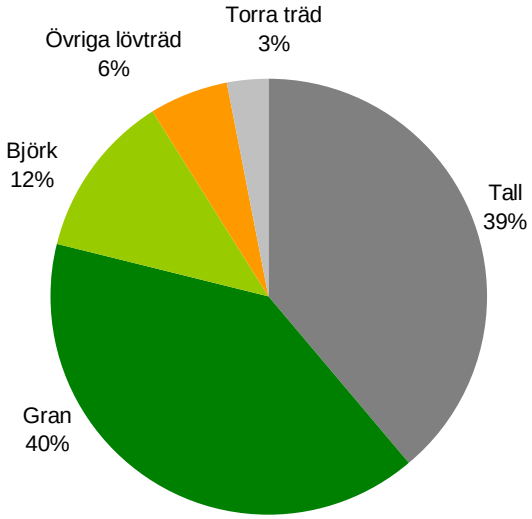
Bark faller ut som en biprodukt inom både sågverks- och massaindustrin. I Sverige produceras spån och bark motsvarande drygt 11TWh [1-2].



Figur 3.5.1 Översta raden, till vänster: tallbark, till höger: granbark. Nedersta raden; till vänster: björkbark, till höger aspbark.
On top to the left: pine bark, to the right; spruce bark. On the bottom to the left: birch bark, to the right aspen bark.

Den mesta mängden som faller ut inom massaindustrin används inom densamma i brukens egna barkpannor. Avsalubruk kan dock generera ett visst överskott av bark som kan gå till försäljning.

Vid sågverk används drygt hälften av barken internt för uppvärmning (drygt 2 miljoner m^3f) och ca 2 miljoner m^3f går till försäljning till värmeverken. [3]



Figur 3.5.2 Trädslagens andel av det svenska virkesförrådet.[2]
Proportion of different species of wood in the Swedish forests.[2]

Det förekommer även att bark torkas och pelletteras. I Mönsterås ligger Sveriges enda fabrik för barkpelletstillverkning. Barken mals med en hammarkvarn så att 90 % av partiklarna får en storlek på mindre än 1 mm. Pelleten torkas med hjälp av en ångtork. Kapaciteten hos fabriken är 50 000 årston. [4] Vid Rockhammars bruk torkas barken i en bäddtork innan förbränning. Planer finns även vid fler bruk att installera barktorkar.

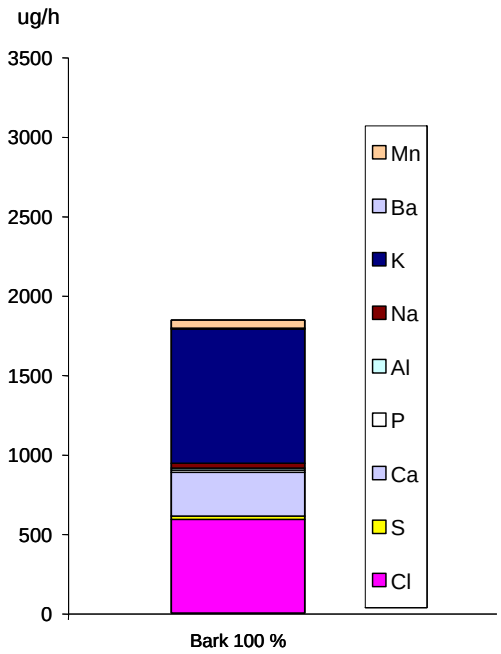
Priset på bark är ungefär samma som för GROT. Detta gäller dock om barken har en torrhalt över 40 %. Blötare bark har ett betydligt lägre värde, och då rör det sig snarare om destruktion än om förbränning.

Barrbark är den absolut vanligaste barken som används som bränsle. Björkbark har ett högt värmevärde och brinner bra, den är oftast torrare än barrbark. Aspbark har också en högre torrhalt än gran- och tallbark, men kan vara besvärlig hanteringsmässigt eftersom det lätt blir väldigt långa ”slamsor” vid barkningen.

Tabell 3.5.1 Värmevärde och densitet för olika barktyper [5].
Heating value and density for different types of bark [5].

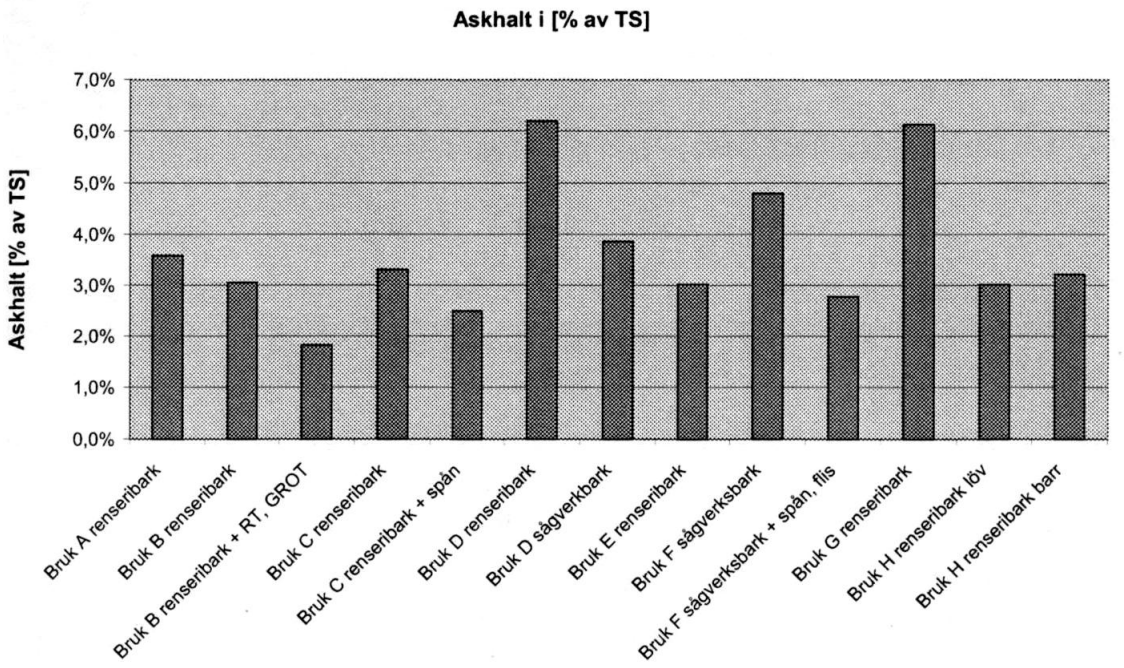
	Värmevärde (MJ/kg ts)	**Densitet(kg ts/m^{3}f)**
Tall	18,4-20,7	300
Gran	17,8-19,8	340
Björk, innerbark	17,1-18,4	550
Björk, ytterbark (näver)	28,4-29,3	550
Aspbark	Ca 19-21	-

Askhalten i bark är betydligt högre än i flis och kan variera ganska kraftigt från ca 1-6%. Andelen kalium och natrium är inte högre än för flis men mängden av de besvärliga ämnena kalium och natrium blir högre eftersom askhalten är högre. [6] Askan innehåller även mycket kalcium som lätt reagerar med svavel i en fluidbäddpanna. Det medför att alkali och den klor som finns i bränslet riskerar att bilda korrosiva alkalikloridbeläggningar på tuber i konvektionsdelen [7, 8] se t.ex. figur 3.5.3.



Figur 3.5.3 Sammansättning på beläggning vid förbränning av 100 % bark på Chalmers 12 MW CFB-panna[7].
Deposit composition when firing 100 % bark at Chalmers 12MW CFB[7]

Hur veden behandlas innan den kommer till massabruket/sågverket har stor betydelse för barkens askhalt. Det som går att påverka är t.ex. sköljning och tvättning innan barkning samt hur barken mellanlagras. Mellanlagring kan ge upphov till ökad askhalt om barken utsätts för grus och sand om den exempelvis lagras på en grusplan eller att det kommer med grus från lastmaskiner. I [6] har 13 barkprover från olika bruk analyserats. Variationen i askhalt visas i Figur 3.5.4 .



Figur 3.5.4 Variation i askhalt för 13 barkprover från olika bruk [6].
Variation in ash content for 13 bark samples from different pulp and paper plants.

Bark har relativt hög kvävehalt, typiskt runt 0,5 %, vilket kan leda till förhöjda NO_x-emissioner. Förutom askhalten som är högre för bark så är innehållet i bark mycket likt vanlig flis.

Barkens styckestorlek varierar mycket. Styckestorleken påverkar hur bränslet fungerar i pannan genom att påverka bland annat bränslematning, fuktavgång, pyrolys, förbränning av kolrest och stofthalt.

I [6] undersöktes variationen i partikelstorlek för ett antal barkprover, genom att ett prov av 500-1000 grams vikt siktades genom ett fraktioneringssåll med kvadratiska öppningar om 91.5, 50.0, 31.5, 16, 8, 4 och 2 mm. Varje fraktion vägdes och den procentuella storleksfördelningen räknades fram, se Tabell 3.5.2.

Tabell 3.5.2 Procentuell fördelning i styckestorlek för ett antal sållade barkprover[6]. Distribution in particle size for different bark samples [6].

Storlek (mm)	> 91,5	91,5 - 50	50 - 31,5	31,5 - 16	16 - 8	8 - 4	< 2
Bruk E	3,2	8,7	15,3	7,3	14,8	17	19,1
Bruk D renseribark	1,5	4,9	2,3	4,4	20,8	21,2	30,4
Bruk D sågbark	18,2	14,4	1,9	11,3	16,5	7,4	7,6
Bruk F Bark	11,3	15,3	24,8	11,8	9,3	5,5	7
Bruk F bark + spån, flis	3,1	6,4	2,4	17,4	16,3	9,5	10,8
Bruk C bark	4,2	10,3	19,7	13,9	16,1	11,4	8,9
Bruk C bark + sågspån	2,2	6	5,2	5,5	23,2	24,9	16,1
Bruk A bark	0,5	4	14,6	9,7	17,9	14,9	16,5
Bruk B bark	17,4	9,7	14,2	13,5	11,6	8,9	11,8
Bruk B bark + RT, GROT	10,4	4,5	3,6	7,3	14,9	12,3	29,8
Bruk H björkbark	8,6	11	6,2	16,5	14,6	7,7	13,9
Bruk H tall + björkbark	0,5	3,8	18,3	14,8	15,9	13,3	15,4

I tabellen ses att fördelningen varierar mycket mellan olika prover. Man kan också konstatera att i flera av barkproverna är mer än 50 % av provet under 16 mm i storlek. I andra prover är mer än 30 % av provet över 50 mm i storlek.

3.5.1 Lagar och förordningar

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Bark är berättigat till elcertifikat.

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Bark är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

3.5.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.5.3 Analys barrbark/ Analysis of conifer bark

Prov	Exempel [9]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	9 (torkat)		57,2	49,7	64,7	11
Aska (torrt)	3,3		3,0	1,7	4,2	20
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	22,4		21,5	19,9	22,4	18
Hkal (leverans)			8,6	6,9	10,8	11
Heff (torrt askfritt)	21,0		20,3	18,8	21,3	18
Heff (leverans)			6,9	4,9	8,9	11
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	55,0		53,8	49,3	55,4	18
H (väte)	6,2		6,1	5,8	6,7	18
O (syre)	38,3		39,8	38,3	44,1	18
S (svavel)	0,03		0,03	0,02	0,10	14
N (kväve)	0,40		0,31	0,21	0,52	18
Cl (klor)	0,02		0,02	0,01	0,02	12
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	500	15 152	20 108	4 551	29 000	10
As (arsenik)	0,7	21	21	2,2	68	5
Ba (barium)	100	3 030	1 592	584	2 600	2
Ca (kalcium)	8 500	257 576	263 000	142 000	349 378	9
Cd (kadmium)	0,4	12	10	9,0	19	3
Co (kobolt)	0,5	15	12	10	41	6
Cr (krom)	1,6	48	64	48	122	5
Cu (koppar)	5,3	161	167	116	194	5
Fe (järn)	200	6 061	11 420	1 749	27 278	10
Hg (kvicksilver)	0,02	1	0,67	0,61	0,74	2
K (kalium)	1 900	57 576	46 727	39 000	64 162	10
Mg (magnesium)	700	21 212	19 341	14 607	39 568	9
Mn (mangan)	400	12 121	11 617	8 333	20 811	7
Mo (molybden)	0,4	12	12	10	62	4
Na (natrium)	200	6 061	5 935	4 568	11 111	5
Ni (nickel)	1,4	42	42	27	105	5
P (fosfor)	400	12 121	12 121	6 000	20 990	9
Pb (bly)	1,6	48	57	21	194	5
Sb (antimon)			83	83	83	1
Si (kisel)	2400	72 727	72 727	5 985	146 000	9
Ti (titan)	<100	<3030	800	240	5 946	6
Tl (tallium)						
V (vanadin)	0,5	15	17	15	19	4
Zn (zink)	120	3 636	3 636	2 381	4 722	5

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.5.4 Nyckeltal barrbark. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers conifer bark. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**2.37**	**2,35**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.09	0,09
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0.50**	**0,56**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	-	0,18
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	4,61	3,47
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	**0.38**	**0,37**

Tabell 3.5.5 Svavel- och fosforkvoter för barrbark. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for conifer bark. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	22.7	21,4
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	7.4	7,3
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1.6	1,5
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.03	0,03

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.5.4 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Data i tabell 3.5.4 visar på viss risk för sintring/bäddagglomerering i fluidiserad bädd. Svavel- och fosforkvoterna i tabell 3.5.5 visar att eldas bränslet i en fluidiserad bädd sker sannolikt en egenabsorption av svavlet i bränslet. Det i sin tur innebär att det klor som finns i bränslet sannolikt avgår som alkaliklorid som kan bilda korrosiva beläggningar på värmeöverförande ytor. Mängden alkali och klor i bränslet påverkar mängden alkaliklorid som bildas. Fosforkvoten visar att det inte finns fosfor i tillräcklig mängd för att ha någon betydelse för att kunna påverka klorinnehållet i beläggningar.

Tabell 3.5.6 Analys björkbark/ Analysis of birch bark

Prov	Exempel [10]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	21,1		50,0	21,1	50,0	4
Aska (torrt)	3,2		3,3	1,6	4,0	4
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	22,7		23,8	22,2	24,6	4
Hkal (leverans)	17,4		11,4	11,4	17,4	4
Heff (torrt askfritt)	21,3		22,2	20,9	23,1	4
Heff (leverans)	15,8		9,5	9,4	15,8	4
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	55,5		55,8	55,5	57,5	4
H (väte)	6,4		6,9	6,2	7,2	4
O (syre)	37,4		36,9	27,4	37,4	4
S (svavel)	0,04		0,04	0,03	0,05	3
N (kväve)	0,64		0,80	0,04	8,13	4
Cl (klor)	0,02		0,02	0,02	0,02	2
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	339	10 600				
As (arsenik)	0,64	20				
Ba (barium)	83	2 600				
Ca (kalcium)	7 296	228 000				
Cd (kadmium)	0,32	10				
Co (kobolt)	0,35	11				
Cr (krom)	0,48	15				
Cu (koppar)	3,8	119				
Fe (järn)	166	5 200				
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	1 718	53 700				
Mg (magnesium)	666	20 800				
Mn (mangan)	298	9 300				
Mo (molybden)						
Na (natrium)	218	6 800				
Ni (nickel)	0,45	14				
P (fosfor)	374	11 700				
Pb (bly)	1,2	38				
Sb (antimon)						
Si (kisel)	2 278	71 200				
Ti (titan)	19	600				
Tl (tallium)						
V (vanadin)	0,38	12				
Zn (zink)	115	3 600				

Tabell 3.5.7 *Nyckeltal björkbark. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.*
Key numbers birch bark. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**2.27**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.11	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0.57**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0.18	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**6.5**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	**0.44**	

Tabell 3.5.8 *Svavel- och fosforkvoter för björkbark. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).*
Sulphur and phosphorus numbers for birch bark. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	14.6	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	5.9	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	2.0	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.033	

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.5.7 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Svavel- och fosforkvoterna i tabell 3.5.8 visar att eldas bränslet i en fluidiserad bädd sker sannolikt en egenabsorption av svavlet i bränslet. Det i sin tur innebär att det klor som finns i bränslet sannolikt avgår som alkaliklorid som kan bilda korrosiva beläggningar på värmeöverförande ytor. Mängden alkali och klor i bränslet påverkar mängden alkaliklorid som bildas. Fosforkvoten visar att det inte finns fosfor i tillräcklig mängd för att ha någon betydelse för att kunna påverka klorinnehållet i beläggningar.

Tabell 3.5.9 Analys aspbark/ Analysis of aspen bark

Prov	Exempel [11]	Median	Spann		Antal
			Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)					
Fukt	12(torkat)				
Aska (torrt)	3,1				
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)					
Värmevärde (MJ/kg)					
Hkal (torrt askfritt)	21,7				
Hkal (leverans)					
Heff (torrt askfritt)	20,3				
Heff (leverans)					
Elementaranalys (% torrt askfritt)					
C (kol)	53,3				
H (väte)	6,3				
O (syre)	39,8				
S (svavel)	0,04				
N (kväve)	0,62				
Cl (klor)	0,01				
Askanalys					
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***		
Al (aluminium)	53	1 700			
As (arsenik)	0,62	20			
Ba (barium)	47	1 500			
Ca (kalcium)	8 928	288 000			
Cd (kadmium)	0,65	21			
Co (kobolt)	0,43	14			
Cr (krom)	0,50	16			
Cu (koppar)	2,0	64			
Fe (järn)	56	1 800			
Hg (kvicksilver)					
K (kalium)	2 675	86 300			
Mg (magnesium)	1 035	33 400			
Mn (mangan)	763	24 600			
Mo (molybden)	0,31	10			
Na (natrium)	388	12 500			
Ni (nickel)	1,3	41			
P (fosfor)	415	13 400			
Pb (bly)	4,3	140			
Sb (antimon)					
Si (kisel)	3 069	99 000			
Ti (titan)	40	1 300			

Tabell 3.5.10 Nyckeltal aspbark. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers aspen bark. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**2.36**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.14	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0.33**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0.20	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**6.6**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	**0.52**	

Tabell 3.5.11 Svavel- och fosforkvoter för aspbark. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for aspen bark. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	17.9	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	14.6	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	4.0	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.004	

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.5.10 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Svavel- och fosforkvoterna i tabell 3.5.11 visar att eldas bränslet i en fluidiserad bädd sker sannolikt en egenabsorption av svavlet i bränslet. Det i sin tur innebär att det klor som finns i bränslet sannolikt avgår som alkaliklorid som kan bilda korrosiva beläggningar på värmeöverförande ytor. Mängden alkali och klor i bränslet påverkar mängden alkaliklorid som bildas. Fosforkvoten visar att det inte finns fosfor i tillräcklig mängd för att ha någon betydelse för att kunna påverka klorinnehållet i beläggningar.

3.5.3 Driftserfarenheter

Bark eldas till största delen inom skogsindustrins barkpannor. Traditionellt användes från början rosterpannor som byggdes för att destruera fuktig bark, med små förutsättningar till stegförbränning (dvs. tillförsel av luft på flera nivåer). Därav genererades relativt höga CO-emissioner och även höga NO_x-emissioner. På senare tid har det dock gjorts mycket för att minska både CO och NO_x, med bl.a. stegad förbränning, installation av rökgasrecirkulation och/eller någon typ av NO_x-rening (icke katalytisk, SNCR, eller katalytisk, SCR). Flertalet barkpannor har även byggts om/bytts ut till fluidbäddpannor som då är väl avpassade till att elda bränslen med varierande fukthalter. Oftast eldas inte bara bark i barkpannorna utan även olika typer av restprodukter som slam, silerirejekt mm. Fluidbäddpannorna ger oftast lägre emissioner av CO och NOx än rosterpannorna ger.

De kvalitetsparametrar som har störst inverkan vid förbränning av bark är variationer i torrhalt och styckestorlek. Barken är ofta väldigt fuktig under vinterhalvåret och kan ha torrhalter neråt 35 %. Då krävs ofta inblandning av något torrare bränsle såsom spån eller flis. Ett annat problem på vintern är att vattnet i barken fryser. Är då barken samtidigt väldigt fuktig kan det bli nödvändigt med stödeldning och de stora barkklumparna kan ge problem med igensättningar i bränsleinmatningen.

Drifterfarenheter från bruken angående styckestorleken visar att det är den grövsta samt den finaste fraktionen som ställer till problem.

Grovfraktion

Långa barkbitar kan fastna i bränslehanteringen och inmatningen om barken är dåligt riven med ojämn förbränning som följd. En rostpanna klarar vanligtvis grövre fraktioner bättre än en fluidbäddpanna.

Grövre fraktioner kan även ge upphov till problem vid förbränning i BFB. Det fuktiga och inhomogena bränslet med en huvudsakligen endimensionell partikelform kan vara svårt att fördela över bädden (både geometriskt och över tiden) genom ett begränsat antal inmatningspunkter. Det senare kan leda till varierande bränsleflöde och därmed en varierande frigjord effekt. På grund av relativt dålig omblandning finns också risk att det uppstår zoner med olika stökiometri och temperatur. Effekten av sådana zoner kan leva kvar ovanför bädden genom att relativt stabila vertikala stråk med brinnande gas bildas. Dessa kan pga. gasens höga viskositet endast brytas upp med bra arrangerad inblandning av sekundär- och ev. tertiärluft för ökad turbulens. I CFB är förhållandena delvis annorlunda och mer gynnsamma, bl.a. då ytterligare en metod för kontroll av bäddtemperaturen står till buds, nämligen återföring av tempererat bäddmaterial. Mängden bäddmaterial i förhållande till bränsleinnehållet är mycket stort, vilket ger en termisk tröghet som underlättar styrning och kontroll. Tack vare bäddens utbredning i höjdled med ett mindre tvärsnitt jämfört med BFB, blir risken för en dålig fördelning av bränslet tvärs bädden mindre. Kravet på att bränslet ska hålla en jämn kvalitet med avseende på fukthalt, partikelstorlek, partikelfördelning osv. kvarstår naturligtvis.

Finfraktion
Analyser har visat att bränsleblandningar med låg porositet ofta innehåller mycket finfraktion. I rostpannor förekommer problem med att bränslebädden blir för tät dvs. låg porositet, vilket leder till ett högt tryckfall och ojämn luftfördelning. Primärluftflödet blir högst där tryckfallet är lägst, dvs. där bädden är som tunnast, vilket minskar luftflödet till de partier som har ett tjockt bränslelager. Detta leder till en ojämn förbränning och ger stråkbildning i pannan samt ökar andelen oförbränt i askan. Det kan också leda till ökad NO_x-bildning p.g.a. lokalt hög temperatur. På en rosterpanna kan den fina fraktionen även ge problem med rostergenomfall.

Finfraktionen kan också ge problem med medryckning, i såväl en fluidpanna som i en rosterpanna, vilket innebär att bränslepartiklar dras med av gasflödet i pannan innan de har hunnit oxideras. Detta kan ge problem med beläggningar på värmeöverförande ytor och ökad andel oförbränt i flygaskan. En följd av beläggningarna kan vara korrosion.

Mindre barkeldade pannor (ca 3-12 MW) har haft problem med lågtemperaturkorrosion. Drabbade anläggningar har låga vattentemperaturer (<100°C). Korrosionen uppstår då en vattenfas stabiliserad av inlösta salter med hög löslighet finns som del av påslagen. För varje salt finns en kritisk relativ fukthalt (beräknad från rökgasens fukthalt och kylytans temperatur) under vilken vattenfasen och därmed korrosionen försvinner.[12]

3.5.4 Rekommendationer

Det är viktigt att hålla koll på barkens fukthalt. Det är fördelaktigt att pressa eller torka barken för att uppnå en högre torrhalt innan förbränning. Om barken är väldigt fuktig kan samförbränning av torrare material vara en fördel.

Styrningen av pannan är viktig för att minska CO- och NO_x-emissioner. Någon typ av NO_x-rening kan behöva användas.

Vid sållning av barken bör sållet ha tillräcklig kapacitet för att kunna sålla bort finfraktionen före rivaren.

Det är viktigt att underhålla kvarnen/rivaren för att krossningen av den övergrova fraktionen ska fungera tillfredsställande. Genom att använda transportband istället för skruvar och blåsledningar kan man undvika att barken faller sönder i finfraktion.

Om man har problem med att utfyllnaden på rostbädden blir ojämn vid inmatning, kan det vara bra att blanda in en del sågspån så att det ”smörjer” barken.

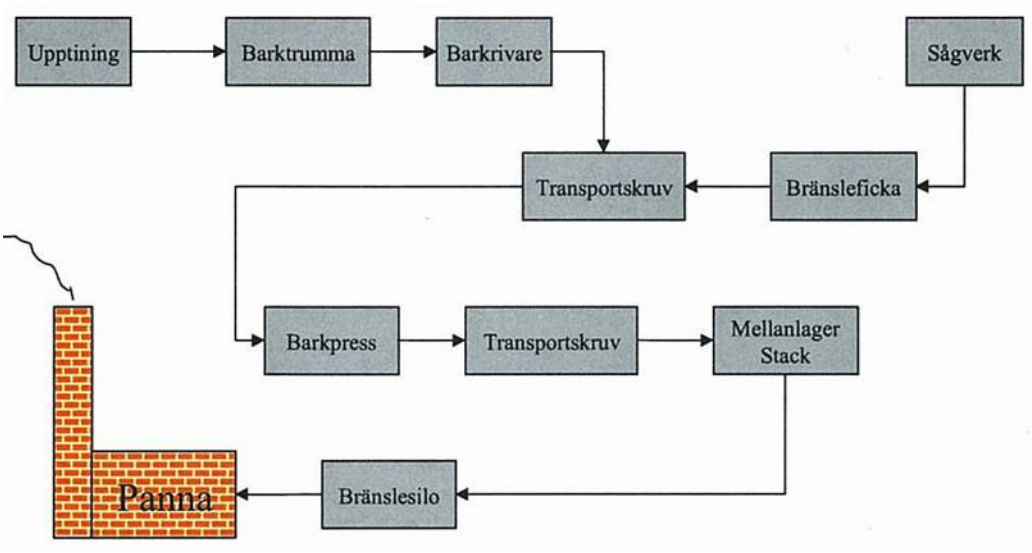
3.5.5 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger på intervjuer [13, 14], men är även kompletterad

med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

I nedanstående bild (figur 3.5.5) som visar hur bark hanteras på ett specifikt bruk framgår att det är många moment. Hanteringen på detta bruk representerar någon slags ”medel”-behandling, det finns sådana som är enklare och andra som är mer omfattande.



Figur 3.5.5 Exempel på hanteringskedja för bark vid pappers/massbruk, Källa: Värmeforsk 762, 2002.
Example of supply handling chain for bark at paper /pulp mills, source: Värmeforsk 762, 2002.

Det är uppenbart att seriekopplade hanteringssteg, vart och ett förknippat med tekniska risker i första hand (utrustningen är automatiserad med litet behov av personal), sammantaget kan leda till hög otillgänglighet och därmed sänkt driftsäkerhet och ekonomiska risker. Det är av vikt att systemet förses med redundans eller med möjlighet att förse pannan med bränsle från ett mellanlager (som indikerat) i schemat.
Vad gäller användning av bark i värmeverk så levereras den i regel ”färdig” för lagring på anläggningsplatsen.

Exempel på risker
I de flesta anläggningar används transportband men i vissa anläggningar används skruvar, som i figur 3.5.5. Skruvar kan endast rekommenderas vid kortare transportavstånd då de moment som ska överföras kan bli stora samt att skruvar är mer utsatta för slitage.

Beroende på barkningsutrustningens (trummans) kapacitet och dimensioner kan risken för att veden fastnar på tvären i trumman minskas om veden kapas till lämpig längd.

Upptining av frusen ved utgör en standardåtgärd vid massa- och pappersbruken. Däremot görs i regel ingen upptining vid värmeverk, vilket kan leda till transport- och inmatningssvårigheter om levererad bark är frusen. Vissa barktyper, t.ex. från sälg och eukalyptus kommer som långa tråder/slamsor som kan fastna i transportsystemen.

Lagerhållning av bark sker vanligen i öppna stackar/högar. Det föreligger viss risk för självantändning p.g.a. av biologisk aktivitet. Branden har karaktär av en pyrande soptipsbrand. Bränslet försämras, luktproblem uppstår och det finns risk för spridning. Risken ökar då olika leveranser av färsk och gammal bark hamnat i samma hög.

Nedbrytande bakterier och svamp som finns naturligt i skogen kan återfinnas även i industrins stackar (så länge temperaturen inte stiger över en kritisk nivå). Det är tveksamt om detta har lett till hälsoproblem. Andningsskydd används normalt inte.

För avskiljning av metaller installeras ibland metallavskiljare, speciellt på bruk eller värmeverk där man är beroende av inköp av bark, vilket kan inkludera import (det har hänt att sådan bark innehåller skrot av typ kulor, patroner och t.o.m. granater!)

Det sista hanteringssteget in till pannan/eldstaden (ej avbildat i figuren) då det ingår i pannleveransen, är inmatningsutrustningen. Här ställs stora krav på skruvar och/eller cellmatare som är dominerande i fluidbäddar. Inmatningen i rosterpannor baseras på (djupa) inmatningsschakt enbart eller schakt kombinerade med hydrauliska drivna pushers. Oavsett vilket kombineras dessa med giljotinspjäll eller liknande samt branddetekterings- och släckningsutrustning för att hindra tillbakabrand.

Exempel på åtgärder

Bark bör ej lagras längre än 3 månader – det är nödvändigt att hålla omsättningen på en rimlig och jämn nivå. Kritisk temperatur i en stack är 80-90 C. Nås denna nivå måste åtgärder vidtas. Speciellt kan bark som legat över sommaren uppnå en ökad temperatur i augusti-september. Om det dessutom har regnat bildas ett fuktigt ”lock” på toppen av stacken som låser inne värmen, vilket leder till en ännu högre brandrisk. Lagersituationen kan sammanfattas enligt:

- Minimera fukthaltsspridningen i stacken
- Stacken bör inte packas
- Metallföremål ska ha avskilts innan barken stackas
- Stacken bör vara avlång med tvärsnittsareans bas lika med dubbla höjden
- Stacken bör ej vara högre än ca 7 m
- Tänk på rasvinkeln och fruset material
- Risken för självantändning ökar vid låg omsättning
- De första tecknen på upphettning kan vara ångbildning och rökdoft. Lagret bör i första hand kontrollmätas med temperatursond/-spett eller värmekamera.

Om höga temperaturer indikeras, bör stacken/högen omlastas vilket leder till en mekanisk luftning. Detta innebär emellertid också en risk eftersom det då tillförs syre, dvs. luftningen måste göras med försiktighet.

Frysrisk och problem med snö och is kan förhindras med varmvattentvätt, alternativt genom lagring under tak eller helt enkelt avvakta tills att bränslet tinar.

Risk för brand i transportsystemen; skruvar, band, skrapor osv., kan reduceras med branddetektorer och sprinklers.

3.5.6 Referenser

1 Johansson I, Larsson S, Wennberg O, ”Torkning av biobränslen med spillvärme”, Värmeforskrapport 881, november 2004

2 http://www.skogsindustrierna.org/web/Statistik_om_skogsindustri.aspx; ”Skogsindustrin en faktasamling 2009.

3 Martinsson L; ”Råvaror för framtida tillverkning av bränslepellets i Sverige”, Värmeforsk Service Rapport nr 813, juli 2003

4 ”Södra Mönsterås i stark utveckling” http://www.novator.se/bioenergy/BE9803/s9.pdf

5 www.novator.se ”Vedpärmen, A.4. Bränsle”

6 Säterberg L; ”Barkfraktionens betydelse för emissioner och driftproblem, etapp 1”, Värmeforsk Service Rapport nr 762, februari 2002

7 Berglin N., Tomani P., Salman H., Herstad Svärd S., Åmand L-E., ”Pilot Scale Combustion Studies with Kraft Lignin as a Solid Biofuel”, 2008 Tappi Engineering, Pulping and Environmental Conference, Oregon August 2008.

8 Värmeforskprojekt A08-817, Ramprogram-Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem - Etapp 3

9 Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kjörk A, Larsson S, Wennberg O, Eskilsson D, Åmand L-E, ”Branschprogram; Slam från skogsindustrin, fas II”, Värmeforskrapport 840, november 2003, Prov bark1

10 S.E.P.s databas prov ”Bio54”

11 S.E.P.s databas prov ”Bio53”

12 Lindau L, Goldschmidt B; ”Lågtemperaturkorrosion i barkeldade, mindre pannor”, Värmeforsk Service Rapport nr 781, juni 2002

13 Gösta Norell, Pöyry, Personlig kommunikation

14 Tobias Norin, E.ON Värme, Personlig kommunikation

Läs mer om bark

- Njurell R, Wikman K; ”*Probleminventering bränsle- och askhantering”,* Värmeforskrapport nr 831, oktober 2003
- Säterberg L; *”Barkfraktionens betydelse för emissioner och driftproblem, etapp 1”,* Värmeforsrapport nr 762, februari 2002
- Schuster R; ”*Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning - etapp 3”,* Värmeforskrapport nr 789, oktober 2002
- Schuster R, Lundborg R; ”*Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning - etapp 2”*, Värmeforskrapport nr 710, oktober 2000
- Schuster R, Edholm A, Franzén L;” *Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning - Etapp 1*”, Värmeforsrapport nr 660, januari 1999
- Martinsson L; ”*Råvaror för framtida tillverkning av bränslepellets i Sverige”*, Värmeforsrapport nr 813, juli 2003

3.6 Lövträd/Ädelträd

Lövträd har alltid varit en av de främsta källorna för att tillfredställa människors uppvärmningsbehov. Traditionellt har eldning av björk och al dominerat i Sverige, medan bok och ek varit viktigast i Danmark och Tyskland. Mer är 80 % av all skog består av tall och gran. Bland lövträden är björk det vanligaste i Sverige med mer än 10 %. Asp, ek och bok är ungefär lika vanliga med ca 1 % och övriga lövträd utgör drygt 2 % i våra skogar. [1]

Boken räknas till de ädla lövträden liksom alm, ask, avenbok, ek, fågelbär, lind och lönn. Skogar med minst 70 % lövträd och minst 50 % ädla lövträd klassas som ädellövskogar. Enligt ädellövskogslagen [2] är man skyldig att återplantera ädellövskog om man avverkar den. Lagen har tillkommit för att förhindra att ädellövskog ersätts med gran. Idag utgör de ädla lövträden endast 2 procent av alla träden i Sverige. Cirka 200 000 hektar är klassad som ädellövskog i Sverige. Mer än hälften av den finns i Halland, Skåne och Blekinge. Därutöver växer cirka 30 procent av ädellövet inblandat i andra skogar som inte klassats som ädellövskog. Intresset för ädellöv ökar och flera tusen hektar ny ädellövskog har tillkommit de tio senaste åren. [3]

Björken, som bekämpades i skogarna på 50-och 60-talet, har fått högre status men fortfarande går närmare 70 procent av all björk till massaindustrin. Ungefär 30 procent av all björk blir ved i privata hushåll och bara drygt en procent sågas. Det vanligaste lövträslaget i bränsle är björk. Det näst vanligaste träslaget i Sverige är asp, och det borde därför också vara viktigt som bränsle.

Egenskaper

I tabell 3.6.1 sammanfattas några egenskaper för olika lövträd. Ur tabellen kan man se att volymvikten vid full torrhet var lägst för al och högst för syrén. 1 m^3f (m^3 fast mått) ved har beräknats motsvara värme-värdet i 174-474 liter olja, det lägsta värdet för al och det högsta värdet för syrén. [4]

Tabell 3.6.1 Värmevärden och densitet för olika lövträd [4].
Heating value and density for different kinds of hardwood.

Trädslag	Fukthalt, %	Volymvikt, kg/m³f		Värmevärde vid aktuell fukthalt		
		vid aktuell fukthalt	vid full torrhet	kWh/ m³f	kWh/ m³t	kWh/ m³s
• Al	45,3	661	439	1 724	1 121	862
•Alm:						
- frisk ved	11,8	637	593	2 943	1 913	1 471
- något rötskadad ved	11,0	619	586	2 892	1 880	1 446
- rötskadad ved	7,7	389	373	1 896	1 232	948
• Asp	9,2	489	465	2 339	1 520	1 169
• Björk	9,8	634	604	3 007	1 955	1 504
• Ek:						
- frisk ved	5,8	788	764	3 928	2 553	1 964
- något rötskadad ved	9,5	676	633	3 222	2 095	1 611
- rötskadad ved	9,7	577	530	2 435	1 583	1 218
• Lönn	8,4	666	634	3 212	2 088	1 606
• Rönn	24,0	721	637	2 803	1 822	1 401
• Syrén	11,3	1 007	978	4 691	3 049	2 346
• Sälg	10,6	559	523	2 628	1 708	1 314
• Äpple	11,8	715	662	3 307	2 150	1 654

Lövträd kallas på engelska för hardwood och indikerar att de mekaniska egenskaperna kan variera mellan olika träslag. De mekaniska egenskaperna är artspecifika och av betydelse vid huggning till ved och flis samt vid pelletstillverkning. Tabell 3.6.4 ger en god översikt över dessa. Rötbeständigheten avtar i ordningen gran, tall, asp, björk, bok, sälg, där asp är det enda lövträd som rekommenderas för utomhusbruk [5].

Tabell 3.6.2 Mekaniska egenskaper hos trä [5].
Mechanical properties for wood.

Lätt							**Tung**
Gran	Asp	Furu	Al	Björk	Ask	Bok	Ek
Mjukt							**Hårt**
Gran	Al	Furu	Asp	Björk	Ask	Ek	Bok
Sprött							**Segt**
Gran	Asp	Furu	Al	Ek	Ask	Bok	Björk

3.6.1 Analys

Tabell 3.6.3 Analys björk/ Analysis of birch

Prov	Exempel Björk[6]		Median	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	11,1		12,4	5	35,6	5
Aska (% torrt)	0,4		0,5	0,2	2,2	16
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	79		86,6	79	94,9	4
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	19,79		19,6	18,2	20,4	8
Hkal (leverans)	17,53					
Heff (torrt askfritt)	18,63					
Heff (leverans)	16,23					
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	48,9		49	47,7	50,9	12
H (väte)	6,4		6,21	5,6	7,6	12
O (syre)	44,6		44,5	40,5	45,8	12
S (svavel)	0		0,1	0	0,5	8
N (kväve)	0,08		0,19	0,08	0,5	10
Cl (klor)						
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	0,4	100				
As (arsenik)	<0,01					
Ba (barium)	-					
Ca (kalcium)	1100	275000				
Cd (kadmium)						
Co (kobolt)						
Cr (krom)						
Cu (koppar)	2,2	550				
Fe (järn)	6	1500				
Hg (kvicksilver)	<0,02					
K (kalium)	1000	250000				
Mg (magnesium)	180	45000				
Mn (mangan)						
Mo (molybden)	-					
Na (natrium)	3	750				
Ni (nickel)	0,4	100				
P (fosfor)	1300	32500				
Pb (bly)	0,8	200				
Sb (antimon)	-					
Si (kisel)	1	250				
Ti (titan)						
Tl (tallium)	-					
V (vanadin)						
Zn (zink)	2,2	550				

Tabell 3.6.4 *Nyckeltal björk. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.*
Key numbers birch. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,76	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,27	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	0	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,01	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	2,4	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	481	

Tabell 3.6.5 *Svavel- och fosforkvoter för björk. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).*
Sulphur and phosphorus numbers for birch. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**		
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	4,36	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre		
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,05	

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

Tabell 3.6.6 Analys asp/ Analysis of aspen

Prov	**Exempel Asppellets [7]**		**Exempel**	**Spann**		**Antal**
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	8,1					
Aska (% torrt)	1,0					
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	20,80					
Hkal (leverans)	18,93					
Heff (torrt askfritt)	19,31					
Heff (leverans)	17,37					
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	49,7					
H (väte)	6,9					
O (syre)	43,3					
S (svavel)	0,01					
N (kväve)	0,1					
Cl (klor)	**0,02**					
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	18	1799				
As (arsenik)	<0,01					
Ba (barium)	-					
Ca (kalcium)	2530	253001				
Cd (kadmium)	0,233	23				
Co (kobolt)	0,101	10				
Cr (krom)	0,262	26				
Cu (koppar)	2,03	203				
Fe (järn)	87	8743				
Hg (kvicksilver)	<0,02					
K (kalium)	1420	141955				
Mg (magnesium)	287	28706				
Mn (mangan)	33	3253				
Mo (molybden)	-					
Na (natrium)	12	1187				
Ni (nickel)	0,070	7				
P (fosfor)	192	19157				
Pb (bly)	0,744	74				
Sb (antimon)	-					
Si (kisel)	84	8368				
Ti (titan)	1	60				
Tl (tallium)	-					
V (vanadin)	0,024	2				
Zn (zink)	36,1	3610				

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.6.7 Nyckeltal asp. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers aspen. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**2,42**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,19	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**2,56**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,01	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**44,67**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	**0,82**	

Tabell 3.6.8 Svavel- och fosforkvoter för asp. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for aspen. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	2,55	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	1,85	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	0,50	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,04	

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.6.2 Driftserfarenheter

Utförliga förbränningstester vid TPS Termiska Processer AB har inte kunnat påvisa några signifikanta förbränningstekniska skillnader mellan olika slags trä. Skillnader i mekaniska egenskaper och stamtjocklekar kan dock ge skillnader i fukthalt, partikelstorleksfördelning och andel bark, vilket påverkar förbränningen. [8]

Småskaliga förbränningsförsök med asppellets gav en mycket ”fluffig” aska. Asppellets uppvisade en mycket låg slaggningstendens vilket kunde förväntas med tanke på bränslets låga innehåll av "kritiska" askbildande element, där främst den relativt låga halten kisel, kalium och aluminium samt relativt höga halten kalcium.[7],

Förbränning av lövträd/ädelträ är mycket likartad övriga trädbränslen, se avsnitt 3.1.3., vilken sällan är förknippad med några påtagliga svårigheter.

En skillnad mellan barr- och lövträd är att lövträd generellt sett har en högre densitet och ett högre energiinnehåll (mätt i kWh/m^3). Däremot är värmevärdet (kWh/kg) något lägre för lövträd än för barrträd. Detta medför att det behövs en större massa lövträd för att utvinna samma energimängd.

3.6.3 Rekommendationer

Torkning

Fukthalten i färskt virke är omkring 50 %. Större pannor är vanligen dimensionerade för att kunna hantera ved med 50 % fukt. Ofta är de även försedda med rökgaskondensorer, vilket gör att de kan tillgodogöra sig energin oberoende av vedens fukthalt.

Ved, briketter och pellets som eldas i mindre pannor bör ha en fukthalt på 12-20%.

Vedlager bör fyllas på tidigt under hösten, så att veden kan torka under senhöst och vinter. All lagring skall ske fritt luftat, under tak så att sol och vind kan torka och föra bort fuktigheten.

Flis skall betraktas som en färskvara och lagring under längre tid bör undvikas. Fuktig flis möglar och bryts ned. Nedbrytningen hejdas vid torkning av flis men mögelsporer finns kvar och de aktiveras när fukten återigen är den rätta. Flisen skall produceras av torr råvara om man har för avsikt att lagra den. Om fukthalten ligger under den så kallade fibermättnadspunkten, cirka 18 procent, avbryts självförbränningen. Bränslet kan därefter, i likhet med pellets och briketter, lagras under tak utan energiförluster och utan hälsorisker. [9]

Risker och åtgärder vid hantering av lövträd/ädelträd

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [10], men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen [11]. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker vid hantering
Riskerna vid hantering av lövträd/ädelträ är mycket likartade de risker som finns med övriga trädbränslen, se avsnitt 3.1.5. Nedan beskrivs endast sådana risker som skiljer lövträd från trädbränslen.

Vad det gäller risker för mögel- och bakterietillväxt vid lagring och hantering av lövträd/ädelträd är även det likartade risker som finns för trädbränslen i allmänhet. Dock går nedbrytningsprocessen olika fort i olika trädslag beroende av hur snabbt trädslaget torkar. Lövträd har generellt sett en tätare bark/näver än vad barrträd har vilket gör att torkning av lövträd tar längre tid än torkning av barrträd och därmed hinner brytas ned mer. Det är dessutom så att olika lövträd har olika tät näver, björk är ett av de trädslag med tätast näver medan ek, asp och al har något mindre tät näver. Anläggningspersonal beskriver att lövträd har en stor benägenhet att mögla vid förvaring utomhus.

En annan sak som påverkar hur snabbt nedbrytningen sker är vilken fraktionsstorlek bränslet har, med mindre partiklar får mikroberna en större angreppsyta och angreppen sker därför betydligt snabbare på flis än på hela stammar. Dessutom gäller att bränslen där löv eller barr ingår innehåller en större mängd lättillgängliga näringsämnen än ren stamved.

Bakterie- och svampangrepp på lagrat trädbränsle kan dels leda till substansförluster och dels till hälsoproblem för personalen. Inandning av mögelsporer kan medföra allergisk alveolit (även kallad trämögelsjuka eller lantbrukarlunga), vilket medför influensaliknande symptom. Dessutom utvecklar den mikrobiella aktiviteten värme som i sin tur kan leda till självantändning av lagringshögen.

Den mikrobiella aktiviteten kan även leda till kondens som vintertid fryser till is i topplagret av flisstackar, vilka är de som har högst aktivitet.

Exempel på åtgärder
För lövträd/ädelträ gäller samma åtgärder som beskrivs i avsnitt för Trädbränslen 3.1.5 Nedan beskrivs endast åtgärder för de hanteringsrisker som utmärker lövträd/ädelträ.

Genom att minska något av de gynnsamma förhållandena för tillväxt av bakterier eller mögel (tillgång till syre, lagom temperatur 20-40 °C, näringstillgång, vatten) t.ex. genom att lagra torrt bränsle minskar risken för tillväxt. Det bör då påpekas att mikroberna bara intar viloläge till dess att förhållandena förändras till det bättre och de kan återuppta aktiviteten.

Vid hantering av möglig flis bör en andningsmask användas som skyddar mot partiklar. För att reducera problemen med frysning på toppen av lagringshögarna bör högarna inte packas så kompakt och att bränslet som lagras är så torrt som möjligt.

3.6.4 Länkar

http://www.traotanke.se/
http://www.traguiden.se/
http://www.skogssverige.se/skog/svenskatrad/
Svenska lövträdföreningen

3.6.5 Referenser

1 Skogsstyrelsens statistik 2008.

2 Skogsvårdslagstiftning mars 2009.

3 Kunskap direkt om löv och barrskog

4 Jan-Erik Liss, Brännved- energiinnehåll i några olika trädslag Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, 2005

5 http://www.lovtrainstitutet.se/traslagsinfo/

6 Phyllis databas ID nr 1773. (www.ecn.nl/phyllis)

7 Christoffer Boman, Samuel Israelsson, Marcus Öhman, Bo Lundmark Förbränningsegenskaper och miljöprestanda vid småskalig eldning med pelleterad lövvedsråvara av asp

8 Zethraeus B., Oskarsson J. Salix, förbränningsegenskaper. TPS rapport TPS 96/35, 1996.

9 "Vedpärmen.”NovatorMedia, http://www.novator.se/bioenergy/wood/index.html (2004)

10 Martin Résmark, E.ON Värme, Personlig kommunikation 2009-12-01

11 Clason Å., Sveriges Lantbruksuniversitet, Energi från skogen, ISSN: 1402-7445, 1999

3.7 Halm

Sverige används ungefär 100 000 ton halm per år som bränsle. Det mesta eldas i mindre gårdsanläggningar, men halm används också som bränsle vid ett tiotal värmeverk. Minst tio gånger mer halm, 1 miljon ton, skulle enligt vissa beräkningar kunna eldas i Sverige för att producera värme och el. Det motsvarar en energimängd på ungefär 4 TWh. Andra, däribland LRF, beräknar potentialen till 7 TWh/år Detta kan jämföras med Danmark, där man i dag använder cirka 1,5 miljoner ton bränslehalm. [1,2].

Figur 3.7.1 Lagring av halmbalar kan ske antingen i lagerbyggnader eller utomhus täckta med vattentät duk eller insvepta i plast [3]
Storage of straw bales can be carried out either in barns or in the field covered with waterproof folio or wrapped in plastic.

De största problemen med halm är höga halter av klor, kalium och aska. Klor och kalium halterna kan reduceras avsevärt om halmen lagras utomhus, samma effekt kan erhållas genom tvättning av halm vid 50-60°C. Det är stora skillnader i kaliumhalt mellan olika sädesslag, havre- och kornhalm innehåller sex gånger så mycket kalium som vetehalm. Samförbränning kan också lösa en del förbränningstekniska problem. [4]

Halm är inte något enhetligt bränsle. Olika typer/sorter av halm uppvisar olika egenskaper vid förbränning. Vetehalm är svårast att elda med avseende på problem kopplade till askornas egenskaper, som utgör den dominerande skillnaden mellan dem. Halmkvaliteten varierar beroende på typ/sort, men också beroende på var det växer och

på vädret. Energiinnehållet i halm är ca 19 MJ/kg. Halm kräver stora volymer bränsle på grund av låg bulkdensitet och ställer krav på bränslehanteringen. [5]

Askegenskaper

Askhalten i halm uppvisar stora variationer beroende på kvalitet och växtplats. Halm innehåller mycket fri reaktiv kiselsyra och innehåller även en påtaglig mängd alkali, vilket innebär en stor risk för bildning av kaliumsilikatglas i askan med smältpunkt på ca 770°C. Klor förekommer i sådan omfattning att nästan 25 % av alkaliandelen kan tänkas förångas som klorid och ge upphov till saltpåslag. Svavelhalten i halmen räcker sedan inte för en fullständig sulfatering av alkaliklorid. [6]

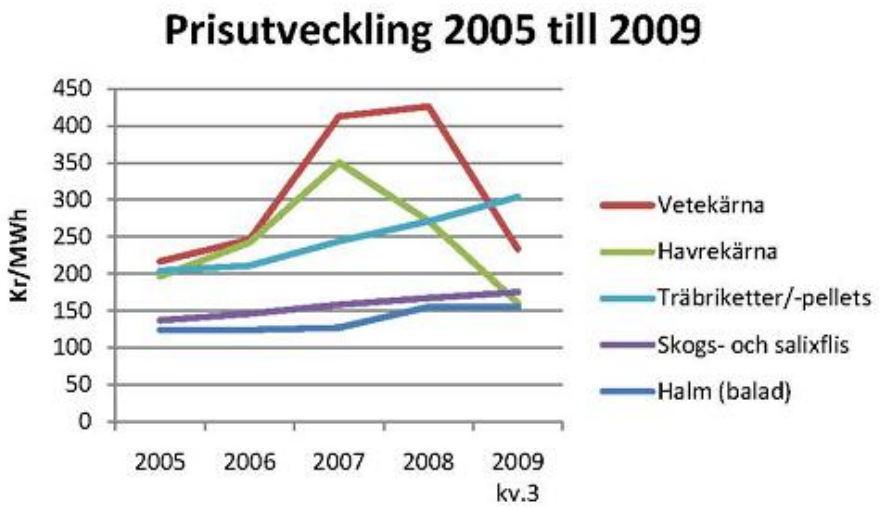
Kadmiumhalterna i matjorden skiljer sig signifikant åt i olika delar av landet vilket återspeglas i halmaskan. Om aska ska återföras i förhållande till levererad mängd halm är det risk att en gård med låg kadmiumhalt i matjorden får ta emot väsentligt mer kadmium än som lämnat gården med levererad halm. Risken för att det sker kan minskas på olika sätt. Enklast är att elda halm områdesvis och återföra askan till samma område som halmen kom från. Det kan dock bli svårt att administrera. Ett annat sätt är att inte köpa halm från områden som man vet har hög halt av kadmium i matjorden. Det kan eventuellt innebära något längre transporter för att få tag på önskad halmmängd. Ytterligare alternativ är att endast återföra bottenaskan, som är känd för att ha lägre halt kadmium än cyklon- och filteraska. De cirka 75 % som utgörs av bottenaska innehåller enbart ungefär hälften av askans kadmiuminnehåll, men cirka 80 % av fosforn. Tyvärr går man då miste om cirka 50 % av all kalium i askan.[7]

Hantering av halmbränsle

Erfarenheter från Danmark pekar på att den mest kostnadseffektiva metoden att använda halm är att använda stora balar (~500 kg) . Pelletering av halm underlättar transport och hantering av bränslet men innebär en ökad kostnad då halmen först måste bärgas och transporteras innan pelletering. En uppskattning av kostnaderna för pelletering av halm visade att priset/ton nästan fördubblades jämfört med halm i storbal.[3,8]

Pris, leveranssäkerhet, kvalitet

För att halm ska vara intressant som bränsle för energiverk krävs att priset är lägre än skogsbränsle sett över en längre tidsperiod. Prisutveckling för halm och andra energigrödor jämfört med skogsflis och förädlade trädbränslen redovisas i figur 3.7.2. Viktigt är också att leveranserna håller jämn kvalitet och att bränslet är tillgångligt under hela driftsäsongen. [9]



Figur 3.7.2 Prisutveckling för halm och spannmålskärna jämfört med trädbränslen 2005-2009. [9] / Price for straw and grain kernel compared to wood fuels 2005-2009.

I Danmark där halmanvändningen för energiproduktion är betydligt mer utbyggd finns Danska Halmleverantörsföreningen som är en viktig aktör när det gäller att förhandla leveransavtal med kraftbolagen.
Avtal, vanligen på 1-3 år, skrivs med mellan leverantör och kraftbolagen och där regleras pris, plats och mängd halm som ska levereras. Priset baseras på en basvattenhalt och justeras uppåt eller nedåt beroende på fukthalten i bränslet vid leverans. [3]

3.7.1 Lagar

Förbränningen av halm regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Halm är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Halm berättigar till elcertifikat.

3.7.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.7.1 Analys halm/ Analysis straw

Prov	Exempel [10]	Median	Spann		Antal
			Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)					
Fukt	12,6	12,4	11,5	24	6
Aska (% torrt)	3,9	4,95	3,8	5,9	6
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)					
Värmevärde (MJ/kg)					
Hkal (torrt askfritt)	18,69	18,86	18,16	19,7	6
Hkal (leverans)	15,70	15,89	12,99	16,41	6
Heff (torrt askfritt)	17,40	17,56	16,93	18,37	6
Heff (leverans)	14,31	14,51	11,52	15,01	6
Elementaranalys (% torrt askfritt)					
C (kol)	48,07	48,32	47,72	49,74	6
H (väte)	5,93	5,93	5,63	6,11	6
O (syre)	45,04	44,89	43,27	45,56	6
S (svavel)	0,1	0,08	0,07	0,1	6
N (kväve)	0,7	0,6	0,4	0,7	6
Cl (klor)	0,16	0,12	0,05	0,23	6
Askanalys					
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***		
Al (aluminium)	95	2434	2434	1535	3017	6
As (arsenik)						
Ba (barium)						
Ca (kalcium)	3540	90766	77187	67896	109348	6
Cd (kadmium)						
Co (kobolt)						
Cr (krom)						
Cu (koppar)						
Fe (järn)	158	4057	1888	1259	4057	6
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	5957	152747	56450	9132	152747	6
Mg (magnesium)	800	20505	12062	12062	20505	6
Mn (mangan)	24	620	387	387	697	6
Mo (molybden)						
Na (natrium)	260	6677	6862	5564	7419	6
Ni (nickel)						
P (fosfor)	919	23565	16583	13964	7419	6
Pb (bly)						
Sb (antimon)						
Si (kisel)	8477	217371	303853	217371	339380	6
Ti (titan)						
Tl (tallium)						
V (vanadin)						
Zn (zink)						

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.7.2 Nyckeltal halm. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers straw. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,60	0,29
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,39**	0,26
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,66**	**0,97**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,07	0,17
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**85,8**	**120**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	**0,36**	0,11

Tabell 3.7.3 Bränsledata för gulhalm (vete). [11]
Fuel data for yellow straw (wheat).

Fukt vikt-%	Aska vikt-% TS	Svavel vikt-% TS	Klor vikt-% TS	H_{eff} MJ/kg	Miles index[1]	Sintring enl ETC[2] °C	T_{15}[3] °C	ID[4] °C	Fouling index[5]	Pris öre/kWh
10-20	4-10	0,05-0,2	0,2-1,5	10-15	0,28	740	990	900	0,98	9-13

[1] kg alkali/GJ (< 0.17 användbara, 0.17-0.33 tveksamma, > 0.34 oanvändbara bränslen)
[2] CFBA metoden, se kap askegenskaper
[3] Temperatur där när 15 % av aska är smält
[4]askans mjukningstemperatur enligt ASTM, se kap askegenskaper
[5]beräknas med hjälp av asksammansättningen, se kap askegenskaper

Samtliga värden i Tabell 3.7.3 tyder på besvärliga egenskaper hos halmaska, den mycket höga klorhalten bör speciellt uppmärksammas.

Tabell 3.7.4 Svavel- och fosforkvoter för halm. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal). Sulphur and phosphorus numbers for straw. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	2,83	5,09
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	1,17	1,63
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	0,63	0,5
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,09	0,1

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.7.3 Driftserfarenheter

Asksmälttemperaturen är generellt lägre till betydligt lägre jämfört med trädbränslen, frånsett något undantag (rapshalm), vilket kan orsaka klibbiga beläggningar i pannan. En viktig observation är att vid inblandning av halm i trädbränslen följer inte asksmälttemperaturen något givet (linjärt) samband med inblandningsgraden, utom möjligtvis i ett begränsat blandningsintervall, utan en förändring av asksmälttemperaturen kan komma relativt snabbt vid en förändring av blandningsförhållandet. Utfallet beror på såväl halmens som det sameldade bränslets asksammansättning och blandningsförhållandet mellan dessa.

Halm har trots en modest kvävehalt konstaterats ge relativt höga NO_x-emissioner. I pannor under 10 MW saknas restriktioner för NO_x- utsläpp, vilket gör att kvävet inte utgör något problem för anläggningen, men för större pannor kan NO_x-utsläppen innebära både kostnads- och tillståndsmässiga problem. [5]

Halm eldas vanligen i rosterpannor. Försök har dock gjorts med inblandning av halm (och andra åkerbränslen) i fluidbäddpannor. Fluidbäddpannor är flexibla för olika bränslen, men samtidigt känsliga för låga asksmälttemperaturer – risken är att bädden sintrar. [12]

Driftproblem vid halmeldning är främst problem med sintringar och påslag samt att katalysatorer (SCR) för NOx reduktion blir deaktiverade oacceptabelt snabbt vi för hög inblandning av halm. [8]

Svalöv har 2x2,5 MW rostpanna och eldar ca 6 000 ton lokalt producerad halm/år, vilket motsvarar 2000 m^3 olja. Man producerar årligen ca 250 ton bottenaska som är efterfrågad av KRAV-odlare. Lägst sintringstendenser rapporteras för vete och råghalm. Beläggningarna var dock enkla att ta bort med sotning vid regelbundna stopp varje månad. [13,14]

Skurup har en 4,5 MW rostpanna som använder främst vetehalm (6000 ton/år) Sintringsproblem rapporteras främst vid användning av gul halm. Grå halm ger inga problem.[13]

I Danmark finns drygt 50 fjärrvärmeanläggningar i storlekar mellan 1,4- 11,5 MW, som använder halm som bränsle. Fler än hälften av anläggningarna är byggda under 2000-talet. [3]

I Danmark finns även ett antal större energianläggningar där halm används som bränsle i kombination med andra bränslen. Vanligt är samförbränning med kol, som visat sig vara ett bra sätt att minska halmaskans besvärliga egenskaper. NOx-reduceringen försvåras när halm används genom att det förekommer stora partiklar oförbrännt material i rökgasen. Problemet har lösts i en anläggning genom att nät installerats före katalysatorn som slår sönder partiklarna. [3,8]

I Amageranläggningen (480°C /120 bar, 130 000 t halm/år) i Danmark har man genom att installera sotblåsare i anslutning till eldstadsväggarna och nära screen tuberna och även sotningsutrustning i elektrofiltret samt ökad area för utmatning av bottenaska ökades intervallet med stopp för rengöring av pannan till två veckor. Träpellets i bränslemixen utökade drifttiden mellan rengöringsstopp till drygt en månad.

För att kunna hålla högre ångdata i Avedør anläggningen(545°C/310 bar, 150 000 t halm/år, rost), har man använt specialstål i överhettarna. Den sista delen av överhettaren är designad som ”förbrukningsvara” och byts regelbundet.

I Enstedanläggningen (470°C/210 bar, 120 000 t halm/år, rost) har man en lösning där ångan från halmpannan överhettas i en panna som eldar träflis. Tekniken kommer inte att upprepas då det visade sig att halmen inte orsakade skador i den omfattningen som man befarade.

Studstrupanläggningens block 1 visade upp marginella korrosionsangrepp och foulingen kunde kontrolleras vid sameldningen mellan kol och halm. Baserat på resultaten från block 1 har nu även block3 och 4 (540°C/270 bar, 130 000 t halm/år, pulverbrännare) konverterats till sameldning med kol och halm.
En rad avancerade ståltyper används för att klara höga tryck och temperaturer. Materialet som används i panna, turbiner och rör klarar 700°C och 350 bar. En ny konstruktionsfilosofi, som innebär att man anser att den sista överhettaren är en ”slitagedel” och byts ut vid behov, vilket gör att man kan uppnå högre verkningsgrader. Flygaskan deponeras, då den har höga kadmium halter, medan bottenaskan återförs till

åkermark. På detta sätt renas åkerjorden från sitt kadmium innehåll. Enligt den danska regeringen ska 1,4 miljoner ton halm användas år 2005. [15]

3.7.4 Rekommendationer

Det är viktigt att genom analys och prov bilda sig en uppfattning om ingående bränslen och vilken blandningsgrad mellan dessa som passar pannan i fråga för att elda ”rätt” blandning och därmed minimera risken för uppkomst av problem på grund av asksmälttemperaturen.

Försök har visat att en inblandning av 10 % åkerbränslen kan göras utan några problem i fluidbäddpannor. Vid samförbränning med halm är det fördelaktigt om dessutom torv eller andra svavelhaltiga bränslen ingår i bränslemixen [12].

I Danmark finns många anläggningar som eldar halm. Halmens höga innehåll av kalium och klor kan ge problem med korrosion och en av de stora utmaningarna är att designa överhettare till halmpannor. Några sätt att hantera problemen är:[8]

- Minska ångtemperaturen, men det minskar också elproduktionen.
- Öka avståndet mellan tuberna I överhettarna för att minska risken för igensättningar.
- Använd specialstål i överhettarna
- Konstruera den sista delen av överhettarna som en förbrukningsdel
- Samelda med kol för att neutralisera halmens innehåll av kalium och klor
- Använd klorfritt gödningsmedel vid spannmålsproduktion.
- Låt halmen utsättas för regn innan den balas.

Pulverbrännare
Laboratorieförsök med förbränning av blandningar av halm redovisar följande rekommendationer [6]:

Halm och salix
Sameldning med salix bör kunna ändra det ogynnsamma förhållandet mellan fri kiselsyra och reaktiv alkali genom att pressa ned kiselsyrahalten och tillföra kiselsyra i form av aluminosilikat. Även totalhalten klor kan sänkas och svavelhalten ökas. En bränslemix med salix tillsammans med en mindre inblandning (15-20%) av halmbränsle rekommenderas. Då ändras förhållandet mellan alkali, kalcium och kiselsyra i gynnsam riktning liksom för klor och svavel (sulfateringstal).

Lignin och halm
Ligninet är ett svavelrikt så kallat lignosulfonat. Tyvärr innehåller det även en del klor. Det bör påpekas att lignin som typisk avfallsprodukt från massakokning kan fås med stora variationer i sammansättning, som betingas av massautvinningsmetoden och kan bidra med mycket sulfatsvavel. Problemet med bildning av klorhaltiga saltblandningar kan därför motverkas genom sameldning med lignin. Vettiga sulfateringstal erhålls dock enbart när över 50 % av bränsleblandningen är lignin. Även glasbildningen påverkas genom sameldningen i gynnsam riktning. Här krävs dock 80 % lignin eller mer för en säker förbättring.

Halm och torv
Sameldning med torv förbättrar sulfateringsgraden och minskar därmed risken för bildning av klorrika lågsmältande saltblandningar. Problemet med bildning av K-silikatglas kan däremot inte påverkas genom sameldning med torv. Här kan torvaskan, som innehåller mycket lermineral enbart användas som utspädning. För riktigt bra värden för både sulfatering och utspädning av den glasbildande halmaskan bör halm endast tillsättas till torv till högst 10 %. Först då sjunker även andelen av förångningsbart alkali markant. Liknande erfarenheter finns från sameldning med kol.

Halm och rötslam
Positiva effekter har också påvisats vid samförbränning av halm och rötslam. Inom projektet ”Agglobelägg” eldades en blandning av träpellets och halmpellets i Chalmers 12 MW CFB-panna. Denna bränsleblandning resulterade höga alkalikloridhalter i rökgasen d.v.s. risk för korrosiva beläggningar samt en ansamling av halmaska i bäddmaterialet som hade en låg smältpunkt d.v.s. markant ökade risk för bäddagglomerering/sintring i fluidiserad bädd. Genom samförbränning med ca 9 % av ts i form av kommunalt rötslam så kunde både risken för korrosiva beläggningar och risken för bäddagglomerering minskas avsevärt d.v.s. det skulle kunna gå att elda halm i en fluidbädd om man samförbränner med rötslam. [21].

3.7.5 Risker och åtgärder vid hantering av halm

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten nedan bygger främst på intervjuer [5,16,17,18], men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. [19,20]Nedan beskrivs också exempel på hur riskerna kan reduceras för att ge tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker

Halm kan damma, vilket är ett problem främst ur arbetsmiljösynpunkt. Det verkar inte föreligga någon egentlig risk för dammexplosion.

Brandrisken måste beaktas vid hantering av halm. Vid beredning av balar (hos bränsleleverantören) betonas vikten av att se till att halmen inte kommer i kontakt med varma motordelar etc. Det finns exempel på att brandincidenter har uppstått på detta sätt. Brandrisken är stor även vid lagring, och om en brand bryter ut så sprider den sig lätt över hela halmlagret. En annan brandrisk representeras av eventuella rivare, om sådana används, för att riva balar innan halmen matas in i pannan.

Halm är ett bränsle som varierar mycket i storlek, med bitar från 1 mm upp till 4 dm långa strån, och även ännu längre än så. De långa stråna kan lätt fastna, både i olika faser av bränslehanteringen och vid inmatning till panna. Ett exempel är långa halmstrån som fastnar kring axeln på rivare, vilket kan orsaka stopp för rivaren och i förlängningen leda till avbrott i bränsleinmatningen till pannan. Vid sameldning av halm och flis är det lätt att långa halmstrån orsakar hägningar i bränslestup och liknande, även om inblandningen av halm är relativt låg. Det är därför en stor fördel, för att inte säga nödvändigt, att halmen sönderdelas till en storleksfördelning som är i paritet med basbränslet.

Det kan finnas sten med i halmen, vilket kan orsaka skador på bränsleberednings- och inmatningsutrustning. Som nämnts ovan kan stenar även orsaka gnistbildning i kontakt med rivare, vilket utgör en brandrisk.

Halmen får inte vara alltför fuktig för att brinna bra, och bör därför skyddas för regn vid lagring. Det har dock konstaterats att om halm lagras utomhus i otäckta stackar eller balar så är det bara det översta lagret av halmen (en till ett par decimeter) som tar skada och behöver kasseras. Mögeltillväxt kan ske i fuktig halm. Detta utgör en risk både ur arbetsmiljösynpunkt, samt att mikrobiell verksamhet leder till värmeutveckling som kan orsaka självantändning av halmen.

Halmbalar är stora, tunga och otympliga och hanteringen kan givetvis innebära en arbetsmiljörisk.

Bottenaskan från halm kan i allmänhet återföras till åkrarna som jordförbättring, medan flygaskan, åtminstone hittills, klassas som farligt avfall och måste deponeras. Flygaskan innehåller höga halter av kadmium, och är dessutom starkt basisk.

Exempel på åtgärder

Det är viktigt att halmen skördas torr, eftersom den annars kan självantända vid lagring. Ur brandspridningssynpunkt är det klokt att dela upp halmlagret i flera enheter, eller att köra breda gångar som avdelar lagret. Detta minskar inte brandrisken, men minskar risken att hela halmlagret brinner upp vid ev. antändning.

Halm kan vara ett besvärligt bränsle att hantera, men många risker i bränsleberedningen och hanteringen går att bygga bort. Exempelvis gäller det att rivare och bränsleinmatningsutrustning är utformad på ett sådant sätt att risken för att halmen ska fastna minimeras samt att utrustningen utformas så att sten och andra orenheter som kan slinka med halmen inte förorsakar skador eller brand. Rivarna bör t.ex. vara långsamtgående.

Med tanke på hälsorisker kopplade till halmaskor bör ur arbetsmiljösynpunkt all manuell hantering av flygaskan undvikas. Om manuell hantering inte kan undvikas måste andningsmask eller andningsfilter användas för att undvika inandning av dammet

Risken för bakåtbrand från pannan till bränsleinmatningen är ganska stor. Ett sätt att undvika detta är brandslussar i halmbanan. Skulle brand utbryta är det bäst om det

brinnande bränslet kan stoppas in i pannan, en annan åtgärd för att få stopp på branden är att trycka in packad halm i pannan. System med brandvarnare och sprinklers bör finnas för att undvika olyckor vid tillbakabrand.

.

3.7.6 Referenser

1 www.bioenergiportalen.se (sökord halm)

2 Rapport om potentialen för bioenergi, tillgång, användning. SVEBIO 2008-03-31.

3 Hinge, J. Utarbetande av ett program för ökad förbränning av halm i Sverige, baserat på danska erfarenheter. Värmeforskrapport nr 1117 (2009)

4 Martinsson, L., Råvaror för framtida tillverkning av bränslepellets i Sverige, Värmeforskrapport nr 813 (2003)

5 Susanne Paulrud, SP, intervju 2009-12-17

6 Fredriksson,C., Padban,N., Zintl,F. Breddning av bränslebasen för pellets och pulverbrännare TPS 2004-14

7 Ottosson,P., Bjurström,H., Johansson,C., Svensson,S-E, Mattsson, J-E. Förstudie – halmaska i ett kretslopp. Värmeforskrapport 1102 (2009)

8 Hedman,H., Nordgren,D.,Boström,D.,Öhman,M., Padban,N. Ökad elproduktion från halm genom sameldning med trädbränslen, Värmeforskrapport nr 1162 (2011)

9 Arkelöv,O, Hellström,C., Hollsten,R., Lindh,C. Bättre och effektivare samverkan för ökad användning av åkerbränslen i värmeverken. Värmeforskrapport 1139 (2010)

10 Burvall, J. Provförbränning av energigräset rörflen vid två kommersiella halmeldade anläggningar i Danmark, Värmeforskrapport nr 440, 1992

11 Nyström, O., Johansson, K., Steivall, P. Småskalig biobränslebaserad kraftvärme-förutsättningar för standardiserade lösningar med avseende på teknik och bränslen i ett systemperspektiv. Värmeforskrapport 715, 2001.

12 Jan Burvall, Skellefteå Kraft, föredrag på Värmeforskdagarna 2010-01-28

13 Myringer,Å., Petersen,M., Olsson,J., Rönnbäck,M., Bubholz,M., Forsber,M. Identifiering av energiverkens merkostnader vid förbränning av åkerbränslen samt lantbrukarens möjlighet att påverka bräsnlekvaliteten. Värmeforskrapport nr 1114 (2009)

14 Bernesson, S., Nilsson, D. Halm som energikälla, SLU rapport 2005:07, (2005)

15 Haaker, A., Världens största och effektivaste halmpanna, Bioenergi nr 5, (2002)

16 Magnus Eriksson, Bal & Bobcat, intervju 2010-01-13

17 Martin Resmark, E.ON Värme, intervju 2009-12-01

18 Lars Hammar, Lunds Energi, intervju 2009-10-31

19 Stridsberg, Sven och Christensson, Kjell. Bränslemixar med halm – Eldningsförsök vid fem anläggningar. Stiftelsen Lantbruksforskning, 1994

20 Alvarez de Davila, Eliana. Arbetsmiljön vid hantering av träpellets för energiproduktion samt arbetsmiljöerfarenheter vid eldning av olivkross och halm. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm 1999.

21 Gyllenhammar Marianne, Herstad Svärd Solvie, Davidsson Kent, Åmand Lars-Erik, Steenari Britt-Marie, Folkeson Nicklas, Pettersson Jesper, Svensson Jan-Erik, Boss Anna, Johansson Linda, Kassman Håkan. Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem, etapp 2. Värmeforskrapport nr 1037, 2007.

Läs mer om halm

- Rydén, A., Olofsson, J. Erfarenheter från försökseldning med alternativa biobränslen, Agrobränslen. Värmeforskrapport 469, 1993
- Stridsberg, S., Anpassning av värmeverksutrustning till halminblandning, Värmeforskrapport nr 673 (1999)
- Nilsson, D. Simulering och kostnadsanalys av hanteringssystem för bränslehalm – tillämpning för en värmeanläggning i Skåne. Värmeforskrapport nr 1135 (2010)
- Goldschmidt, B., Olsson, H., Lindström, E. SCR i biobränsle- och avfallseldade anläggningar. Värmeforskrapport nr 1156 (2010)
- **Straw for Energy Production** (prepared in 1998 by The Centre for Biomass Technology (www.sh.dk/~cbt) on behalf of the Danish Energy Agency. The publication can be found on the web site: www.ens.dk.)
- Öhman Marcus, Boman Christoffer, Erhardsson Thomas, Gilbe Ram, Pommer Linda, Boström Dan, Nordin Anders, Samuelsson Robert, Burvall Jan. Minskade askrelaterade driftsproblem (beläggning, slaggning, högtemperaturkorrosion, bäddagglomerering) genom inblandning av torv i biobränslen. Värmeforskrapport nr 999, (2006)
- Öhman Marcus, Boström Dan, Skoglund Nils, Grimm Alejandro, Boman Christoffer, Kofod-Hansen Marie. Minskade askrelaterade driftsproblem genom inblandning av torv i åkerbränslen. Värmeforskrapport nr 1142, (2010)
- Berg Magnus, Bubholz Monika, Forsberg Maya, Myringer Åse, Palm Ola, Rönnbäck Marie, Tullin Claes. Förstudie - sammanställning och syntes av kunskap och erfarenheter om grödor från åker till energiproduktion. Värmeforskrapport nr 1009, (2007)
- Davidsson Kent, Eskilsson David, Gyllenhammar Marianne, Herstad Svärd Solvie, Kassman Håkan, Steenari Britt-Marie, Åmand Lars-Erik. Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem; Ramprogram Värmeforskrapport nr 997, (2006)

- Grimm Alejandro, Skoglund Nils, Eriksson Gunnar, Boström Dan, Boman Christoffer, Öhman Marcus. Effekter av fosfortillsats vid förbränning av biomassa Värmeforskrapport nr 1157, (2010)

- Niklasson Fredrik, Haraldsson Conny, Johansson Andreas, Claesson Frida, Bäfver Linda, Ryde Daniel . Sänkt bäddtemperatur vid termokemisk omvandling av svåra bränslen Värmeforskrapport nr 1140, (2010)
- Herstad Svärd S, Åmand L-E, Bowalli J, Öhlin J, Steenari B-M, Pettersson J, Svensson J-E, Karlsson S, Larsson E, Johansson L-G, Davidsson K, Bäfver L , Almark M. Ramprogram. Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem, Etapp 3 Värmeforskrapport nr 1167, (2011)
- Wiinikka Henrik, Grönberg Carola och Öhrman Olov. Titandioxidadditiv. En effektiv tillsats för att minska alkaliförångning Värmeforskrapport nr 1071, (2008)
- Forsberg, M., Baky, A., Westlin, H., Ljungberg, D., Ytterberg, P. Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga kraftvärmeverk- Fallstudie Värtan JTI-rapport 361, (2007)

3.8 Rörflen

Figur 3.8.1 Rörflen/ Reed Canary Grass.

Figur 3.8.2 Hackad vårskördad rörflen. Foto SLU-BTK./ Chopped spring crop of reed canary grass. Picture SLU-BTK

Rörflen är ett högvuxet, vassliknande gräs med kraftiga utlöpare. Rörflen är det energigräs som hittills visat sig bäst lämpat för odling i Sverige. Det fleråriga gräset kan bli upp till två meter högt och växer vilt på fuktiga marker i stora delar av landet. Det kan skördas varje år, på våren eller hösten. Skördetidpunkten avgör fukthalt och asksammansättning men också utbytet. Gräset är lättodlat och kan under goda förhållanden ge en avkastning på upp till 6-8 ton torrsubstans per hektar. En hektar rörflen räcker till att producera 30-40 MWh energi per år, vilket motsvarar 3-4 m^3 olja. Rörflen kan i princip skördas med befintlig teknik. Vårskördat rörflen har låg vattenhalt och kan förädlas till briketter eller pellets utan torkning.

I samband med omställningen av jordbrukspolitiken i början av 1990-talet började många lantbrukare, framförallt i norra Sverige, odla rörflen. De svenska odlingarna omfattade som mest cirka 5000 hektar. Men marknaden för rörflen var då ännu outvecklad, och stora delar av odlingarna plöjdes upp när det visade sig vara svårt att få avsättning för gräset. I takt med stigande energipriser växer nu åter intresset för att elda och förädla rörflen. I dagsläget (2009) odlas rörflen på ca 1000 ha. I Västernorrland pågår till exempel ett projekt, Bioenergi i Y-län, där ett antal lantbrukare provodlar rörflen. Energibolagen Skellefteå Kraft och Umeå Energi har skrivit kontrakt med 40-tal odlare om leveranser av energigräs. Ett antal förädlingsföretagare testar också att pressa briketter av rörflen [1].

En uppodling av de mest intressanta rörflensarealerna i Norrbotten skulle innebära en rörflensareal på 25 000 hektar, vilket motsvarar en energipotential på cirka 900 GWh,

vilket är tillräckligt för att täcka energibehovet i drygt 30 000 normalstora villor. [2] Potentialen för Västerbotten är i samma storleksordning.

I Österbotten i Finland odlas rörflen i större skala (ca 17 000 ha 2008) och man räknar med att odla ca 100 000 ha 2015. Enligt finska erfarenheter lämpar sig rörflen som skördats på våren för blandförbränning tillsammans med torv, flis eller en blandning av bark och sågspån. Vid sameldning med torv binder rörflenen askans svavelinnehåll. [3]

Forskning och utveckling av rörflen som bränsle/bränsleråvara sker på flera håll i landet. Bland annat pågår projekt hos SLU i Umeå och hos Glommers Miljöenergi AB och Låttra Gård i Södermanland. [4]

Alla priser måste betraktas som färskvara. Rörflen levereras till energiverk i form av storbalar eller som hackat bränsle. Det förekommer även leveranser av rörflen som pellets och briketter. Under 2009 betalades ca 200 kr/MWh för storbal och något högre för hackat bränsle. [5]

Oförädlad rörflen har en låg bulkdensitet (200-300 kg/m^3) för komprimerad rörflen i form av pellets och briketter ökar bulkdensitet till 550-700 kg/m3, vilket minskar kostnaden för transport och lagring.[6]

Endast begränsad användning av rörflen i industriella anläggningar finns i dagsläget. Damning förkommer speciellt vid rivning av rörflensbalar, vilket ger en ökad andel av finfraktion vid malning jämfört med träpulver.

Rörflen har en askhalt som är 15-20 gånger högre än för träpellets och 2-3 gånger högre än för skogsflis. Askan är också voluminös och strukturen skiljer sig från stamvedsaska. Detta gör att det finns risk för dålig utbränning vilket medför att uppehållstiden i pannan måste vara tillräckligt lång. Halterna av kväve, svavel och klor är högre i rörflen jämfört med träpellets vilket medför att emissionerna av NO_x och SO_2 blir högre vid förbränning av rörflen. [7,8]

I tabell 3.8.1 finns exempel på emissioner från förbränning av rörflenspulver. Vid försöken användes inga NO_x reducerande åtgärder.

Tabell 3.8.1 Exempel på emissioner vid förbränning av rörflenspulver i 30 MW pulverpanna.[9]
Examples of emissions from combustion of powder of Reed Canary Grass in a 30 MW boiler.

Förorening	
Svavel, mg/MJ	20-44
Kväveoxider, mg/MJ	208-291
Kolmonoxid, ppm	38-159
HCl mg/m^3	5,8-7,1

Försök med ASTM standardmetod,(metoden för bestämning av asksmältpunkt beskrivs i kapitel 6.3.1.) ligger initiala asksmälttemperaturen mellan 1500-1600 ˚C för rörflen

med en askhalt över 6 %. För rörflen med en askhalt på ca 3 % är motsvarande temperatur 1150-1300 ˚C. [10]

3.8.1 Lagar

Förbränningen av rörflen regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Rörflen är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Rörflen berättigar till elcertifikat.

3.8.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.8.2 Analys rörflen/Analysis Reed Canary Grass

Prov	Exempel [11] pellets		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	12,7		14,4	12,7	19,9	9
Aska (% torrt)	2,5		5,9	2,5	10	9
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	80,9					
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	20,12		19,01	17,27	20,12	9
Hkal (leverans)	17,12		15,22	13,69	17,12	9
Heff (torrt askfritt)	18,78		17,66	15,97	18,78	9
Heff (leverans)	15,76		13,84	12,28	15,76	9
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	50,5		48,6	44,9	50,5	9
H (väte)	6,15		5,95	5,89	6,16	9
O (syre)	42,3		43,7	42,3	47,1	9
S (svavel)	0,10		0,18	0,1	0,25	9
N (kväve)	1,0		1,16	0,93	1,18	9
Cl (klor)	0,01		0,82	0,1	1,22	9
Askanalys						
	(mg/ks ts)	**(mg/kg aska)**	**(mg/kg aska)**			
Al (aluminium)	196	7832	2805	1323	7832	9
As (arsenik)	0,5	21				1
Ba (barium)	30	1192				1
Ca (kalcium)	2 480	99199	66466	40737	99199	9
Cd (kadmium)	0,1	3				1
Co (kobolt)	0,1	3				1
Cr (krom)	0,9	34				1
Cu (koppar)	2,3	91				1
Fe (järn)	346	13849	3287	1818	13849	9
Hg (kvicksilver)	0,0	1				1
K (kalium)	1 436	57447	129503	57447	189274	9
Mg (magnesium)	552	22071	21710	14473	26535	9
Mn (mangan)	-	-	387	310	587	8
Mo (molybden)	0,9	37				1
Na (natrium)	52	2077	7047	2077	8902	9
Ni (nickel)	0,3	10				1
P (fosfor)	1 266	50626	32292	16146	50626	9
Pb (bly)	1,3	51				1
Sb (antimon)		-				
Si (kisel)	6 217	248677	218306	167253	254769	9
Ti (titan)	9,0	360				1
Tl (tallium)		-				
V (vanadin)	0,3	10				1
Zn (zink)	61	2432				1

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.8.3 Nyckeltal rörflen. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers Reed Canary Grass. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,40	0,47
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,17	**0,41**
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**1,67**	**1,61**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,06	0,08
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**30,5**	**74,8**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	0,12	**0,23**

Rörflen har som många gräsväxter höga halter av kalium samt även askhalt. Askhalten hos rörflen är högre än för trädbränsle, och starkt beroende av växtplatsen. Om rörflen odlas på mullrika jordar är askhalter på ca 2 % vanliga medan på styva lerjordar kan man få upp till 16 % aska. I tabell 3.8.2 sammanfattas viktiga bränsledata för rörflen. Alla värden tyder på låg risk för askrelaterade problem vid förbränning av vårskördad rörflen.

Tabell 3.8.4 Bränsledata för vårskördad rörflen [12].
Fuel data for reed canary grass (spring harvest).

Fukt vikt-%	Aska vikt-% TS	Svavel vikt-% TS	Klor vikt-% TS	H_{eff} MJ/kg	Miles index[1]	Sintring enl ETC[2] °C	T_{15}[3] °C	ID[4] °C	Fouling index[5]	Pris öre/kWh (2000)
10-15	3-7	0,05-0,2	0,1-0,2	13-15	0,07	980	1030	1260	0,04	12-16

[1] kg alkali/GJ (< 0.17 användbara, 0.17-0.33 tveksamma, > 0.34 oanvändbara bränslen)
[2] CFBA metoden, se kap askegenskaper
[3] Temperatur där när 15 % av aska är smält
[4] askans mjukningstemperatur enligt ASTM, se kap askegenskaper
[5] beräknas med hjälp av asksammansättningen, se kap askegenskaper

Tabell 3.8.5 Svavel- och fosforkvoter för rörflen. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for Reed Canary Grass. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	1,98	1,74
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0,67	0,66
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	10,0	0,22
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,25	0,14

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.8.3 Driftserfarenheter

Långsamma maskiner av rivtyp har visat sig vara bästa typen för krossning av rörflensbalar. Fördelarna med långsamma krossare är:
• Mindre dammbildning
• Lägre ljudnivå
• Lägre risk för gnistbildning
• Lägre risk för överhettning och brand
• Lägre energiförbrukning
• Förmågan att kapa och krossa snören och nät som omgärdar balarna [6]

Det finns inga specifika anläggningar för rörflen utan bränslet eldas i pannor anpassade för torra, askrika bränslen som exempelvis halm, alternativt sameldas med exempelvis trädbränslen.

I små (roster)pannor med korta uppehållstider finns risk för ofullständig förbränning vid stor andel av rörflen i bränslet (gäller i princip alla bränslen som brinner i suspension). Det lätta rörflenet lämnar bränslebädden, vilket kan ge ökad andel oförbränt i askan samt ökade emissioner av CO, kolväten och stoft. Vid sameldning av rörflen tillsammans med andra bränslen i rosterpannor finns en risk att det uppstår luckor på rosten och i bädden, s.k. genomblåsningar, när det lättare rörflenet lämnar bädden och fortsätter att brinna i fribordet [6]. Detta orsakar ojämn förbränning med risk för höga

temperaturer i de zoner där luftflödet ökat och vice versa i zoner där luftflödet minskar. I båda fallen ökar risken för slaggbildning på grund av höga temperaturer respektive reducerande förhållanden (som nästan alltid sänker askorna mjuknings- och smälttemperaturer) även om vårskördad rörflen i sig har höga asksmälttemperaturer. Risken ökar med högre och ofullständigt genomförd inblandning av rörflen.

Försök har gjorts med olika grader av inblandning av rörflen i det ordinarie bränslet i fluidbäddpannor, som visserligen är väldigt flexibla för olika bränslen, men samtidigt känsliga för låga asksmälttemperaturer som medför en risk för att bädden sintrar. Upp till 10 % inblandning av åkerbränslen kan göras utan några problem [13]. Vad det gäller rörflen är högsta rekommenderade inblandning ca 20 % med reservation för att den totala klorhalten i bränsleblandningen inte bör vara högre än 0,1 % [6]. Störst är risken för sintring i samband med störningar i driften, t.ex. när startbrännare har behövt användas.

Rörflensaskan är ”fluffig” och har beroende på askpartiklarnas förmåga att ”haka i” varandra en tendens att bilda valv i pannan och i askutmatningssystemen. Detta gör att oförbränt material kan omslutas av askan och därmed förbli oförbränt. Det kan också tillsammans med rörflenets tendens att lämna bädden och brinna i suspension vara en bidragande orsak till förhållandevis höga stofthalter i utgående rökgas. För att klara de större askmängderna koppalt till rörflenets relativt höga askhalt behövs ofta en kontinuerlig utmatning av askan. [6]

Rörflen har trots en modest kvävehalt konstaterats ge relativt höga NO_x-emissioner. I pannor under 10 MW saknas restriktioner för NO_x- utsläpp, vilket gör att kvävet inte utgör något problem för anläggningen, men för större pannor kan NO_x-en innebära både kostnads- och tillståndsmässiga problem.

Skellefteå Kraft

Skellefteå Kraft använder hackad rörflen från lokala odlare. Man räknar med att använda 6 GWh (ca1% av total energiproduktion) rörflen inom kort och andelen kommer sannolikt att öka om produktionen av rörflen ökar. Man har använt blandningar med 2 m^3 rörflen och 1 m^3 av vardera torv och bark. Energimässigt blir det knappt 20 % rörflen då rörflen har en låg densitet. [14]

Jordbro

Korttidsförsök med framställning av pulver och efterföljande proveldning gav övervägande positiva resultat. Rörflenspulver uppvisade likartade egenskaper som träpulver vid olika hanteringsmoment och korttidslagring. Förbränning med samma grundinställningar som för träpulver fungerade bra. Två huvudsakliga problemområden har identifierats: Höga NO_x-nivåer (mer är dubbla halterna jämfört med träpulver) samt den höga askhalten. Rörflensaska har större partiklar än träaska, och har dessutom en oregelbunden form som gör att askpartiklarna lätt kan haka i varandra utan att de ligger tätt intill varandra. Askan får en ”fluffig” karaktär med låg densitet och benägenhet att bilda valv. [9]

Helsingborg, sameldning med kol [15]
I Helsingborgs anläggning Västhamnsverket, utfördes försök där rörflen sameldades med kol. Inblandningen var i försöken mellan 5,2 och 9 energi%. Bränsletillförseln i form av pulver krävde en noggrann logistik och vissa special åtgärder krävdes för att tömma bilarna på pulver då rörflenspulvret har en stor benägenhet för valvbildning. Förbränning av rörflen fungerade utan problem och inga förhöjda emissioner av kväveföreningar kunde påvisas. Övriga emissioner ut från anläggningen var i samma storleksordning som vid enbart koleldning. Pannans effekt under försöken var mellan 85-160 MW. Inblandningen av rörflen i bränslemixen kunde inte ökas på grund av rörflenets pulveregenskaper. Totalt eldades 128 ton rörflen i två perioder om sammanlagt nästan 90 timmar.

Rörflenseldning i Danmark[16]
Rörflen har visat sig fungera dåligt att elda i helbalspannor, då askans benägenhet att bilda skelett ofta leder till en ofullständig förbränning. Försök med rörflenseldning i halmeldade rostpannor har utförts i Danmark. En 4,5 MW helbalseldad panna och en 4 MW som eldar lös halm användes. Rörflen medförde inga tekniska problem vid hantering eller förbränning jämfört med halm. Emissionsmätningar visade att anläggningarna inte uppfyller kraven på en miljömässigt god förbränning vare sig för halm eller för rörflen. Både CO och NO_x-emissionerna var oacceptabelt höga. Textila spärrfilter ger tillräcklig stoftrening medan multicykloner inte klarar att rena gasen till acceptabla nivåer. Lös rörflenshalm liksom även eldning av rörflen i ”cigarrform” medförde inga tekniska problem.

Sameldning av skogsflis och rörflensbriketter testades i en 4MW rostpanna i Eskilstuna.[17] Försök utfördes vid två olika laster (2 och 3,6 MW) samt med tre olika bränslemixar,(0, 30 och 50 vikt% rörflen). Undersökningen omfattar en stor mängd analyser av bränslen, emissioner, askor och påslag. Det förekom en del problem med att få en jämn bränsleblandning men för övrigt fungerade förbränningen bra.

Förbränningsutrustning för rörflenseldning kräver att det klarar att hantera askrika bränslen. En utvärdering av tillgänglig teknik i storleksordningen 50 kW-1 MW på den europeiska marknaden har undersökt ett tjugotal brännare visar att det finns 4-8 pannor som har potential att elda rörflen utan några större ombyggnader. [9]

Laboratorieförsök, Pelletseldning i 20 kW och 750 kW FB [11]
Två kvaliteter av rörflen har använts. En med låg askhalt (2 %) och en med hög askhalt (11 %). Förbränningsegenskaperna för rörflen med låg askhalt är mycket goda och påminner om eldning av vanliga träpellets. Kvaliteten med en hög askhalt uppvisade något sämre förbränningsegenskaper med ojämnare förbränning med höga CO-halter. Dessutom var askbelastningen mycket hög och stoftreningen utsattes för stora påfrestningar med igensatta filter.

Rörflen med hög askhalt visade sig vara mindre sintringsbenäget än kvaliteter med låg askhalt med kiselsand som bäddmaterial. Byte till olivin sand förvärrade situationen, medan användning av masugnsslagg i olika former förbättrade möjligheter till förbränning utan sintring.

Problemen med sintring kan minskas genom sameldning med andra bränslen som GROT och sågspånspellets. Inblandning av upp till 30 % rörflen fungerar utan sintringstendenser. Tillsats av kaolin gör att andelen rörflen i bränslemixen kan ökas till 50-60% utan sintringsproblem.

3.8.4 Rekommendationer

Endast mycket begränsad erfarenhet från storskalig eldning av rörflen finns tillgänglig. Allmänt gäller att stoftbelastningen ökar med inblandning av rörflen och kan kräva någon form av grovavskiljning av stoft innan filter.

I tabell 3.8.6 finns en sammanställning av rekommenderade andelar av rörflen i olika bränslemixar för att minimera problem vid förbränningen.

Tabell 3.8.6 Rekommenderade andelar av rörflen i olika bränslemixar. [6]/ Recommended units of reed canary grass at different fuel mixes

Bränslesammansättning	Rörflen energiandel	Rörflen volymandel
Rörflen och torv	20 %	40 %
Rörflen och flis	10 %	20 %
Rörflen, torv och flis (> 50 % torv)	15 %	30 %

NO_x reducerande åtgärder krävs då den höga kvävehalten annars ger alltför höga NO_x-emissioner [6]. De konstaterat högre NO_x-halterna, möjligtvis beroende på att rörflenet som lämnar bädden kommer att brinna i en syrerik miljö och alltså påverkas mindre av de förbränningstekniska åtgärder som eventuellt implementerats, blir svårt att åtgärda på annat sätt än genom installation av SNCR, vilket de flesta större anläggningar har.

Pulverförbränning

Stora krav ställs på hantering och lagring av rörflenspulver på grund av benägenhet till valvbildning. Densiteten för rörflenspulver är lägre än för t ex träpulver vilket kräver större volymer för lagring.

FB-förbränning

Askhalt och asksammansättning hos rörflen tillsammans med val av bäddmaterial och/eller sameldningsbränsle är avgörande för lyckad förbränning utan sintrings-problem.

Kvartssand och olivinsand klarar en inblandning av 30 % rörflen om trädbränsle används. Tillsats av kaolin gör att andelen rörflen kan ökas till ca 50 % utan sintrings-problem. Med masugnsslagg som bäddmaterial kan andelen rörflen ökas ytterligare.

Risken för sintring i fluidbäddpannor kan minskas genom att använda sand som inte innehåller kvarts, eller genom att blanda in torv eller annat svavelrikt bränsle i bränslemixen. Inblandningsgraden av rörflen bör inte heller överdrivas.

Rosteldning
Rörflenseldning i rostpannor för halm fungerar utan att några förändringar behöver utföras. Helbalseldning bör undvikas då det ger höga halter oförbrännt i askan [16].

Risken för genomblåsningar och associerade problem i rosterpannor kan reduceras genom att se till att andelen rörflen inte är för stor, att inmatningen är jämn, blandningen med huvudbränslet är god samt att lufttillförseln är noga anpassad till bränsleblandningen.

3.8.5 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på muntliga källor [5,13,18] men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också exempel på hur riskerna kan reduceras för att ge tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker
Rörflen hanteras både löst och i balar, och det vanligaste är att lagring sker i balform. Oavsett lagringssättet bör bränslet hållas torrt under lagringstiden. Lagras balarna utomhus angrips de snabbt av mögel. Fukthalten ligger vanligen kring 10-12 %, och bör vara lägre än 15 % vid förbränning.

Rörflen är ett dammigt bränsle, och hantering inomhus ställer krav på ventilation och utsug. Vid hantering i rivare som river upp balarna finns i Sverige krav på filter som kan ta hand om dammet. På grund av damning och brandrisk vid rivning vill många anläggningsägare inte att rivningen ska ske på anläggningen, utan att det ska skötas av bränsleleverantören innan leverans till anläggningen. Den slutliga hackningen till inmatningsstorlek sker däremot oftare vid anläggningen. Rörflensdammet kan innehålla mögelsporer som är ohälsosamma att inandas.

Lagring och hantering av rörflen innebär en viss brandrisk. Dels kan självantändning av fuktigt material ske, och dels finns en antändningsrisk om småsten i bränslet ger upphov till gnistor vid rivning av balarna. Detta undviks genom att använda lågvarviga rivare. Dessa sliter bara sönder balarna utan att hacka materialet.

Stapling av rörflensbalar innebär givetvis en arbetsmiljörisk, precis som all liknande hantering av andra bränslen.

Bulkdensiteten för hackad rörflen är låg, vilket kan innebära problem både i transportledet och i hanteringen på anläggningen om anläggningen inte är dimensionerad för detta. Exempelvis måste transportband dimensioneras efter vikten och inte volymen av bränslet, dvs. ett större transportband krävs i jämförelse med tätare

bränslen. Risk finns vid inblandning av rörflen i andra bränslen att utrustningen vid anläggningen inte klarar de större bränslevolymer som rörflen innebär.

Bottenaskan efter eldning av rörflen kan återföras som jordförbättring, medan så inte bör ske vad gäller flygaskan som innehåller en större andel tungmetaller. Hantering av aska och framförallt flygaska innebär en arbetsmiljörisk, både med tanke på tungmetallerna och att askan är starkt basisk.

Exempel på åtgärder
Vid manuell hantering av halm bör andningsmask eller filter användas för att undvika inandning av dammet från rörflenet.

Det är viktigt att hålla rörflenen så torr som möjligt, eftersom fuktigt bränsle kan självantända. Ur brandspridningssynpunkt är det klokt att dela upp bränslelagret i flera enheter, eller att köra breda gångar som avdelar lagret. Detta minskar givetvis inte brandrisken, men minskar risken för att branden sprids vid ev. antändning.

3.8.6 Referenser

1 Bioenergiportalen (http://www.bioenergiportalen.se)

2 Larsson, S., ”Modelling of the Potential for Energy Crop Utilisation in Northern Sweden”, Licentiate thesis, Sveriges Lantbruksuniversitet, Enheten för Biomassateknologi och kemi, Umeå (2003)

3 Finska jordbruks och skogsministeriets hemsida (2007)

4 S. Paulrud, C. Wahlberg, O. Arkelöv. Demonstrationsprogram för småskaliga stråbränslesystem. Förstudie Energimyndigheten.

5 Håkan Örberg, Sveriges lantbruksuniversitet, Positiva erfarenheter av hantering och förbränning av rörflen. Föredrag på Värmeforskdagarna 2010-01-27.

6 S. Xiong, T. Lötjönen, K. Knuuttttila. Energiproduktion från rörflen. Handbok för el-och värmeproduktion. 2008 Projekt nummer EIE/07/073/S12.567608 och STEM 30709-1

7 Susanne Paulrud, Kent Davidsson, Magnus A Holmgren, Henry Hedman, Rikard Öhman, Joel Leffler. Förutsättningar för användning av rörflensbriketter och hackad rörflen i mindre värmecentraler. SP-rapport 2010:60

8 S. Larsson, H. Örberg, G. Kalén, M. Thyrel. Rörflen som energigröda. BTK-rapport 2006:11. 2006

9 Jan Burvall, Tillverkning och proveldning av rörflenpulver- ett fullskaleförsök. SLU, Inst. För norrländsk jordbruksvetenskap Rapport 9:1993

10 Småskalig förbränning av rörflen - inventering och värdering av tillgänglig teknik Lennart Gustavsson, Susanne Paulrud. SP-rapport nr 2011:06

11 Nyström, O., Johansson, K., Steivall, P. Småskalig biobränslebaserad kraftvärme-förutsättningar för standardiserade lösningar med avseende på teknik och bränslen i ett systemperspektiv. Värmeforskrapport 715, 2001.

12 J. Todorovic, F. Zintl, H. Brodén. Metodutveckling för utprovning av nya bränslen-drifterfarenheter från en rostpanna. TPS rapport 07/02. 2007

13 Jan Burvall, Skellefteå Kraft, presentation på Värmeforskdagarna 2010-01-28

14 Jan Burvall, Provförbränning av energigräset rörflen vid två kommersiella halmeldade anläggningar i Danmark. Värmeforskrapport 440, 1992

15 B. Strömberg, Emissioner av CO, NMVOC och BTX från förbränning. TPS rapport TPS-03/15, 2003

16 Slutrapport "Biomass/Waste FBC with Inorganics Control (BIFIC)", EU project kontrakt no: ENK5-CT-2000-00335

17 S.Stridsberg, K.Segerud. Pulvereldning kol/rörflen/mald bränslekärna. Värmeforskrapport 566, 1996.

18 Susanne Paulrud, SP, Personlig kommunikation 2009-12-17

Läs mer om rörflen

M. Berg, M. Bubholz, M. Forsberg, Å. Myringer, O. Palm, M. Rönnbäck, C. Tullin. Förstudie- sammanställning och syntes av kunskap och erfarenheter om grödor från åker till energiproduktion. Värmeforskrapport 1009, 2007.

H. Örberg, G. Kalén, M. Thyrel, M. Finell, L-O. Andersson. Pelletering av rörflen. BTK-rapport 2006:12. 2006.

Odling och skörd av rörflen i Finland. 2003

Daniel Nilsson, Sven Bernesson Pelletering och brikettering av jordbruksråvaror, 2008

En sammanställning av litteratur om Rörflen finns på Bioenergiportalen.se

3.9 Hampa (industrihampa)

Hampa är en art av cannabis sativa och tillhör familjen Cannabaceae. Cannabis sativa betyder användbar (sativa) hampa (cannabis). Hampa används för tillverkning av mer än 25 000 olika produkter, där flertalet är överlägsna alternativ till mindre miljövänliga produkter.

Hampa är en högväxt ettårig planta som kan bli 2-6 m hög beroende på art och växtplats, se Figur 3.9.1

Industrihampa får numera odlas lagligt i många länder, däribland Sverige. Industrihampa innehåller mindre än 0,3 % THC (delta-9-tetrahydrocannabinol) som är den aktiva ingrediensen i marijuana. (Man har jämfört berusningseffekten av industrihampa med effekten man får av alkoholfri öl).

Figur 3.9.1 Hampa plantor/ Hemp plants

Fibrerna liksom hampfröna är de viktigaste produkterna från hampa. Hampfibrer kan ersätta bomull i många textilier. Hampfibrer är slitstarka och kläder som är gjorda av hampa sägs vara: ”Mjuka som flanell, 2-3 gånger slitstarkare än vanligt tyg och ser ut som linne.”

Det finns projekt som utvecklar hampa fibrer som ska kunna ersätta glasfiber i t.ex. bilar för att bl.a. öka möjligheten till återvinning.

Hampa som odlas för energiändamål är av en art som har mycket låg andel gröna blad och ger en mycket hög avkastning/ha. Odlingar i Närke och på Gotland har redovisat avkastningar på 20-25 ton ts/ha. Hampa behöver liten mängd gödningsmedel och förhållandevis liten mängd vatten.

Vinterskördad hampa förlorar mycket av de besvärliga elementen som kalium, klor och svavel. Bulkdensiteten hos hampa är låg, vilket medför utrymmeskrävande bränslehantering.

3.9.1 Lagar

Förbränningen av hampa regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Hampa är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Hampa berättigar till elcertifikat.

3.9.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.9.1 Analys hampa/ Analysis hemp

Prov	Exempel [BTK 2006:13 (b)]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	13,6		9,8	8,5	17,6	5
Aska (% torrt)	2,2		2,2	1,5	6,2	9
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	19,4		19,78	19,4	20,4	6
Hkal (leverans)	16,4		16,97	15,18	17,87	4
Heff (torrt askfritt)	18,09		18,47	18,09	19,04	6
Heff (leverans)	14,95		15,53	13,71	16,42	4
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	49,3		49,6	48,0	50,6	8
H (väte)	6,0		6,1	5,9	6,4	8
O (syre)	44,2		43,8	42,8	45,1	8
S (svavel)	0,06		0,06	0,04	0,09	8
N (kväve)	0,4		0,7	0,3	1,1	8
Cl (klor)	0,05		0,02	0,01	0,05	8
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	120	5455	8867	2133	38104	9
As (arsenik)	0,3	13	12	5	30	6
Ba (barium)	12	545	301	140	591	6
Ca (kalcium)	5 400	245455	223333	72581	260000	9
Cd (kadmium)	0,3	14	5	2	14	6
Co (kobolt)	0,4	17	11	7	17	6
Cr (krom)	2,9	133	87	57	132	6
Cu (koppar)	6,0	273	241	85	305	6
Fe (järn)	400	18182	18182	3600	30508	9
Hg (kvicksilver)	0,0	0	0	0	0	6
K (kalium)	3 100	140910	44667	30645	140910	9
Mg (magnesium)	410	18636	14091	2091	26250	9
Mn (mangan)	84	3818	2592	900	3818	6
Mo (molybden)	0,5	24	16	8	24	6
Na (natrium)	55	2500	3533	935	35625	9
Ni (nickel)	2,8	127	63	35	127	6
P (fosfor)	700	31818	20000	11613	49333	9
Pb (bly)	1,2	55	46	21	127	6
Sb (antimon)		0	0	0	0	6
Si (kisel)	2 500	113636	145625	50000	261781	8
Ti (titan)	17	773	720	500	1065	6
Tl (tallium)		0	0	0	0	6
V (vanadin)	0,7	30	33	19	61	6
Zn (zink)	22	1000	900	290	1227	6

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.9.2 Nyckeltal hampa. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers hemp. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**1,62**	**1,15**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,20**	0,09
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,63**	**1,51**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,03	0,12
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**20,03**	**16,1**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	**0,61**	0,17

Tabell 3.9.3 Svavel- och fosforkvoter för hampa. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for hemp. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	7,2	6,55
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	2,56	3,06
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,2	3,0
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,07	0,06

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.9.3 Driftserfarenheter

Förbränning av hampa samt halm och rörflen fluidiserad bädd har utförts för att undersöka risk för bäddagglomerering. Fyra olika bäddmaterial (olivin, kvarts, plagioklas och K-fältspat) användes i laboratorieskala. Testerna visar att agglomereringstemperatur för hampa var i området 830-870 ˚C [8].

3.9.4 Rekommendationer

Endast vinter/vårskördad hampa bör användas för att minska risker för saltsmältor och/eller påslag och korrosion. Sameldning med svavelrika bränslen som torv kan förbättra egenskaperna hos hampa.

3.9.5 Risker och åtgärder vid hantering av hampa

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar råkat ut för. Texten bygger på litteratur [2,3,4,5,6,7]. Nedan beskrivs också förslag på hur riskerna kan reduceras. Även åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker
Riskerna vid hantering av hampa liknar riskerna vid hantering av halm (kapitel 3.7.5) och rörflen (kapitel 3.8.5.). En viktig skillnad är dock att hampan kan växa sig mycket lång (över fyra meter) och därför innehåller långa sega fibrer som kan fastna och linda in sig vid skörd och bearbetning av bränslet.

Hur lagringen av hampa skall ske beror på hur den har skördats. Det finns exempel på att hampa rundbalas på samma sätt som halm eller rörflen. Det finns också bönder som hackar grödan på fältet med exakthack och sedan hanterar materialet i hackad form ända fram till en press för tillverkning av briketter. I ett småskaligt system utan möjlighet till torkning av materialet måste hampan lagras under tak, medan man i mer storskaliga system, där man har tillgång till torkutrustning, man eventuellt skulle kunna använda hackad hampa som lagrats utomhus i stora otäckta stackar.

Hampa kan antingen skördas på hösten eller på vintern/våren. Hampa som skördats på hösten innehåller mer fukt och behöver därför torkas om den ska användas till energiändamål. Den innehåller också mer aska, klor svavel och kalium än vinter/vårskördad hampa som har hunnit frystorka och urtvättas under vintern. Fukthalten för vårskördad hampa ligger normalt runt 10 %. Om hampan innehåller mycket kalium kan det leda till sintring i panna. En hög klorhalt kan ge upphov till korrosion i pannan.

Förädling av hampa för energiändamål befinner sig så gott som på experimentstadiet då det finns ett fåtal producenter i Sverige som tillverkar briketter av hampa på gårdsnivå. Hampans långa starka fiber kan orsaka stopp i brikettpressens matningssystem och vid pelletering.

Briketter eller pellets av hampa har en bra bulkdensitet och ett värmevärde som är högre än för halm.

Exempel på åtgärder

Hampa som balas kan förvaras utomhus om den är inplastad, annars bör den förvaras under tak för att undvika bränsleförsämring. Vid pelletering visar erfarenheter från SLU i Umeå att fiberdelen i hampan bör tas bort före pressningen för att undvika problem med inmatningen.

Hampa som används för energiändamål bör skördas på vintern/våren då det är en fördel att kalium och fosfor går tillbaka till jorden. Med minskad kaliumhalt minskar risken för sintring i pannan. Då även klorhalten går ned om hampan skördas på vintern/våren medför detta också att risken för korrosion i pannan minskar. Det vårskördade, extrahackade materialet är ofta torrt och lagringsdugligt direkt efter skörden. En viss inblandning av grönt material, speciellt om man väntar för länge med skörden på våren kan dock förekomma, vilket försämrar materialets torrhalt.

För att undvika risk för stopp i briketteringsmaskiner bör fibrerna inte vara längre än 20 mm och materialet bör heller inte innehålla mer än 18 procent vatten. Materialet kan därför även förarbetas med hjälp av rivare som skär sönder hampan i små delar innan den briketteras.

Försök att pelletera hampa har genomförts vid SLU i Umeå. Försöken visade att fiberdelen av hampan bör tas bort före pelletering, eftersom fibrerna kan ge problem i inmatningen till pressen. Skärvorna pressas sedan till pellets.

3.9.6 Länkar

http://www.hampekraft.se/
http://www.hampa.net/

3.9.7 Referenser

1 http://www.hampa.net/

2 Bioenergiportalen: http://bioenergiportalen.se/?p=2317&m=1299, nedladdad 2010-05-14

3 Forsberg, Maya; Sundberg, Martin & Westlin, Hugo.(2006) *Småskalig brikettering av hampa. Förstudie.* JTI-rapport Lantbruk & Industri 351.

4 Finell M., Xiong S., Olsson R. 2006. *Multifunktionell industrihampa för norra Sverige*. BTKrapport 2006:13. Enheten för Biomassateknologi och Kemi, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.

5 Nilsson, Daniel & Bernesson, Sven (2008). *Pelletering och brikettering av jordbruksråvaror – En systemstudie.* SLU-rapport, nr 001.

6 Sjöberg H. 2006. *Pelletsproduktion av åkerbränslen*. BTK-studentrapport 16. Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.

7 Michael Finell, föredrag Värmeforskdagarna 2010

8 Bubholz Monika, Forsberg Maya, Gunnarsson Carina, Rönnbäck Marie, Olsson Johanna. Syntes av Värmeforsks forskningsprogram "Grödor från åker till energi" Värmeforskrapport nr 1148, 2010

9 Thomas Erhardsson, Marcus Öhman, Sigrid de Geyter, Anna Öhrström Bäddagglomereringsrisk vid förbränning av odlade bränslen (hampa, rörflen, halm) i kommersiella bäddmaterial. Värmeforskrapport 998, 2006

Läs mer om hampa

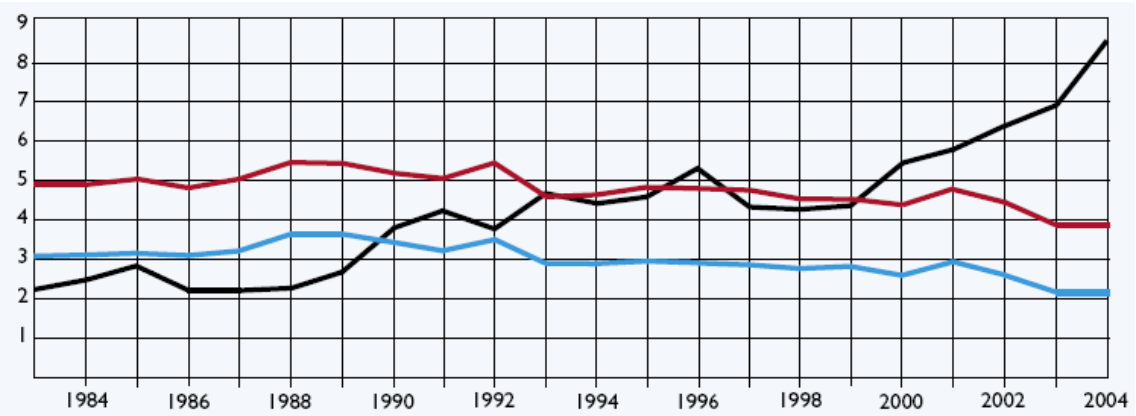
- Knutsson, Göran, Svensk hampodling, Fylgia, Stockholm, 1943
  En av tidsandan påkallad sammanställning av hampaodlingen och dess eventuella roll under efterkrigstidens Sverige.
- Van der Werf, Hayo, Crop physiology of fibre hemp (Cannabis sativa L.), Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 1994
  Det kanske mest refererade vetenskapliga verket om hampa i modern tid.

3.10 Spannmål

Spannmål som används för energiproduktion menas spannmålskärnan av vete, korn, rågvete och havre med skal men utan strå. Rågvete och vete är mycket lika. Havre har högre värmevärde per kg, mjuk lättantändlig kärna, högre askhalt, lägre densitet och ger mindre risk för sintring. Korn har egenskaper som mer liknar vete än havre.

I Sverige skördas varje år mellan 5 och 5,5 miljoner ton spannmål. Mellan 20 000 och 50 000 ton spannmål, främst havre, används varje år som bränsle i Sverige. De flesta pannor som matas med spannmål finns dock hos enskilda lantbrukare. Intresset för att använda spannmål till energi påverkas starkt av priset på spannmål.[1]

I praktiken motsvarar energiinnehållet i 3 kg spannmål 1 liter eldningsolja. För att det skall vara lönsamt att investera och sköta en särskild spannmålspanna bör prisskillnaden mellan 3 kg spannmål och 1 liter fullskattad eldningsolja vara minst 2,00 kr. Figur 3.10.1 visar prisutveckling i kr för havre och fullskattad eldningsolja, 1983-2004. [2]



Figur 3.10.1 Prisutveckling för havre och fullskattad eldningsolja. Svart är olja, röd är pris för 3 kg havre + 2 kr för investering och skötsel av panna. Blå är priset för 3 kg havre.

Antändningsegenskaper. Spannmål har hårt skal, saknar finandel och har vanligen högre fukthalt än pellets. Detta gör att spannmålen antänds för sent i många pelletsbrännare. Andra pelletsbrännare klarar havre, som är lättare att tända, men inte vete. Pannor som är avsedda för spannmålseldning kan vanligen även användas för pelletseldning [2].

Aska. Askhalten i spannmål är låg (1-3%). Askegenskaperna är den enskilt viktigaste faktorn i förbränningssammanhang. Den låga asksmältpunkten kan förorsaka problem med sintring, slaggbildning och påslag. Havre har betydligt högre asksmältpunkt än vete och korn.

Fukthalten är jämn, 12-15%, vilket påverkar lagringsegenskaper och hanterbarhet positivt.

Hanteringsegenskaperna för spannmål är mycket goda, gäller för transport, lagring och matning av spannmål.

En sammanställning av ett urval analysdata samt skrymdensiteter för olika spannmålssorter redovisas i Tabell 3.10.1.

Tabell 3.10.1 Analyser av karakteristiska parametrar hos skilda spannmålskvaliteter [3,4]. Analysis of characteristic parameters of different qualities of corn.

	Höstvete		Rågvete		Korn	Havre	
Värmevärde	**Kosack**	**Ritmo**	**Prego**	**Fidelio**	**Henni**	**Belinda**	**Petra**
Kalorimetriskt MJ/kg ts	18.72	18.64	18.50	18.47	18.72	19.35	19.04
Effektivt MJ/kg 15 % fukt	14.44	14.37	14.25	14.23	14.44	14.98	14.71
Askhalt (%)	1.9	1.9	2.0	2.0	2.5	3.0	2.95
K_2O (% av ts aska)	29.16	31.0	31.43	32.61	25.72	20.30	20.09
MgO (% av ts aska)	11.35	9.67	11.16	10.24	7.24	6.66	6.76
P_2O_5 (% av ts aska)	46.04	42.19	43.43	43.19	32.41	29.20	29.54
SiO_2 (% av ts aska)	1.07	1.79	0.61	0.67	17.14	34.19	35.81
Skrymdensitet kg/m³	390				340	250	

3.10.1 Lagar och förordningar

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Spannmål är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Spannmål berättigar till elcertifikat.

3.10.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.10.2 Analys vete/ Analysis wheat

Prov	Exempel [5]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	13,9		10,5	0	18	42
Aska (% torrt)	1,7		6	1,2	13,5	33
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)			81,3	76,5	87	33
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	18,11		19,3	16,6	21,7	87
Hkal (leverans)	15,33					
Heff (torrt askfritt)	16,72		17,9	15,2	20,5	57
Heff (leverans)	13,81					
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	45,17		49,1	44,5	52,6	64
H (väte)	6,41		5,93	3,2	6,42	64
O (syre)	46,30		43,9	39,4	50,1	64
S (svavel)	0,40		0,15	0	0,46	59
N (kväve)	1,73		0,7	0,25	2,08	68
Cl (klor)			0,459	0,021	2,316	56
Askanalys						
	mg/kg ts	*mg/kg aska*	*mg/kg aska*			
Al (aluminium)	23	1058				
As (arsenik)	0,9	41				
Ba (barium)	7,7	349				
Ca (kalcium)	541	24585	29089	24585	33594	2
Cd (kadmium)						
Co (kobolt)	0,3	15				
Cr (krom)	2,1	97				
Cu (koppar)	5,8	263				
Fe (järn)	69	3147				
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	4 840	219989	152344	116596	219989	3
Mg (magnesium)	1 584	72007		14844	72007	2
Mn (mangan)	32	1471				
Mo (molybden)	1,0	47				
Na (natrium)	7,3	334	2979	334	78125	3
Ni (nickel)	0,6	29				
P (fosfor)	3 840	174553		6250	174553	2
Pb (bly)	0,6	25				
Sb (antimon)						
Si (kisel)	381	17296				
Ti (titan)	1,3	60				
Tl (tallium)		<5				
V (vanadin)	34	1527				
Zn (zink)						

Asksmältförlopp:
Mjukningstemperatur: 685°C
Halva ursprungshöjden: 777°C
Helt utsmält: 835°C

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.10.3 Nyckeltal vete. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers wheat. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,71	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,44**	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	2,60	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,003	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**15,7**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	6,11	

Tabell 3.10.4 Svavel- och fosforkvoter för vete. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal). Sulphur and phosphorus numbers for wheat. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0,08	0,93
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0,51	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre		0,33
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,04	

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.10.3 Driftserfarenheter

Olika spannmålssorter skiljer sig åt, speciellt stora är skillnaderna mellan havre och vete [3] Havre har en mjukare kärna och är lättare att tända än andra spannmål. [6]. Havre har också betydligt högre kiselhalter och mindre innehåll av kalcium och fosfor. Detta kan vara en förklaring till att havre har en högre asksmältpunkt än övriga spannmål. Havre har också ett högre värmevärde [3].

Pulvereldning

Försök utfördes under 2 dygn i Västhamnsverket i Helsingborg i en 185 MW panna, som normalt eldas med kolpulver. Bränslekärnan av korn maldes i en Bühler-MIAG hammarkvarn, med 2,5 mm såll. Inmatningen till pannan skedde med två blåsmaskiner via fyra ejektorer och under separata blåsledningar till respektive kolpulverbrännare. Bränslekärnan har matats med 3,5 t/h, motsvarande 20 energi-%. N_2O och NO_x visar ingen tendens till ökning, inte heller restkol i flygaskan. Inga andra rökgasanalyser visar någon påverkan av inblandningen. Flygaskan är inte avvikande mot kolaskan. Genom att malningen varit något ojämn fann man upp till 4 % hela korn i pulvret. Detta gav upphov till "flytaska", vilket gav besvär med ansamling av aska i bottenkonen på pannan. Slutsatserna är att förbränningen vid måttlig inblandning, 15 energi-%, kan ske på normalt sätt, men att malningen/pulveregenskaperna måste förbättras. [7]

CFB

Spannmål kan eldas vid en bäddtemperatur på 850-900°C utan stödbränsle utan sintringsproblem under förutsättning att kalk tillförs under förbränningen. Försöks-eldning visar att efter 6 dygn i en 16 MW CFB kunde inga tecken på agglomerering påvisas. Kaolin antas ha samma effekt utan att öka emissioner av NO_x. [5]

Det effektiva värmevärdet för spannmål (14,4 MJ/kg) är nästan dubbelt så högt jämfört med det spån (8 MJ/kg) som var referensbränsle i CFB och ungefär hälften jämfört med kolets värmevärde.

Panntyp: 16 MW CFB med hetvattenpanna (Götaverken)
Bränslematning: två bränslesilos med ett gemensamt stup, varifrån bränslet matas via cellmatare till reaktorn
Kalksten: tillförs med en Tomal doseringsskruv via bränslestupet

Anläggningen är försedd med ekonomiser och luftförvärmare (luften förvärms till 70°C). Primärluft tillförs i botten. Sekundärluft tillförs högre upp. Flygaska avskiljs i en multicyklon följd av en elektroskrubber (Bacho).

Som referensbränsle i försöken användes träspån med en fukthalt på 50 %. Totalt förbrändes 630 ton spannmål under 6 dagars försök.

Tabell 3.10.5 Försöksmatris.
Experimental matrix.

Bränsle	Kalk (kg/h)	Effekt MW
Spån	0	11-12
Spån	105	11-12
Spån/spannmål	105	13-14
Spannmål	175	13-15

Slutsatser

Försöken visar att kontinuerlig drift vid bäddtemperatur på 850-900°C utan sintrings-problem kan genomföras om kalksten tillsätts.

Emissioner

CO-emissionerna var i medeltal 140 ppm.
NO_x-halterna var som medelvärde ca 250 ppm.
Analyser visade på lustgashalter i intervallet 10-30 ppm.

Roster

Ca 43 % vete blandades in i skogsflis innan det eldades på uppdrag från Lantmännen i en 80 MW rosterpanna normalt använd för flis med 25-50% fukthalt. Inga problem uppstod. Uppmätta emissioner var NO_x 85 mg/m^{3}n, SO_2 180 mg/m^{3}n, CO 450 ppm. NO_x-halten hade reducerats med SNCR. [8]

Erfarenheter från eldning av vete tillsammans med kol i en rostpanna visar att förblandning av kol och spannmål innan förbränning bör undvikas då man får en sämre förbränning om uppehållstiden i bränslesilon blir lång (kortare tid än 2 timmar önskvärt). Längre tider kan ge problem med damning från kolet som sannolikt beror på att spannmålet absorberar kolets ytfukt. Problemen kan minskas om man i stället eldar kol och spannmål med s.k. sandwichteknik, där spannmålet matas in under kolet.

Försöken visar att en inblandning av upp till 50 % (av energiandelen) av vete kan tillåtas utan att man förlorar effekt. Utbränningen av slagg och aska är lika hög för spannmål-kol som för enbart koleldning. SO_2 i rökgaserna sjunker när spannmål ersätter kol vid rosteldning då svavelinnehållet i spannmål är klart lägre än i kol. Inblandningen av spannmål ökade NO_x-emissionerna från 106 till 186 mg/MJ. [9]

Villapanna

Löfgren och Vindestål [4] beskriver eldning av vete, korn och havre i en villapanna. Förloppet är relativt likartat oavsett spannmålssort. Transportegenskaperna är goda för samtliga och inga problem med hängningar i bränslematningen noterades. Askmängderna är dock stora och det rekommenderas att pannan kontrolleras varje dag för att inte askmängden ska bli för stor. Vete har högsta bulkvikten och kärnan är väldigt hård och det krävs en hög temperatur för att kärnan ska spricka upp och förbrännas. Korn har något lägre bulkdensitet än vete men kräver också en hög temperatur för att kärnan ska spricka upp. Havre har den lägsta bulkdensiteten av de testade sädesslagen. Kärnan är mjukare och är relativt lätt att antända och förbränna. Havre upplevs som det sädesslag som är enklast att förbränna. Finmald kalksten tillsätts förbränningen tillsammans med samtliga sorter för att minska riskerna för sintring och påslag.

3.10.4 Rekommendationer

För jordbrukare kan det vara lönsamt att installera en panna för spannmålseldning. Därvid kan den sämst betalda spannmålen som odlas på ordinarie areal eldas. Havre är ett lämpligare bränsle än vete och korn, men pannor finns tillgängliga som klarar alla typer av sädesslag. Vanliga pelletspannor kan normalt inte användas för spannmålseldning. Ibland bör 1-1,5 % kalkstensmjöl eller osläckt kalt tillsättas spannmålen. Den relativt höga askhalten (2-4,5 % med kalktillsats) och risken för asksintring gör att pannan fordrar daglig tillsyn och eldstaden regelbunden rengöring.

Spannmål har utan större komplikationer blandats med ordinarie bränsle, som kan vara flis eller stenkol, till större rosterpannor. Emissionerna av NO_x kan dock i vissa fall fördubblas, och kol och spannmål bör matas in med separata system. Om spannmål skall eldas i en pulverpanna, bör man se till att skaffa en kvarn som inte släpper förbi okrossade korn. Eldning av spannmål i pulverbrännare tycks kunna ske utan förhöjda NO_x-halter.

3.10.5 Risker och åtgärder vid hantering av spannmål

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Erfarenheter av risker kring förbränning av spannmål

Då vete, råg och korn har en relativt låg asksmältpunkt krävs speciell teknik för att uppnå effektiv förbränning och samtidigt undvika risk för att askan smälter vilket leder till sintring [3]

Spannmål innehåller mycket klor. Problem med korrosion vid spannmålseldning har främst uppmärksammats som lågtemperaturkorrosion i form av punktfrätning, vilket är typiskt för klorangrepp. Vid rökgastemperaturer under 150°C kan syror kondensera i skorstenen och orsaka korrosion. En rekommendation är därför att undvika att köra pannan under sommaren och på låg last under vintern [10]. Under senare tid har dock korrosionsbeständiga skorstenar för spannmålseldning blivit tillgängliga på marknaden. [11,12]
Korrosionsskador såsom eldstadskorrosion eller högtemperaturkorrosion är inte rapporterade i litteraturen, men om spannmål eldas i större skala vid större anläggningar bör det uppmärksammas den höga halten av klor och alkali som kan ge upphov till korrosion. Vid punktvis korrosion i panna kan det finnas risk för läckage och att brand därmed uppstår.

Förbränningstekniska åtgärder

Bildandet av beläggningar och korrosiva ämnen i rökgaserna kan minskas genom att öka uppbindningen av kritiska ämnen i bottenaskan. Man kan också möjligen använda spannmål som är odlad utan gödsel som innehåller kaliumklorid. Användning av tillsatser för minskning av partikel och beläggningsbildning [13]. Sameldning mellan kol och spannmål kan ge en god utbränning utan sintring och påslag. Problemen med sintring kan minskas om man väljer en panna med rörligt roster. Då förs den utbrända askan automatiskt bort från den heta förbränningszonen innan den hinner smälta. I Danmark är det vanligt att blanda 1-2 procent osläckt kalk i bränslet för att minska sintringen [1].

Exempel på risker vid hantering

Risker förknippade med lagring av spannmål överensstämmer med dem som gäller för andra bränslen som hanteras i bulk. Spannmål torkas normalt till 14 % fukthalt och får därmed betecknas som ett torrt bränsle.

Hanteringen av spannmål kan liknas vid hantering av pellets, men spannmål är ett mer homogent och kompakt bränsle vilket medför mindre risk för att bränslet ska fastna i tranportsystem såsom frammatningsskruvar och ledningar. Brandriskerna är också tämligen små då bränslet inte antänds särskilt lätt.

Bränslekvaliteten skiftar beroende på sädesslag. Havre har högst asksmältpunkt och ett bättre värmevärde än övriga spannmålssorter.

Förbränning av spannmål ger upphov till mycket aska (upp till 10 gånger så mycket som askhalten i rent trä). Vid eldning av spannmål med lägre asksmältpunkt föreligger risk för sintring.

Exempel på åtgärder

Lagring av spannmål bör, liksom andra torra bränslen, lagras under tak, helst i slutna bränslelager eller silos för att förhindra att bränslet tar upp fukt. Det kan också finnas behov att skydda spannmålen från skadedjur.

Då spannmålssorterna skiljer sig åt i asksmältpunkt är det viktigt att hänsyn tas till blandning eller sort för att undvika sintring i pannan.

Askutrymmet bör vara väl tilltaget och en automatisk utmatning underlättar hanteringen av askan [6]. För att undvika korrosion vid våt askutmatning bör utrustningen vara gjord i rostfritt stål. Korrosionsproblemen kan också förebyggas med tillsats av kalk.

3.10.6 Referenser

1 Bioenergiportalen sökord spannmål

2 Larsson, M. Variationer av klor, svavel och aska i havrekärna- odlingsfaktorernas inverkan på havrens bränsleegenskaper. Examensarbete 148, Inst. För Markvetenskap (2007)

3 Hadders, Gunnar, Arshadi Mehrad, Nilsson Calle, Burvall Jan, "Bränsleegenskaper hos spannmålskärna. Betydelsen av jordart, sädesslag och sort" JTI-rapport 289. Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala (2001)

4 Löfgren Bengt Erik, Windestål Benny, "Elda spannmål i Baxi Multiheat 2,5" Rapport 01-02. Äfab Lidköping (2001)

5 *Spannmålsförbränning i en cirkulerande fluidiserad bädd.* Rudling Lars, Värmeforskrapport 415, 1991

6 Rönnbäck, Marie & Arkelöv, Olof (2006) *Tekniska och miljömässiga problem vid eldning av spannmål – en förstudie.* SP-rapport 2006:19.

7 *Pulvereldning kol/rörflen/mald bränslekärna.* Stridsberg Sven, Segerud Karin, Värmeforskrapport 566, 1996

8 Jansson Anders, Borås Energi AB Ryaverket Personlig kommunikation (2004)

9 *Spannmålsförbränning på wanderrost.* Rudling Lars, Värmeforskrapport 414, 1991

10 "Värm gården med spannmål" Lantbrukarnas Riksförbund. (2004)

11 Johnson Ulf, "Nytt skorstensrör löser problem vid effektiv spannmålseldning" Bioenergi nr 2 (2004)

12 Johansson Björn, "Skorsten lämplig för spannmålseldning" Bioenergi nr 2 (2004)

13 Björnbom, Emilia; Zanzi, Rolando; Gustavsson, Sven-Erik; Ruuska, Raimo; Gustafsson, Per; Boström, Dan; Boman, Christoffer; Grimm, Alejandro; Lindström, Erica; Öhman, Marcus; Björkman, Björn, (2007). *Åtgärder mot korrosion och beläggningsbildning vid spannmålseldning*

3.11 Spannmålsavrens

Spannmålsavrens är ett avfall från livsmedelsindustrin och klassas som biomassa. Avrens har använts som bränsle i ett antal anläggningar (Jönköping, Jordbro, Ljusnarberg, Hällefors, Laxå). Spannmålsavrens ingår i det ordinarie sortimentet hos flera bränsleleverantörer (Brikettenergi, Svenska Lantmännen). Vid rensning av havre till gryn rensas kärnor som är mindre än 2 mm bort och bildar en frånrensfraktion. Mängderna kan bli upp till 15 %. [1]

Typiska egenskaper för avrens anges vara [2]:

- Luktar foder i hela anläggningen
- Hög finandel

Förbränning ger:

- Hög NO_x
- Lågt CO
- Högre SO_2 än för ved
- Intensiv förbränning

För pelletseldning gäller även:

- Hög densitet
- Dammar nästa ingenting
- Lättmalet
- Tendens att bilda sammansatta askklumpar vid högre last

3.11.1 Lagar

Förbränningen av spannmålsavrens regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Spannmålsavrens är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Spannmålsavrens är berättigat till elcertifikat

3.11.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.11.1 Analys spannmålsavrens/Analysis crop residues

Prov	Exempel Spannmålsavrens [3]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	12		11,9	7,7	13,1	9
Aska (% torrt)	9,8		7,35	4,9	10,4	10
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	74,3		74,3	74,3	74,3	1
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	19,35		20	19,35	23,48	4
Hkal (leverans)	15,36		16,42	15,36	17,03	3
Heff (torrt askfritt)	17,96		18,57	17,96	21,94	4
Heff (leverans)	13,96		14,94	13,96	15,68	3
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	48,1		48,8	47,8	53,58	4
H (väte)	6,8		6,75	6,4	7,36	4
O (syre)	43,2		42,75	32,87	43,4	4
S (svavel)	0,23		0,19	0,17	0,85	9
N (kväve)	1,88		1,84	1,5	5,34	4
Cl (klor)	0,18		0,11	0,06	34	9
Askanalys						
	mg/kg ts	*mg/kg aska*	*(mg/kg aska)*			
Al (aluminium)	519	5293	7409	4516	7764	3
As (arsenik)	0,0	0,13	1,565	0,13	3	2
Ba (barium)	18	186	186	151	201	3
Ca (kalcium)	4 097	41810	38710	37917	42167	3
Cd (kadmium)	0,0	0,	0,2	0,042	0,8	3
Co (kobolt)	0,0	0,11	1,9	0,11	2	3
Cr (krom)	3,8	38,8	30	23	38,8	3
Cu (koppar)	0,5	5,33	66		85	3
Fe (järn)	829	8463	7542	6022	8463	3
Hg (kvicksilver)	0,0	<0,01				
K (kalium)	10 544	107589	114167	102938	138710	3
Mg (magnesium)	1 749	17850	17850	17204	21944	3
Mn (mangan)	0,0	0,39	871	379	935	3
Mo (molybden)	0,0	<6	61	14	108	2
Na (natrium)	814	8309	4409	3472	8309	3
Ni (nickel)	0,1	0,69	7	0,69	35	3
P (fosfor)	3 242	33082	33082	31183	47500	3
Pb (bly)	0,1	0,73	7	0,73	13	3
Sb (antimon)						
Si (kisel)	27 440	279995	275000	216129	279995	3
Ti (titan)	0,0	0,40	420	420	420	1
Tl (tallium)						
V (vanadin)	0,9	8,71	9,255	8,71	9,8	2
Zn (zink)	4,8	49	527	49	613	3

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.11.2 Nyckeltal spannmålsavrens. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers crop residues. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,31	0,30
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,44**	**0,45**
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,60**	**0,65**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,12	0,06
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**36,3**	**35,7**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	0,20	**0,21**

Tabell 3.11.3 Svavel- och fosforkvoter för spannmålsavrens. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for crop residues. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	1,56	1,20
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0,45	0,40
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,31	1,73
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,20	0,19

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att*

effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.

3.11.3 Driftserfarenheter

Vattenfall, Drefviken

Pannan är en pulvereldad Kvaernerpanna med fyra takmonterade brännare modell Petro. Lastområdet är reglerbart från 15 till 80 MW.

Spannmålsavrens har använts under tre säsonger vid låglast. Man använder en mix av träpulver och avrens. Maximal inblandning av avrens är 50 %. Pannan kan köras på maximalt halv last med blandningen. Vid högre laster börjar det bildas sinterklumpar som ramlar ner och ger problem med askutmatningen, när pannan sjunker i temperatur. Blandning av trä och avrens behövs för att inte NO_x emissionerna ska bli för höga. Försök med mycket låg inblandning (2-3%) vid hög last resulterade i kraftig sintring. Askhalten i spannmålsavrens varierar kraftigt mellan olika leveranser, (5-12%).

Tillsats av svavel fungerar inte för CO-reduktion med avrens som bränsle. Om man tittar in i eldstaden ser förbränningen ut som när det är mycket höga CO-halter vid förbränning av träpulver, men ut från anläggningen är det mycket låga emissioner av CO. Det är inte klarlagt vad som gör att inte svaveltillsatsen fungerar för CO-reduktion vid förbränning av avrens. Det kan bero på svavelinnehållet i bränslet eller på askhalt/asksammansättningen [2].

En stort upplagd undersökning av malning av pellets och förbränning av det malda i en laboratorieugn genomfördes vid TPS Termiska Processer. Pellets av avrens krävde 8 % lägre kvarneffekt än pellets av barrträ för samma flöde. Pulver från avrens flöt något bättre än träpulver och hade en betydligt större densitet.

Förbränningsprov genomfördes i en falltubsugn Ø250 med 3 s uppehållstid och maxeffekt 20 kW. Efter 3 s uppehållstid fick gasen passera en 910CrMo-ring med en temperatur på 500-550°C på vilken påslag vägdes. Vid förbränning av spannmålsavrens bildades porösa klumpar av aska som ramlade ned på bottnen av ugnen. Tabell 3.11. ger en del ytterligare förbränningsegenskaper. CO-halten blev hög vid eldning av spannmålsavrens. Försöken visade att CO-emissionen av starkt beroende av gasens uppehållstid vid hög temperatur. Förbränningen av blandningen 20/80 har lägre emission än vad förbränning av trä och avrens var för sig skulle ge. NO_x-emissionen är betydligt högre vid förbränning av avrens, som ju har en betydligt högre kvävehalt. Förbränning av blandningen av trä och avrens ger samma mängd NO_x som förbränning av trä och avrens var för sig skulle ge. Mängden påslag blir fyra gånger större vid eldning av avrens, medan andelen av askan som bildar påslag endast är en fjärdedel. Förbränning av blandningen av trä och avrens ger samma mängd påslag som förbränning av trä och avrens var för sig skulle ge. [3]

En 8 MW rostpanna från KMW Energi eldades med en 1:1-blandning av spannmålsavrens från Svea Lantmän och trädbränsle med 50 % fukthalt hos Norrtälje Energi. Gripskopan för bränslehanteringen fick tätas för att avrenset inte skulle flyta ut. Mycket

kraftiga beläggningar bildades på ugnsväggar och i gashals och störde driften. Norrtälje Energi planerar inte att elda avrens i framtiden. [4]

Tabell 3.11.4 Emissioner och påslag vid förbränning av spannmålsavrens och trä [2]./ Emissions and deposits at combustion of corn residues and wood.

	avrens	20 % avrens 80 % trä	trä
CO, ppm	3700	400	200
NOx ppm	510	230	150
Påslag mg/h	105	45	25
Påslag, mg/kg aska	180		820

Föreningar med kalium (och natrium) har normalt låg smälttemperatur, speciellt i förening med klor vilket gör både halm och spannmålsavrens till riskbränslen som innehåller relativt mycket av båda dessa komponenter [3]. Det tycks dock finnas stora skillnader mellan olika typer av avrens avseende kemisk sammansättning [5].

Generellt sett innebär förbränning av agrara biomassebränslen en utmaning eftersom dess kemiska sammansättning ofta skapar problem med asksintring och frätande syrautsläpp, vilka sliter på panna och skorsten.

Askhalten är relativt hög (5-10 %), men askan är ren och kan återföras till åkrarna för mineralbalans.[6]

3.11.4 Rekommendationer

Pellets av spannmålsavrens kan malas och eldas i pulverpannor. Avrens kan ge ca 200 mg/MJ NO_x före SNCR, dvs. 3-4 gånger mer än eldning av träpellets och en SO_2-emission på 25 mg/MJ. Då pannägaren måste betala för emissionerna, är det viktigt att kostnaderna för dessa tas med i lönsamhetskalkylen. Emissionen i mg/MJ förbrännings-värme i avrens blir lika stora om man eldar pellets av ren avrens eller av blandningar av avrens och trä. Mängden påslag som bildas på kylda ytor i mg/MJ avrens tycks även den vara oberoende av halten avrens i pellets av blandningar av trä och avrens. Halten av inblandad avrens i bränslet blir då en funktion av hur täta serviceintervall man kan acceptera.

Erfarenheterna av eldning av avrens på rost är begränsade, men tyder på att bildningen av beläggningar kan vara avskräckande snabb. Sameldning av avrens och energiskog kan i detta sammanhang möjligen ha en positiv samspelseffekt, där svavlet i avrenset ökar det ofördelaktigt låga förhållandet mellan svavel och klor i Salix, och aluminium-halten i Salix ökar det ofördelaktigt låga förhållandet mellan aluminium och kisel i avrens.

3.11.5 Risker och åtgärder vid hantering av spannmålsavrens

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar råkat ut för. Nedan beskrivs också förslag på hur riskerna kan reduceras och är tänkta att användas för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Förbränningstekniska åtgärder

Bildandet av beläggningar och korrosiva ämnen i rökgaserna kan minskas genom att öka uppbindningen av kritiska ämnen i bottenaskan. Tillsatser kan användas för minskning av partikel och beläggningsbildning [7].

I projektet BIOAGO LIFE06 ENV/S/000517 har det bland annat satsats på forskning och utveckling av olika pelletsrecept för att få fram bättre förbränningsegenskaper och lägre svaveloxidutsläpp. Bäst effekt uppnåddes när specifika mängder av ler- och kalkbaserade tillsatser inklusive en industriell restprodukt användes i recepten [8]

Rosterpannor som förflyttar bränslet genom flera förbränningszoner och har kylelement gör att bränslet och askan kan hållas vid en temperatur som är tillräckligt låg för att undvika att askan smälter, men ändå få en så fullständig förbränning som möjligt [8].

Exempel på risker vid hantering

Avrens består av halmrester, skal, agnar och sekunda fröer och är biprodukter inom utsädesproduktion, spannmålsproduktion och annan verksamhet inom jordbrukssektorn. [8]. I bränslet kan också förekomma andra partiklar såsom jord eller betong om bränslet förvaras i betongsilos [6]. Om avrens inte pelleteras utan används i en oförädlad form är det ett inhomogent bränsle som dammar mycket. Därmed kan förekomma risker med damning och hälsorisker vid inandning av finkorniga partiklar i lungorna. Även pellets innehåller finfraktioner som dammar, till exempel vid tippning och i transportkedjan till pannan, men inte i lika hög utsträckning som oförädlat bränsle.

Vid längre tids lagring finns risk för att bränslets kvalitet försämras genom mögeltillväxt och genom biologisk aktivitet. Mögeltillväxten beror på materialets fukthalt och
lagringsbetingelser. Vid mikrobiell aktivitet utvecklas värme som i vissa fall kan leda till självantändning.

Avrensets inhomogena innehåll medför att densiteten kan variera kraftigt vilket kan försvåra inmatning till pannan. [8]. Det kan finnas risk för tillbakabrand vid inmatning till pannan [6].

Exempel på åtgärder vid hantering

Man bör i möjligaste mån undvika manuell hantering av detta dammiga bränsle, och därför bör transporter ske övertäckta och bränslet bör helst hanteras i slutna system. Vid haverier och revision bör munskydd användas för att undvika att mycket finkorniga partiklar tränger djupt ner i lungorna. Vid transport och för kortare lagring använder som exempel Lantmännen Agrovärme i Västergötland speciella containrar, så kallade

Göran Stadig-containrar. Dessa containrar har en inneliggande hydraulskruv som gör att bränslet kan matas från containern direkt till en horisontell skruv i ett slutet internt transportsystem från lager till panna. Därmed undviks många risker förenade med bränslets flyktighet och dammande [6].

För att undvika risker med damning (och eventuellt dammexplosion) bör den interna tranporten av bränslet ske i låg hastighet vilket gör att bränslet inte virvlar upp så lätt och minskar även risken för gnistbildningar. Utsug av damm är också en viktig åtgärd både vid lossning och vid lagring.

Risker för mögeltillväxt och glödbrand i förvaringssilos kan minskas genom att bränslet har en hög omsättning. Hos Lantmännen Agrovärme har de inte sett några problem med mögeltillväxt eller självantändning, vilket säkert kan förklaras av att de har väldigt korta lagringstider [6].

Sprinklersystem med gnistdetektorer kan installeras för att åtgärda risk med tillbakabrand från pannan.

3.11.6 Referenser

1 Westlin, H.,Lundin,G., Rönnbäck, M.,Österberg, S., Johansson,M., Förbränning av otorkad havre och havrefrånrens. JTI-rapport Lantbruk&Industri nr 352,

2 Jan Baldefors. Vattenfall Värme. Drefviken Personlig kommunikation (2004)

3 Fredriksson, Christian; Padban, Nader & Zintl, Frank (2004). *Breddning av bränslebasen för pellets och pulverbrännare.* Svensk Fjärrvärme rapport TPS 2004:14.

4 Christer Toftgård Norrtälje Energi AB Personlig kommunikation (2004)

5 Nilsson, Daniel & Bernesson, Sven (2008). *Pelletering och brikettering av jordbruksråvaror – en systemstudie.* SLU Rapport 001, Uppsala 2008.

6 Sven-Göran Green, Lantmännen Agrovärme AB, telefonintervju 2010-05-14.

7 Björnbom, Emilia; Zanzi, Rolando; Gustavsson, Sven-Erik; Ruuska, Raimo; Gustafsson, Per; Boström, Dan; Boman, Christoffer; Grimm, Alejandro; Lindström, Erica; Öhman, Marcus; Björkman, Björn, (2007?). *Åtgärder mot korrosion och beläggningsbildning vid spannmålseldning.*

8 Bernhoff, Sven-Olof & Andersson, David. *Projekt BIOAGRO LIFE06 ENV/S/000517 Lekmannarapport 2009.*

3.12 Olivavfall

Olivkärnor är ett avfallsmaterial från tillverkning av olivolja eller av urkärnade oliver som livsmedel. Olivkärnor används idag som bränsle tillsammans med annat olivavfall. Olivkärnor/avfall används krossat eller malt. Oliver är världens mest odlade frukt.

Askegenskaper
Den låga smälttemperaturen för askan kan orsaka driftproblem. Olivkärnor innehåller en betydande halt Si. Förhållandet mellan Al och Si verkar gynnsamt, vilket skulle kunna antyda att kiselandelen i olivkärnorna finns som aluminosilikat. Olivkärnor innehåller betydande mängder kalium och kalcium samt även höga halter natrium. Detta är typiskt för växtmaterial. Vissa olivbränslen innehåller exceptionellt höga natriumhalter som kan hänga samman med förädlingsprocessen (ev. salttillsats). Även järnhalten är hög, vilket kanske förklaras av den mekaniska kontakten med urkärningsmaskiner som sannolikt är gjorda av stål. Olivkärnor innehåller svavel och dessutom betydande mängder klor. Tillsammans med den goda tillgången till alkali innebär detta en avsevärd risk för påslagsbildning.

3.12.1 Lagar

Förbränningen av olivavfall regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Olivavfall är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Olivavfall berättigar till elcertifikat.

3.12.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.12.1 Analys olivavfall/ Analysis olive residues

Prov	Exempel [3]	Median	Spann		Antal
			Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)					
Fukt	20,8	13,9	6,4	20,8	7
Aska (% torrt)	8,7	8,5	0,8	16,2	7
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	78,6	78,5	74,1	81,3	6
Värmevärde (MJ/kg)					
Hkal (torrt askfritt)	21,47	20,725	20,14	21,47	4
Hkal (leverans)	15,53	16,14	15,53	18,09	4
Heff (torrt askfritt)	20,14	19,365	18,84	20,14	4
Heff (leverans)	14,06	14,66	14,06	16,62	4
Elementaranalys (% torrt askfritt)					
C (kol)	53,67	51,7	47,3	58,4	7
H (väte)	6,13	6,2	5,95	7,8	7
O (syre)	38,25	41,2	33	44,3	7
S (svavel)	0,12	0,08	0,02	0,2	7
N (kväve)	1,75	1,6	0,17	1,9	7
Cl (klor)	0,08	0,15	0,02	0,37	7
Askanalys					
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***		
Al (aluminium)	1 249	14356	14356	10993	24771	5
As (arsenik)	0,3	3	3,0	1,9	17	3
Ba (barium)	9,0	103	186	103	328	4
Ca (kalcium)	11 935	137188	142939	119266	191181	5
Cd (kadmium)	0,0	< 0,1	0,2	0,0	0,3	2
Co (kobolt)	0,7	8	3,8	3,2	8,0	3
Cr (krom)	9,0	104	101	59	104	3
Cu (koppar)	22	256	256	125	1250	3
Fe (järn)	1 350	15516	15516	11366	21101	5
Hg (kvicksilver)	0,0	< 0,1	0,0	0,0	0,0	0
K (kalium)	8 717	100190	211111	82569	276471	7
Mg (magnesium)	965	11091	18846	9850	46789	5
Mn (mangan)	32	363	431	3123	678	5
Mo (molybden)	0,1	1	1,0	1,0	1,0	1
Na (natrium)	352	4042	8464	4042	63057	7
Ni (nickel)	5,5	63	49	23	63	3
P (fosfor)	759	8728	8728	7128	12844	5
Pb (bly)	1,1	13	28	13	66	3
Sb (antimon)		-	0,0	0,0	0,0	0
Si (kisel)	19 587	225136	128440	31729	225136	5
Ti (titan)	78	896	1000	654	1499	4
Tl (tallium)		-	0,0	0,0	0,0	0
V (vanadin)	2,3	26	23	5,1	26	3
Zn (zink)	44	508	1228	508	1900	3

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.12.2 Nyckeltal olivavfall. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden./
Key numbers olive residues. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,65	**1,45**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,24	0,38
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,41**	0,19
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,06	0,06
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**15,1**	**8,60**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	**0,23**	**0,84**

Tabell 3.12.3 Svavel- och fosforkvoter för olivavfall. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal)./
Sulphur and phosphorus numbers for olive residues. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	7,96	12,15
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	4,01	4,98
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,5	0,53
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,03	0,02

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att*

effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.

3.12.3 Driftserfarenheter

Många tester med eldning av olivavfall som enskilt bränsle eller vid sameldning i form av kampanjer under någon eller några dagar finns rapporterat i [2]. Erfarenheterna varierar mellan ”problemfritt” bränsle till stora problem med bakbrand, påslag och instabila driftförhållanden

Storskaliga prov, bland annat i Hässelby, visade på att det finns vissa luktproblem förknippade med olivkärnehanteringen.

Fluidbädd
Förbränning av olivkärnor med spån som huvudbränsle har testats i en 120 MW CFB. Förbränning vid låglast utan additivtillsats resulterade i förhöjda emissioner av CO, men gav förövrigt inga problem med påslag. [3]

PFBC
På Värtanverket har olivkärnekross eldats kontinuerligt sedan början av 90-talet. Idag används fem energiprocent olivkärnekross i kol. På Värtanverket används ett finare olivavfall främst bestående av olivkärnor. Kärnorna är torra och har krossats till ca 3-4 mm stora partiklar och mals sedan tillsammans med kolet. Tidigare fanns problem med olivkross med hög andel fruktkött där temperaturen steg kraftigt vid lagring [4]. Numera ställs krav på maximal fukthalt i bränslet vid beställning. Ungefär 5 energiprocent olivkärnekross används tillsammans med kol i den trycksatta bädden (PFBC) men andelen olivkross planeras att öka till 10-15%.

Pulvereldning
Sameldning av olivkross med kol i en 260 MW pulverpanna fungerade utan att verkningsgraden försämrades. Vissa indikationer på avlagringar och korrosion noterades. Långtidseffekter av eldning av olivkross saknas. [5]

Sameldning av olivkross med olja i en 100 MW pulverpanna orsakade märkbara beläggningsproblem. Detta konstaterades också en 20 MW pulvereldad panna som sameldade kol- och olivpulver. [5]

I en undersökning som utfördes i Värmeforsks regi 1993 gjordes en sammanställning av erfarenheter från eldning av alternativa biobränslen (Agro-bränslen) [2]. 1993 fanns två anläggningar som efter försökseldningar med positiva erfarenheter, började använda olivavfall som huvudbränsle. Inga problem med asksmältpunkten kunde observeras i någon av anläggningarna, men en del påslag kunde konstateras. Ingen av dessa anläggningar använder olivbränsle i dagsläget.

Eldningsförsök av olivavfall hos Hallsbergs Energi, Katrineholms Energi och Sala Heby Energi har visat sig medföra betydande slaggproblem. De har också upplevts att olivavfall ger förhöjda NO_x-utlsäpp [6].

Undersökning i laboratorieskala
Olivavfall undersöktes i två små fluidiserade bäddar, dels i Umeå Universitets CFBA metod och dels i TPS 10-20 kW FB (metoder och utrustning beskrivs i kapitel **7.3.7**). Umeå använde både kiselsand och masugnsslagg (GR-Granule) som bäddmaterial. TPS-metoden använde enbart slagg. Stora skillnader i sintringstemperatur kunde konstateras mellan metoderna och en skillnad kunde också noteras mellan bäddmaterialen. Skillnaden i sintringstemperatur mellan metoderna saknar än så länge en förklaring [7], se Tabell 3.12.4.

Tabell 3.12.4 Sintringstemperatur för olivavfall i två småskaliga FB-reaktorer.
Sintering temperatures for olive residues in two small-scale FB-reactors.

Bäddmaterial	Sintringstemperatur Umeå CFBA °C	Sintringstemperatur TPS °C
GR-Granule	870	1100
Kiselsand	820	

Kvaerner Power Oy har använt bäddmaterialet AggloStopTM vid förbränning av olivavfall och visat på mycket goda resultat. [8]

3.12.4 Rekommendationer

Olivavfall har en besvärlig asksammansättning som tyder på att det finns stor risk för påslag och korrosion, samt även för sintring i fluidbäddar. Olivavfall uppvisar analyser, förbränningstekniska egenskaper och risker knutna till förbränning som sammanfaller med många andra biobränslen, speciellt de med korta växtperioder. De metoder som står till buds för att reducera riskerna kommer att överensstämma med dessa.

Sameldning med lämpliga bränslen kan förbättra påslagsproblemen. Trädbränslen med låg askhalt som t.ex. salix och sågverksbiprodukter liksom även torv och kol kan fungera som sameldningsbränslen. Vid användning i pulverpannor kan olivkärnor vara svåra att blanda med vissa bränslen, som exempelvis torv, då malningsegenskaperna är för olika.

Genom att vidare blanda olivfallet väl med det sameldade bränslet blir den totala bränsleblandningen mer homogen, vilket förbättrar (automatisk) styrning och kontroll av förbränningsprocessen.

Arsenalen i övrigt kan baseras på användning av olika typer av ”skräddarsydda” additiv, framför allt vid förbränning i fluidbäddar.

Inerta bäddmaterial som t.ex. masugnsslagg och Diabas (AggloStop) har visat goda egenskaper för att motverka sintring vid förbränning av olivavfall.

3.12.5 Risker och åtgärder vid hantering av olivavfall

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [4, 9], men är även

kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också exempel på hur riskerna kan reduceras för att ge tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker

Det är stor risk för påslag och korrosion på grund av hög askhalt med höga halter av bland annat alkali. Vid lagring finns risk för biologisk aktivitet och stegrad temperatur som kan medföra brandrisk.

Olivavfall har olika ursprung och har genererats i olika processer. Riskbilden kan alltså se olika ut beroende på vilken typ av olivfall som hanteras och används. För torrare typer av olivavfall, är risken liten för bränsleförsämring vid lagring, då det anses vara ett ganska torrt och stabilt bränsle. Det finns dock erfarenhet av att torrt olivavfall har dammat vid beredning och transport.

På en anläggning har en dammexplosion skett i en centraldammsugare. Det finns också exempel på bränder i transportsystem och i dagsilos.

Om lagring av torrt olivavfall är relativt okritisk gäller motsatsen vid lagring av fuktigt olivavfall. Generellt gäller att ju mer fruktkött och skal som finns med i bränslet, desto större risk finns för mögeltillväxt och självantändning. Självantändningen uppstår till följd av värmeutveckling p.g.a. biologisk aktivitet. Incidenter har inträffat där brand uppstått i lagrad olivkärnekross. Normalt är temperaturen 30-35 °C men vid biologisk aktivitet ökar temperaturen och en brand kan initieras. Bränsle bestående av fuktigt olivavfall åldras också betydligt snabbare än torrt olivavfall.

En annan aspekt vid användning av olivavfall är att bränslet kan innehålla rester av olivolja, vilket kan/och har lett till bränder.

Erfarenheter från eldningsförsök med olivavfall gjorda av Hallsbergs Energi, Katrineholms Energi och Sala Heby Energi har sammanställts i IVL:s rapport *”Arbetsmiljön vid hantering av träpellets för energiproduktion samt arbetsmiljöerfarenheter vid eldning av olivkross och halm*”. På samtliga anläggningar som ingått i studien, har olivavfallet självantänt vid ett par tillfällen. Andra problem som uppstått vid proveldning är problem med inmatning av bränslet till pannan. Problemen kan förklaras av att oönskat material, såsom stenar och sand som följt med bränslet från leverantörerna, fastnar i inmatningssystemens transportörer. Det är inte ovanligt att bränslet importeras från länder där det först varit deponerat på soptippar i öknen, och där förorenats med tegelstenar, sand och annat oönskat material.

Ur hälsosynpunkt är det farligt att inandas damm och annat från olivavfall på grund av dess eventuella innehåll av mögel och bakterier. Detta ställer krav på skyddsutrustning och ventilation.

Fuktigt olivavfall avger en stickande, frän lukt, som kan besvära såväl personal vid hantering av bränslet, som personer i omgivningen. Lukten kan även irritera personalens ögon, hals och luftrör.

Exempel på åtgärder
Genom att ha en temperaturbevakning på lagringshögarna kan en eventuell värmeökning identifieras innan den lett till brand. Generellt kan sägas att det för fuktiga bränslen finns en bryttid på 2-3 månader, därefter behövs extra bevakning av bränslet. Vid rätt hantering är brandrisken väldigt liten.

För att minimera de hälsofarliga riskerna vid hantering av olivavfall bör manuellt arbete reduceras och skyddsutrustning användas. Även god ventilation är viktigt vid inomhushantering.

Användning av fint och torrt olivavfall med en liten andel fruktkött, medför lägre risker för biologisk aktivitet och självantändning vid lagring, och mindre risk för besvärande lukt, än användningen av fuktigare olivavfall.

3.12.6 Referenser

1 Försökseldning vid TPS. Prov ID 2003-075

2 Rydén, A., Olofsson, J. Erfarenheter från försökseldning med alternativa biobränslen, Agrobränslen. Värmeforskrapport 469, 1993.

3 Stefan Larsson. "Erfarenheter för Handboken för udda bränslen.” AB Fortum Värme. Avesta (2004)

4 Kenneth Lundkvist, Fortum Värme, Personlig kommunikation, 2010.

5 Blom, E., Ekvall, A., Gustavsson, L., Robertsson, K., Sundqvist, J-O. Erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring av verksamhetsavfall i Sverige och Europa, Värmeforskrapport 861, 2004.

6 Alvarez de Davila, Eliana, IVL, Arbetsmiljön vid hantering av träpellets för energiproduktion samt arbetsmiljöerfarenheter vid eldning av olivkross och halm, 1999

7 EU project Contract ENK6-CT-2001-00556 BIONORM. Final report. Pre-normative Work on Sampling and Testing of Solid Biofuels for the Development of Quality Assurance Systems. Work package II, Task 2, Ash Melting Behaviour.

8 Värmeforsk workshop om bäddmaterial, Stockholm 13 januari, 2004.

9 Martin Uulas, WSP, Personlig kommunikation, 2010

3.13 Kakaobönor

Figur 3.13.1 Kakaoträd med frukter./ Cocoa tree with fruits.

Figur 3.13.2 Kakaoböna./ Cocoa bean.

Kakaobönor är ett värdefullt råmaterial för livsmedelsindustrin och endast transportskadat material kan vara tillgängligt som bränsle då priset för kakao är högt. Det förekommer självantändning av kakaobönor under transport och lagring till följd av biologisk aktivitet.

I Sverige saluförs AGRO-pellets där innehållet utgörs av bland annat kakaoskal. [1]

Kakaobönor är enhetliga i form och har en densitet på 495 kg/m^3. Lukten är inte besvärande. Kakaobönor som lagrats utomhus och utsatts för regn agglomererade till stora klumpar, vilket innebär att de måste lagras torrt för att inte förorsaka matnings-problem.

3.13.1 Lagar

Förbränningen av kakao regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Kakaobönor är befriade från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Kakaobönor berättigar till elcertifikat.

3.13.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.13.1 Analys kakaobönor och skal/ Analysis cocoa beans and shells

Prov	Exempel Kakaobönor[2]		Median	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	6,5		7,35	6,5	13,4	4
Aska (% torrt)	5,2		8,3	5,2	10,5	5
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)			74,95	74,1	75,8	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	29,92		20,54	20,1	29,92	5
Hkal (leverans)	26,52		17,01	15,9	26,52	4
Heff (torrt askfritt)	27,93		19,26	18,7	27,93	5
Heff (leverans)	24,6		15,72	14,6	24,6	4
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	61,7		52,6	50,2	61,7	5
H (väte)	9,28		6	5,7	9,28	5
O (syre)	25,41		37,6	25,41	39,7	5
S (svavel)	0,33		0,22	0,13	0,33	5
N (kväve)	2,95		3,32	2,95	3,7	5
Cl (klor)	0,11		0,087	0,016	0,11	3
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	176	2117	7309	2117	12500	2
As (arsenik)	0		77	10	144	2
Ba (barium)	0		9263			
Ca (kalcium)	3 796	45740	45740	20952	50000	3
Cd (kadmium)	0		14,5	10	19	2
Co (kobolt)	0		40	14	66	2
Cr (krom)	0		524	35	1013	2
Cu (koppar)	48	577	577	333	2113	3
Fe (järn)	406	4896	8073	4896	11250	2
Hg (kvicksilver)	0		2,5	1	4	2
K (kalium)	32 040	386019	257143	8750	386019	3
Mg (magnesium)	5 456	65735	46667	5000	65735	3
Mn (mangan)	64	769	800	769	1038	3
Mo (molybden)	0		95			
Na (natrium)	462	5564	5564	276	8750	3
Ni (nickel)	18	212	212	93	400	3
P (fosfor)	10 495	126114	30476	1250	126114	3
Pb (bly)	0		3891	31	7750	2
Sb (antimon)			250			
Si (kisel)	504	6077	50000	6077	72381	3
Ti (titan)	0		7500			
Tl (tallium)						
V (vanadin)	0		79	20	138	2
Zn (zink)	115	1385	1385	857	10363	3

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.13.2 Nyckeltal kakaobönor och skal. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers cocoa beans and shells. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**1,44**	**1,88**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,57**	**0,51**
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,41**	**0,29**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,05	0,04
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	2,76	**6,58**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	31,9	2,55

Tabell 3.13.3 Svavel- och fosforkvoter för kakaobönor och skal. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for cocoa beans and shells. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0,58	1,38
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0,26	0,50
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	3,0	2,53
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,14	0,09

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.13.3 Driftserfarenheter

Det finns väldigt lite erfarenheter kring förbränning av kakaobönor. I Sverige är det inte eldat alls och även internationellt är det mycket ovanligt att använda kakaobönor som bränsle. Kakaobönor är mycket värdefulla och kommer sannolikt inte att användas som bränsle utom i de fall bönorna blivit skadade och inte kan användas inom livsmedelindustrin. Kakaoskal eller annat avfall från industrin kan dock användas som bränsle.

Essent Energis anläggning i Cuijk, Holland har under en försöksperiod eldat kakaobönor, från ett båtlass med brandskadade kakaobönor, med inblandningar av 5, 10 och 15 % i den ordinarie bränslemixen som består av:

- Flis från sågverk
- Skogsavfall
- Bark från sågverk (max 30 %)
- Sågspån från sågverk (max 30 %)
- Dessutom avfall från parker i form av buskar och liknande

Anläggningen i Cuijk är en 25 MW FB från år 2000 som är byggd för, och använder 100 % rent biobränsle.

Inga problem med agglomerering kunde observeras vid inblandning av kakaobönor. Den stora skillnaden i värmevärde mellan kakaobönorna och den ordinarie bränsle-blandningen gjorde att den automatiska styrningen av pannan inte fungerade tillfreds-ställande och man fick stora fluktuationer i CO-emissionerna. Verkningsgraden hos pannan förbättrades men emissionerna av framförallt NO_x ökade vid inblandning av > 10 % kakaobönor. [2]

Cuijk utförde dels noggrann bränsleanalys samt ett test i en liten fluidiserad bädd reaktor innan fullskaliga test utfördes för att undersöka om bränslet:

- Motsvarade de kvalitetskrav som anläggningen ställer på de bränslen som får eldas i anläggningen. Det finns krav på bl.a. värmevärde, alkalihalt och partikel-storlek.
- Om bränslet inte klarar test i labreaktor, används det inte i fullskala.

Tabell 3.13.4 Emissioner av NO_x samt förbrukning av NH_3 vid test med kakaobönor. Emissions of NO_x and consumption of NH_3 at tests with cacao beans

	Kakaobönor [%]	NO_x [mg/Nm^3]	NH_3 [l/min]
Referens	0	102 +- 30	1.7+-0.3
Test 1	5	105+-20	1.9 +- 0.5
Test 2	10	130 +- 20	2.7 +- 0.2
Test 3	15	170 +- 30	2.7 +-0.2

I USA har Lindt och Public Service of New Hampshire (PSNH) påbörjat ett samarbete i februari 2010 där Lindt levererar kakaoskal till PSNH:s kraftverk i Portsmouth. I

produktionsanläggningen sameldas kakaoskalen med kol. Inblandningen är dock mycket låg, med bara 1/30-del kakaoskal. Det har tidigare gjorts ett försök med proveldning av kakaoskal tillsammans med kol som föll väl ut [3].

3.13.4 Rekommendationer

Bränslet ska lagras fuktfritt för att undvika agglomerering. Inblandning < 10 % ger endast måttlig ökning av NO_x-emissionerna.

3.13.5 Risker och åtgärder vid hantering av kakaobönor

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger på exempel hämtade från litteraturen [3,4,5]. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Förbränningstekniska åtgärder

Kakaobönor uppvisar analyser, förbränningstekniska egenskaper och risker knutna till förbränning som sammanfaller med många andra biobränslen, speciellt de med korta växtperioder, vilket indikeras i tabell 3.13.1, 3.13.2 och 3.13.3. De metoder som står till buds för att reducera riskerna kommer att överensstämma med dessa. Den vanligaste och viktigaste berörs ovan, nämligen att, utgående från förbränningsteknik och andra tillgängliga bränslen, maximera inblandningen av kakaobönor. Arsenalen i övrigt kan baseras på användning av olika typer av ”skräddarsydda” additiv, framför allt vid förbränning i fluidbäddar.

Genom att vidare blanda kakaobönorna väl med det sameldade bränslet blir den totala bränsleblandningen mer homogen, vilket förbättrar (automatisk) styrning och kontroll av förbränningsprocessen.

Exempel på risker

Beroende av vilken blandning av kakaorestprodukter som används och hur stor del av bränslet som är i pulverform kan det finnas risk för dammexplosion vid lossning, beredning och transport. För rent kakaopulver gäller att risk för dammexplosion finns vid koncentrationer på ungefär 40g pulver per kubikmeter luft. Det torde dock inte vara speciellt rimligt att rent kakaopulver används som bränsle då det är mycket värdefullt, utan det rör sig snarare om restprodukter i form av skadade bönor eller rest skal.

Vid lagring av restprodukter från kakaobönor finns ett flertal risker att ta hänsyn till. Kakaobönor som lagras i en fuktig miljö absorberar lätt fukt. Tillsammans med bönornas höga energiinnehåll kan fukten leda till tillväxt av bakterier och mögel. Vid lagring i högar finns risk för en spontan förbränning till följd av biologisk aktivitet i högen.
Vid lagring av kakaobönor i slutna utrymmen (lastfartyg, silos etc.) finns risk för förhöjda CO_2 halter som en följd av oxidation och jäsning. Jämför med förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen. [6]
Vid lagring kan kakaobönor som utsätts för fukt klumpas ihop och medföra problem i de interna transportsystemen samt problem med inmatning i pannan. Ytterligare en detalj som kan vara nyttig att känna till är att de fettrika bönorna kan absorbera lukt från omgivningen. Därför bör inte kakaobönor lagras i närheten av något starkt luktande material. Dessutom kan bränsle, som delvis består av pulver från kakaobönor, smälta i omgivningar vid temperaturer över 20ºC. Störst är riskerna för bränslen med stor andel kakaopulver. Men då kakaopulvret utgör den mest värdefulla delen av bönorna, är det mest troligt att bränslet främst består av mindre värdefulla delar som skal och hela skadade bönor. Därmed är riskerna för påverkan av tryck, lukt, fukt och höga temperaturer betydligt lägre än vid lagring av rent kakaopulver.

Exempel på åtgärder
För att reducera riskerna vid hantering av restprodukter från kakaobönor görs lagring och hantering av bränslet i torra, luktfria och lagom tempererade miljöer (ej för varma). Genom att använda en bränslesammansättning med en så låg andel kakaopulver som möjligt och istället en större del hela bönor och skal reduceras även risker för explosion och klumpbildning. Desto större andel skal bränslet består av ju mindre är dessutom riskerna för absorption av lukt eller fukt och tillväxt av bakterier och mögel.

3.13.6 Referenser

1 http://www.energilotsen.se/page24/files/block_3/Agropellets.pdf

2 Slutrapport EU projekt Biomass/waste FBC with Inorganics Control (BIFIC) contract no: ENK5-CT-2000-00335. Deliverable D5. “Application and validation of the small-medium scale experimental results at commercial scale FBC plus experimental results of commercial scale for the other fuels”.

3 Sea coast line, Hämtat på Internet (sökord: cocoa, fuel); http://www.seacoastonline.com/articles/20100212-NEWS-2120392 (http://www.seacoastonline.com/)

4 International cocoa organization, Hämtat på Internet (sökord: cocoa powder storage risks: http://www.internationalcocoaorganisation.net/questions/powder.html)

5 http://www.tis-gdv.de/tis_e/ware/genuss/kakao/kakao.htm#selbsterhitzung

6 Faror och hälsorisker vid förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen. Arbetsmiljöverket rapport nr 2011:2

3.14 Citrusavfall

Citrusavfall består av en blandning av skal och kärnor och andra rester från tillverkning av livsmedel från citrusfrukter som t.ex. juice. Näringsvärdet är ganska högt och pellets av citrus avfall har undersökts som strö vid broileruppfödning samt som foder till kor och grisar. Produkten saluförs även som kosttillskott för människor.

Figur 3.14.1 Citrusavfall/ Citrus pulp

Figur 3.14.2 Pellets av citrusavfall/ Citrus pulp pellets.

Citruspellets har en relativt hög densitet, 600 kg/m^3. Citrusavfall har en behaglig doft av citron och förväntas inte förorsaka klagomål från närboende.
Citrusavfall går inte att kompostera, eftersom det innehåller den måttligt farliga kemikalien limonen, som bland annat används som lösningsmedel och insektsgift.

3.14.1 Lagar

Förbränningen av citrusavfall regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Citrusavfall är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Citrusavfall berättigar till elcertifikat.

3.14.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.14.1 Analys citrusavfall/ Analysis citrus pulp

Prov	Exempel [1]		Median	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	7,82		8,91	7,82	10	2
Aska (% torrt)	4,44		4,47	4,2	9,5	4
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)			75,7	68,9	77,7	3
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	20,80		22,62	20,8	22,82	4
Hkal (leverans)	18,33					
Heff (torrt askfritt)	19,35		21,04	19,35	21,43	3
Heff (leverans)	16,85					
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	50,27		55,7	50,27	58,5	4
H (väte)	6,7		6,65	6,1	6,9	4
O (syre)	41,67		35,7	33,6	41,7	4
S (svavel)	0,21		0,21	0,03	0,22	3
N (kväve)	1,13		1,93	1,13	2,18	4
Cl (klor)	0,02					
Askanalys						
	(mg/kg ts)	***(mg/kg aska)***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	47	1058				
As (arsenik)		2				
Ba (barium)						
Ca (kalcium)	10481	238207				
Cd (kadmium)						
Co (kobolt)						
Cr (krom)						
Cu (koppar)	7	151				
Fe (järn)	145	3287				
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	6374	144861				
Mg (magnesium)	711	16162				
Mn (mangan)	12	270				
Mo (molybden)						
Na (natrium)	263	5972				
Ni (nickel)	2	50				
P (fosfor)	684	15535				
Pb (bly)	2	38				
Sb (antimon)						
Si (kisel)	761	17296				
Ti (titan)	29	659				
Tl (tallium)						
V (vanadin)	2	45				
Zn (zink)	71	1622				

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.14.2 Nyckeltal citrusavfall. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers citrus pulp. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**6,28**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,24	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,70**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,12	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**15,70**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	4,57	

Tabell 3.14.3 Svavel- och fosforkvoter för citrusavfall. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers citrus pulp. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	4,03	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	2,67	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	10,5	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,04	

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.14.3 Driftserfarenheter

Det finns mycket begränsade erfarenheter kring eldning av citrusavfall. I Sverige används inte citrusavfall för förbränning alls men däremot pågår studier kring att använda citrusavfall för framställning av etanol och biogas [2].

Även internationellt är erfarenheterna begränsade, men det har gjorts några proveldningar, bland annat i Essent energis anläggning i Cuijk, Holland [1]. Inga problem med agglomerering kunde observeras vid inblandning av citruspellets. Vid inblandning av 15 % citruspellets noteras en förhöjd bäddtemperatur liksom en ökning av NO_x-halten och förbrukningen av NH_3 för NO_x-reduktion. Se Tabell.3. Den ordinarie bränslemixen består av:

- Flis från sågverk
- Skogsavfall
- Bark från sågverk (max 30 %)
- Sågspån från sågverk (max 30 %)
- Dessutom avfall från parker i form av buskar och liknande

Anläggningen i Cuijk är en 25 MW FB från år 2000 som är byggd för och använder 100 % rent biobränsle. Testet utfördes under vintern då den ordinarie bränslemixen håller en hög fukthalt. Detta innebar att citruspelletsen föll sönder när de blandades in.

Cuijk utförde dels noggrann bränsleanalys samt ett test i en liten fluidiserad bädd reaktor innan fullskaliga test utfördes för att undersöka om bränslet:

- Motsvarar de kvalitetskrav som anläggningen ställer på de bränslen som får eldas i anläggningen. Det finns krav på bl.a. värmevärde, alkalihalt och partikelstorlek.
- Om bränslet inte klarar test i labreaktor, används det inte i fullskala.

Tabell.3.14.4 Emissioner av NO_x samt förbrukning av NH_3 vid test med citruspellets. Emissions of NO_x and consumption of NH_3 from tests with citrus pellets

	Citruspellets [%]	NO_x [mg/Nm^3]	NH_3 [l/min]
Referens	0	100 +- 3	1.52 +-0.03
Test 1	7.5	100 +-2	1.49 +- 0.07
Test 2	15	123 +- 6	2.32 +- 0.05

3.14.4 Rekommendationer

Blandning med fuktiga bränslen bör undvikas då citruspellets kan falla sönder och ge en hög finandel vid bränslematning. Måttlig inblandning (< 10 %) ger inga tydliga ökningar av NO_x-emissionerna.

3.14.5 Risker och åtgärder vid hantering av citrusavfall

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger på exempel hämtade från litteraturen [3,4]. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker vid hantering

Beroende av hur torrt bränslet är kan det finnas risk för damning och dammexplosion vid lossning, beredning och transport. För citruspellets gäller att risk för dammexplosion finns vid koncentrationer på ungefär 20-2000 g/m^3. Citruspellets som sameldas med fuktiga bränslen kan falla sönder och medföra problem vid hantering.

Vid lagring av citruspellets finns ett flertal risker att ta hänsyn till;

- Bränslet kan självantända vid lagring. Risken ökar då bränslet är fuktigt och lagras vid höga temperaturer.
- Om bränslet utsetts för fukt har det en benägenhet att mögla, vilket ger en ökad bakterietillväxt.
- Det finns även risk att bränslet angrips av insekter, speciellt vid höga fukthalter och temperaturer
- Naturligt har citruspellets en angenäm lukt men bränslet kan lätt absorbera andra lukter om det förvaras i närheten av starkt luktande produkter

Importerade citrusfrukter är i många fall behandlade med diverse bekämpningsmedel som ska öka frukternas hållbarhet vid lagring och transporter. Exempel på bekämpningsmedel är imazalil, tiabendazol och 2-fenylfenol som alla är fungicider och används mot mögelsvampar och rötsvampar. För de citrusskal som är behandlade med sådana fungicider är risken för tillväxt av mögel eller bakterier vid lagring vid produktionsanläggningen betydligt mindre. Däremot är det inte helt fastställt hur dessa bekämpningsmedel påverkar arbetsmiljön för dem som hanterar bränslet.

Limonen är ett ämne som det naturligt finns höga halter av i citrusfrukter, det är känt att detta ämne kan ge allergiproblem vid skalning.

Exempel på åtgärder

För att minimera riskerna vid lagring bör pelleten lagras kallt och torrt och lagringsutrymmet bör vara ventilerat. Optimala lagringstemperaturer är 5-25 °C. Eftersom bränslet kan självantända är det viktigt att regelbundet kontrollera temperaturen i lagringshögen för att upptäcka eventuella temperaturförändringar i tid.

Med tanke på att citrusavfall kan innehålla både bekämpningsmedel och allergiframkallande ämnen kan det vara säkrast att använda handskar och andningsskydd vid manuell hantering av bränslet.

3.14.6 Referenser

1 Slutrapport EU projekt Biomass/waste FBC with Inorganics Control (BIFIC) contract no: ENK5-CT-2000-00335 Deliverable D5. "Application and validation of the small-medium scale experimental results at commercial scale FBC plus experimental results of commercial scale for the other fuels".

2 Pressmeddelande från Expertsvar, Information hämtad på Internet: http://www.expertsvar.se/pressmeddelande?pressReleaseID=12642&languageID=1 (sökord; citrusavfall, förbränning)

3 Olsson M., och Petersson G., Biobränsle från hushållsavfall, Chalmers, 2004, Hämtad på Internet; http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/26313.pdf (sökord; citrus, bekämpningsmedel)

4 Transport Information Service, Information hämtad på Internet: http://www.tis-gdv.de/tis_e/ware/futter/pellets/citrus/citrus.htm (sökord; combustion of citrus)

3.15 Sheanötter

Det 15 meter höga sheaträdet växer på Afrikas savanner. Trädet bär mest frukt när det är mellan 50 och 100 år, men det är inte ovanligt att träden blir 200 år gamla.

Sheanötter används för produktion av vegetabilisk olja, som används i livsmedelstillverkning samt även inom kosmetikaindustrin till bl.a. hudkrämer. En mogen sheanöt har en fetthalt på 45-50%. Resterna från framställning av oljan kan användas som bränsle.

Sheanötter saluförs som mjöl eller kakor. Tillgången på sheakakor beräknas till ca 1800 ton/år. I dagsläget används resterna från sheanötter främst som inblandning i djurfoder, endast mycket små inblandningar av sheamjöl är möjligt då smaken inte är så tilltalande. Detta är inte tillåtet i Sverige.

Figur 3.15.1 Sheanötter/ Shea nuts.

Figur 3.15.2 Malning av sheanötter/ Milling of shea nuts.

Sheanötter har en besvärlig asksammansättning där bland annat kaliumhalterna är extremt höga, vilket gör det svårt i många förbränningssammanhang. Densiteten hos sheamjöl är ca 700 kg/m^3.

3.15.1 Lagar

Förbränningen av sheanötter regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Sheanötter är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Sheanötter berättigar till elcertifikat.

3.15.2 Analyser och nyckeltal

Tabell 3.15.1 Analys Sheanötter/ Analysis of shea nuts

Prov	**Exempel Sheakaka [1]**		**Exempel Sheamjöl [1]**	**Spann**		**Antal**
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	3,3		7,6			
Aska (% torrt)	6,7		7			
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	22,99					
Hkal (leverans)	20,74					
Heff (torrt askfritt)	21,55					
Heff (leverans)	19,36					
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	55,3					
H (väte)	6,6					
O (syre)	34,5					
S (svavel)	0,27		0,28			
N (kväve)	3,2		3,01			
Cl (klor)	-		0,10			
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	8576	12800				
As (arsenik)		<20				
Ba (barium)	20	300				
Ca (kalcium)	2760	41200	27143			
Cd (kadmium)		<1				
Co (kobolt)						
Cr (krom)	4	56				
Cu (koppar)	6	97				
Fe (järn)	1159	17300				
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	18224	272000	371429			
Mg (magnesium)	2151	32100	31429			
Mn (mangan)	34	500				
Mo (molybden)		<10				
Na (natrium)	529	7900				
Ni (nickel)	3	44				
P (fosfor)	2231	33300	31429			
Pb (bly)	3	48				
Sb (antimon)						
Si (kisel)	8107	121000				
Ti (titan)	107	1600				
Tl (tallium)						
V (vanadin)						
Zn (zink)	35	520				

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.15.2 Nyckeltal Sheanötter. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers shea nuts. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**1,04**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,56**	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,40**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,05	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**9,07**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	1,13	

Tabell 3.15.3 Svavel- och fosforkvoter för shea nötter. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers shea nuts. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0,82	0,54
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**		
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre		2,80
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1		

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.15.3 Driftserfarenheter

Erfarenheterna av eldning av sheanötter är begränsade. Endast ett fåtal anläggningar i Sverige utnyttjar eller har testat detta bränsle. I Danmark används sheanötter i åtminstone en anläggning.

Vid Tekniska verken i Linköping eldas sheanötter från Karlshamn. Erfarenheten är att det har fungerat rätt så bra och att det inte dammat speciellt mycket [2]. Vid Energi Randers anläggning i Danmark har det eldats upp till 40 % inblandning av sheanötter med bra resultat. Sameldning har gjorts främst med flis, men kan även göras med kol. Bränslet har blåsts in i pannan och får därför inte innehålla för stora bitar, max 20 mm. [3].

Nötternas höga askhalt med mycket högt innehåll av kalium försvårar förbränningen genom att askan sintrar och bildar beläggningar i pannan. De höga kaliumhalterna medför även personrisker, vilket gör att askan blir besvärlig att hantera.

Utöver ovan nämnda risker avseende sintrings- och beläggningsbenägenhet ledande till begränsad inblandning vid sameldning kan detta förfarande också vara aktuellt med tanke på det höga kväveinnehållet som en metod att hålla ner NOx-emissionerna. Även om denna metod utnyttjas kan specifika åtgärder, som utnyttjande av SNCR, ändå krävas för att klara externa och/eller interna NOx-emisionskrav.

3.15.4 Rekommendationer

Den höga kaliumhalten i bränslet medför att stora problem för sintringar och påslag kan förväntas vid förbränning av sheanötter. Mycket små inblandningar an sheamjöl/kakor kan fungera. Ett svavelrikt sameldningsbränsle kan göra att egenskaperna hos sheamjöl förbättras.

3.15.5 Risker och åtgärder vid hantering av sheanötter

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [2,3], men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur riskerna kan reduceras. Åtgärdsförslagen bör läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker vid hantering
Bränslet får inte vara för fuktigt vid lagring då det annars finns risk för självantändning. Vid lagring i fuktiga miljöer ökar också risken för tillväxt av mögel och bakterier, några sådana problem har dock inte noterats vid Randers anläggning. Om bränslet däremot är torrt kan det istället finnas risk för damning vid lossning, beredning och transport.

Lagring av restprodukter som sheanötter i slutna lagringsfickor kan generera höga och hälsovådliga halter av kolmonoxid (CO). Vid blandning av torrt och fuktigt bränsle ökar risken för självantändning genom mikrobiell aktivitet i den våta delen och övertändning i den torra fraktionen.

Exempel på åtgärder
För att minimera riskerna vid lagring bör nötterna lagras torrt och lagringsutrymmet bör vara ventilerat. Eftersom bränslet kan självantända är det viktigt att regelbundet kontrollera temperaturen i lagringshögen för att upptäcka eventuella temperaturförändringar i tid.

Andra åtgärder för att reducera risken för antändning och brand är att skilja vått och torrt bränsle. Vad det beträffar risker förknippade med bildning av kolmonoxid är det mycket viktigt att begränsa tillträde till slutna fickor innan en analys av CO-halten har gjorts eller utrymmet har blivit effektivt vädrat.

3.15.6 Referenser

1 Produktblad från Energilotsen. http://www.energilotsen.se/

2 Krister Johansson, Tekniska Verken Linköping, Personlig kommunikation 2010-01-19

3 Flemming Höjmark, Energi Randers, Personlig kommunikation 2010-05-05

3.16 Jordnötsskal

3.16.1 Lagar

Förbränningen av jordnötsskal regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Jordnötsskal är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Jordnötsskal är berättigat till elcertifikat

3.16.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.16.1 Analys jordnötsskal/ Analysis pea nut shell

Prov	Exempel Pea nut shell		Median	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	9,1		9	8,9	9,1	2
Aska (% torrt)	3,1		3,65	3,1	4,2	2
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	76,2		-	-	-	1
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)			21,53	20,93	22,12	2
Hkal (leverans)	18,71		19,01	18,71	19,31	2
Heff (torrt askfritt)			20,15	19,56	20,74	2
Heff (leverans)	17,29		17,59	17,29	17,89	2
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	50,2		53	51,8	54,2	2
H (väte)	6,1		6,35	6,3	6,4	2
O (syre)	39,2		38,8	37,1	40,5	2
S (svavel)	0,08		0,12	0,08	0,16	2
N (kväve)	1,3		1,75	1,3	2,2	2
Cl (klor)	0,02		0,02	0,02	0,02	2
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	1148	37032	32802	28571	37032	2
As (arsenik)	0,3	10	13	10	16	2
Ba (barium)	18	581	481	381	581	2
Ca (kalcium)	2121	68419	66353	64286	68419	2
Cd (kadmium)	0,1	3	3	2	3	2
Co (kobolt)	0,2	7	6	5	6	2
Cr (krom)	1,6	52	112	52	171	2
Cu (koppar)	11	355	274	193	355	2
Fe (järn)	551	17774	16982	16190	17774	2
Hg (kvicksilver)	<0,01	0	0	0	0	2
K (kalium)	6158	198645	224323	198645	250000	2
Mg (magnesium)	1048	33807	37141	33806	40476	2
Mn (mangan)	52	1677	1363	1048	1677	2
Mo (molybden)	0,3	10	12	10	14	2
Na (natrium)	95	3065	2068	1071	3065	2
Ni (nickel)	1,3	42	54	42	67	2
P (fosfor)	856	27612	34045	27613	40476	2
Pb (bly)	0,7	23	23	23	24	2
Sb (antimon)	-	0	0	0	0	2
Si (kisel)	3910	126129	135684	126129	145238	2
Ti (titan)	107	3452	1892	333	3452	2
Tl (tallium)	-	0	0	0	0	2
V (vanadin)	1,5	48	46	43	48	2
Zn (zink)	18	581	647	581	714	2

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.16.2 Nyckeltal jordnötsskal. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers pea nut shell. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**0,94**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,42**	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,47**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,01	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	3,27	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	**0,77**	

Tabell 3.16.3 Svavel- och fosforkvoter för Jordnötsskal. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for Pea nut shells. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	1,57	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0,70	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	4	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.09	

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.16.3 Drifterfarenheter

Vattenfall, Drefviken
Pannan är en pulvereldad Kvaernerpanna med fyra takmonterade brännare modell Petro. Lastområdet är reglerbart från 15 till 80 MW.

Jordnötsskal är lättmalet. Densiteten är hög; malt jordnötsskal har ungefär dubbelt så hög densitet som träpulver.
Förbränning gick bra med bra flamstabilitet och emissioner till luft och är jämförbara med ordinarie bränsle (träpulver). Hög kvävehalt medförde ökad NH_3 förbrukning för att klara NO_x halten. Allergiker som är känsliga mot jordnötter bör nog hålla sig borta från anläggningen. [1]

När man analyserar bränslet med skaksikt så får man felaktiga resultat gällande finfraktion,(gäller oljeprodukter såsom jordnötskalpellets, rapskaka, rapspellets, solrosskalpellets) ”oljan kladdar ihop finandelen” blir som ett målat skikt på sista duken.
[1]

3.16.4 Referenser

1 Personlig kommunikation Jan Baldefors, Vattenfall AB

3.17 Solrosskal

3.17.1 Lagar

Förbränningen av solrosskal regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
solrosskal är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Solrosskal är berättigat till elcertifikat

3.17.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.17.1 Analys solrosskal/ Analysis sun flower shell

Prov	Exempel Solrosskal		Exempel	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	8,3					
Aska (% torrt)	3,1					
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	-					
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	21,52					
Hkal (leverans)	19,12					
Heff (torrt askfritt)	20,13					
Heff (leverans)	17,69					
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	52,7					
H (väte)	6,4					
O (syre)	39,8					
S (svavel)	0,12					
N (kväve)	0,83					
Cl (klor)	0,07					
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	107	3 452				
As (arsenik)	0	0				
Ba (barium)	3,8	123				
Ca (kalcium)	2907	0				
Cd (kadmium)	0	3				
Co (kobolt)	0,1	3				
Cr (krom)	1	32				
Cu (koppar)	11	355				
Fe (järn)	222	7 161				
Hg (kvicksilver)	0	0				
K (kalium)	8750	282 258				
Mg (magnesium)	1663	53 645				
Mn (mangan)	14	452				
Mo (molybden)	0,8	26				
Na (natrium)	84	2 710				
Ni (nickel)	2,2	6 516				
P (fosfor)	921	29 710				
Pb (bly)	0,3	10				
Sb (antimon)	0	0				
Si (kisel)	726	23 419				
Ti (titan)	16	516				
Tl (tallium)	0	0				
V (vanadin)	0,2	6				
Zn (zink)	25					

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.17.2 Nyckeltal solrosskal. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers sun flower shell. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**2,58**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,60**	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,42**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,02	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**6,52**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	5,87	

Tabell 3.17.3 Svavel- och fosforkvoter för Jordnötsskal. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for Pea nut shells. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,71	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.09	

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.17.3 Driftserfarenheter

Vattenfall, Drefviken
Pannan är en pulvereldad Kvaernerpanna med fyra takmonterade brännare modell Petro. Lastområdet är reglerbart från 15 till 80 MW.

Flamstörningar/flaminstabilitet vid inblandning av mer än 50 % solrosskal i ordinarie träpulver. NO_x ökar med ökad effekt och inblandningsgrad lämpligaste inblandningsgrad 5-10%. Ökat slitage på kvarnar med solrosskal. Ökning av NH_3förbrukning. Minskad tillgänglighet då ekonomisern blev igensatt flera gånger. Kladdiga beläggningar i konvektionsdelar och ekonomiserdelar.
Brand i lagret av solrosskal.

När man analyserar bränslet med skaksikt så får man felaktiga resultat gällande finfraktion, (gäller oljeprodukter såsom Jordnötskalpellets, rapskaka, rapspellets, solrosskalpellets) ”oljan kladdar ihop finandelen” blir som ett målat skikt på sista duken. [1]

3.17.4 Referenser

[1] Personlig kommunikation, Jan Baldefors Vattenfall AB.

3.18 PKS (Palm Kernel Shell)

3.18.1 Lagar

Förbränningen av PKS regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
PKS är befriat från energiskatt och koldioxidskatt

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
PKS är berättigat till elcertifikat

3.18.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.18.1 Analys PKS/ Analysis PKS

Prov	Exempel PKS	Median	Spann		Antal
			Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)					
Fukt	16,4				
Aska (% torrt)	5,0				
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)					
Värmevärde (MJ/kg)					
Hkal (torrt askfritt)	23,91	21,51	19,92	23,91	8
Hkal (leverans)	18,99	17,22	11,78	18,99	8
Heff (torrt askfritt)	22,27	20,41	18,72	22,27	8
Heff (leverans)	17,29	15,78	10,66	17,29	8
Elementaranalys (% torrt askfritt)					
C (kol)	54,2	54,19	53,38	54,66	8
H (väte)	7,6	5,89	5,49	7,60	8
O (syre)	34,7	39,18	34,70	40,27	8
S (svavel)	0,25	0,06	0,02	0,28	5
N (kväve)	3,05	0,44	0,02	3,05	8
Cl (klor)	0,17	0,03	0,02	0,17	7
Askanalys					
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***		
			Min	***Max***	
Al (aluminium)	1230	27955		27955	53 333
As (arsenik)	0,253	5,8		5,8	6
Ba (barium)	6,8	155		155	394
Ca (kalcium)	637	14477		8 771	14477
Cd (kadmium)	0,0113	0,3		0,3	0
Co (kobolt)	0,189	4,3		4,3	6
Cr (krom)	10,6	241		241	252
Cu (koppar)	9,93	226		226	246
Fe (järn)	2200	50000		50000	71 042
Hg (kvicksilver)	0	0		0	0
K (kalium)	1010	22955		22955	23 125
Mg (magnesium)	383	8705		7 792	8705
Mn (mangan)	79	1795		1 033	1795
Mo (molybden)	0,3	7,8		0	7,8
Na (natrium)	64,5	1466		896	1466
Ni (nickel)	0,725	16		16	51
P (fosfor)	214	4864		4864	5 938
Pb (bly)	0,821	19		11	19
Sb (antimon)	0	0		0	0
Si (kisel)	12200	277273		277273	304 167
Ti (titan)	67,7	1539		1539	2 563
Tl (tallium)	0,00	0		0	0
V (vanadin)	4,59	104		89	104
Zn (zink)	11,4	259		259	321

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.18.2 Nyckeltal PKS. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers PKS. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,22	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,14	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,70**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,1	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**9,53**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	0,04	

Tabell 3.18.3 Svavel- och fosforkvoter för PKS. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers PKS. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	2,2	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0,91	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,15	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,09	

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.18.3 Driftserfarenheter

Tekniska Verken i Linköping har sameldat PKS (Palm Kernel Shell) med kol och klippta bildäck i en spreader stoker. Värmevärdet var lägre än förväntat pga. av ett fuktigt bränsle. Fukthalten var ca 30 % och askhalten 5 %. Den höga fukthalten medförde att det inte gick att ha mer än ca 10 % PKS för att klara effekten. Viktigt att bränslet är hållbart och att det kommer från certifierad framställning av palmolja enligt RSPO(Round Table for Sustainable Palmoil). [1]

Mälarenergi har eldat PKS under flera säsonger. Bränslet måste förblandas med bark och spån och får sedan ligga minst 24 timmar innan det används. Inblandningen är max 15 % PKS. Bränslet har hög densitet och är som regel torrt (10-15% fukt). PKS finns i begränsade mängder på marknaden och är ett utmärkt bränsle. [2]

3.18.4 Referenser

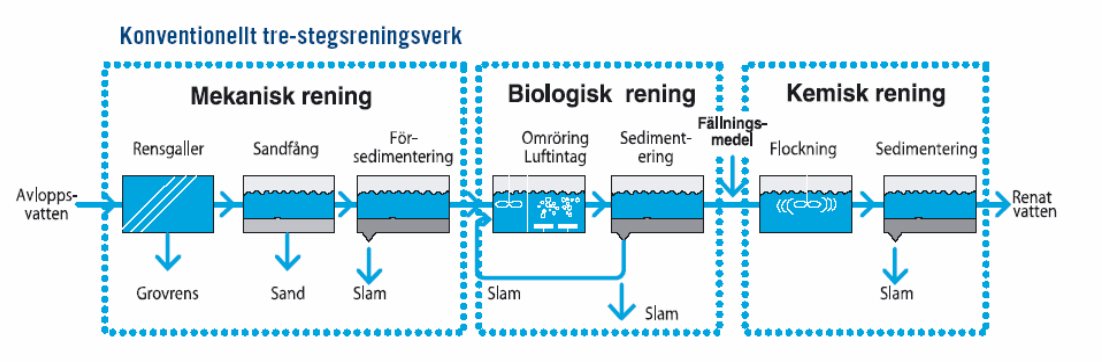
1 Erik Lindhe, Tekniska Verken i Linköping. Personlig kommunikation 2011.

2 Jens Nerén, Mälarenergi i Västerås. Personlig kommunikation, 2011.

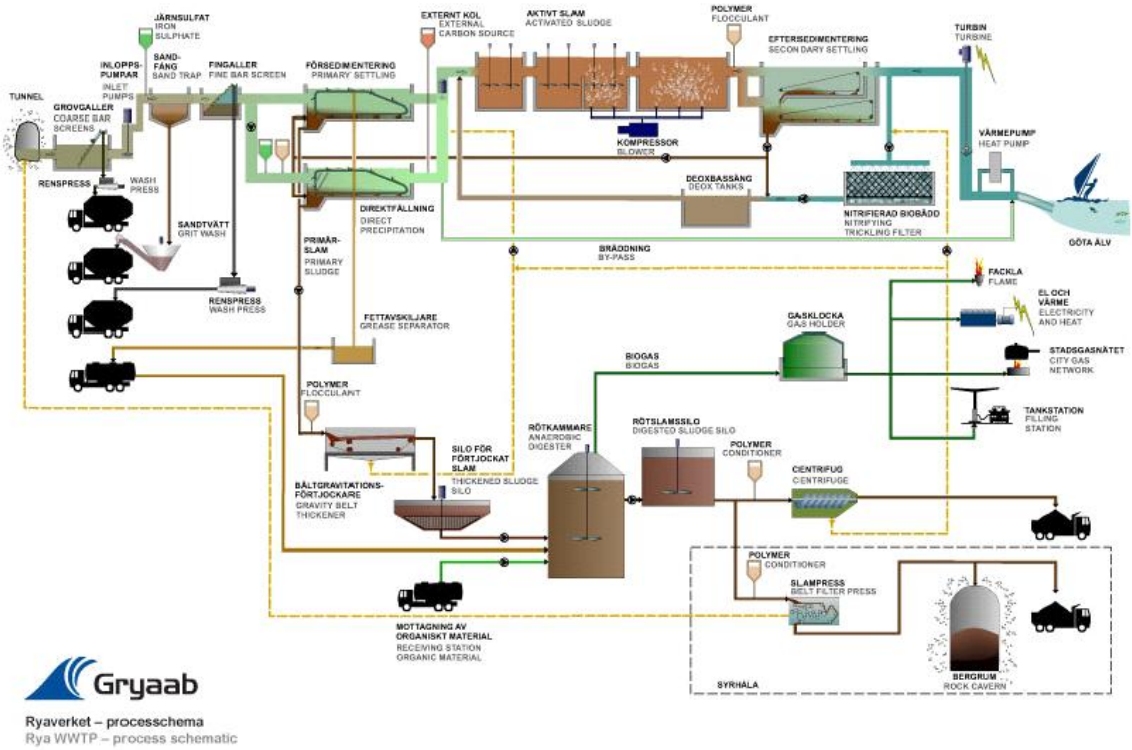
3.19 Rötslam/Kommunalt slam

I Sverige renas kommunala avloppsvatten normalt med en kombination av mekanisk, biologisk och kemisk rening se figur 3.19.1 Det bildade slammet stabiliseras sedan i de flesta fall genom ett efterföljande rötningssteg och man får då vad vi kallar ett rötslam. Sammansättningen på rötslammet påverkas av sammansättningen på de ingående vattenströmmarna, de ingående reningsstegen och vilka fällnings/flockningskemikalier som används i den kemiska reningen. Sammansättningen på rötslam varierar därmed och den enskilt största skillnaden mellan olika slam är vilken fällningskemikalie som används. I Sverige används i huvudsak olika järn och aluminiumsalter (järnsulfat, järnklorid, aluminiumsulfat, polyaluminiumklorid etc.) De flesta större reningsverk använder järnsulfat som fällningskemikalie ofta kombinerat med polyaluminiumklorid.

De svenska avloppsverken producerar årligen ca 230 000 ton slam (torrsubstans) varav cirka 70 % av denna mängd är rötat slam.



Figur 3.19.1 Konventionellt trestegsreningsverk[1]/ Conventional three-stage-municipal waste water treatment plant



Figur 3.19.2 Processchema för Ryaverket i Göteborg [2]/ Process schematic - Rya municipal waste water treatment plant

Riksdagen har som miljömål att 2015 ska minst 60 % av fosforn i avlopp skall återföras till produktiv mark varav minst hälften skall återföras till åkermark. Det finns dock begränsningar för hur mycket tungmetaller slammen får innehålla för att kunna spridas på åkermark. Det finns även begränsningar för hur mycket fosfor och metaller som får tillföras åkermarken per år [3], [4] via avloppsslam.

Avloppsslam för jordbruksändamål får saluhållas och överlåtas endast om metallhalten inte överstiger vad som framgår av Tabell 3.19.1.

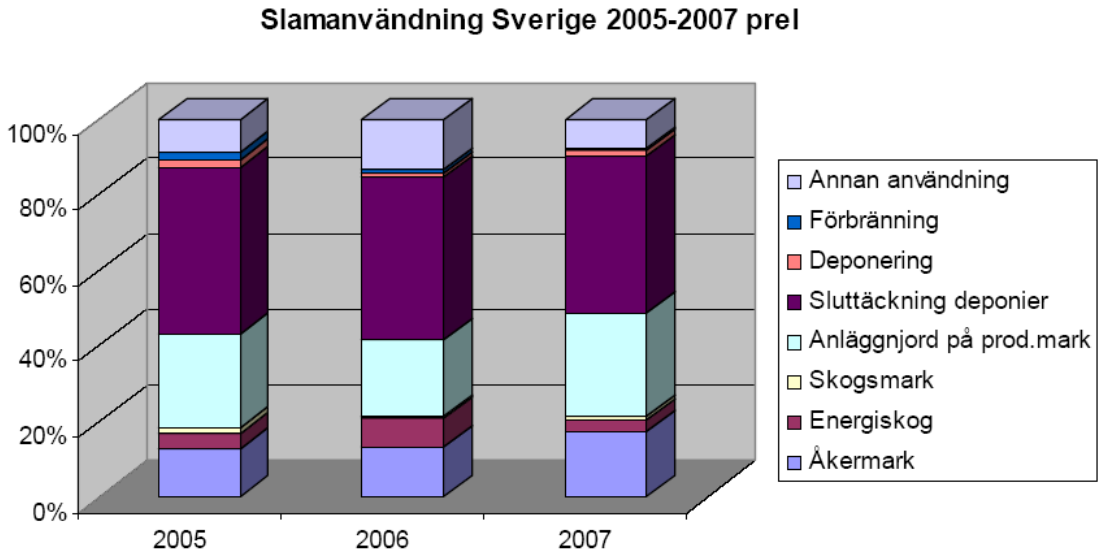
Tabell 3.19.1 Högsta tillåtna halt av metaller i slam för jordbruksändamål[4]
Maximal metal content in municipal sludge for agricultural use

Metall	mg/kg torrsubstans
Bly	40
Kadmium	0,4
Koppar	40
Krom	60
Kvicksilver	0,3
Nickel	30
Zink	100

För att kunna återcirkulera näringsämnen har därför mycket arbete lagts ner de senaste åren på att minska innehållet av oönskade tungmetaller i rötslammen och ett certifieringssystem för slam, REVAQ, har tagits fram av Svenskt Vatten. Tanken är att tillhandahålla certifierade slam till gödselmedel på åkermark. LRF har visat ett ökat intresse för spridning av slam på åkrarna som ett billigare gödselmedel. Det finns dock motstånd från forskare och naturvårdare som hävdar att certifieringen av slammet invaggar jordbrukare och livsmedelskonsumenter i en falsk föreställning om att slammet är rent och ofarligt. Man hävdade i en debattartikel i DN april 2009 att rötslam inte bara innehåller metaller utan att det även finns risk för att rötslammen innehåller svårnedbrytbara läkemedelsrester, hormoner, antibiotika, bromerade flamskyddsmedel etc. Förbränning ansågs vara ett bättre alternativ[5].

Den begränsande metallen för att klara kraven på hur mycket metaller som får återföras till åkermark är oftast kadmium där man maximalt får sprida 0,75 g Cd/hektar och år. Om man vill slamgödsla med en full fosforgiva på normalt högst 22 kgP/ha, år och samtidigt klara gränsvärdet 0,75 g Cd/ha, år får Cd/P-kvoten i slammet inte vara högre är 34 mgCd/kgP. Ett av de långsiktiga målen med certifieringssystemet REVAQ är att Cd/P-kvoten inte ska vara högre än 17 mgCd/kgP. 2006 hade ca 50 % av slammen sådan kvalitet att de skulle kunnat spridas på åkermark med full fosforgiva. Resten av slammängden kan inte användas alls eller användas tillsammans med ett konventionellt fosforgödselmedel[6].

Förutom återföring till åkermark och produktiv anläggningsmark blandas slam tillsammans med flygaska på många håll för sluttäckning av gamla deponier se Figur 3.19.3



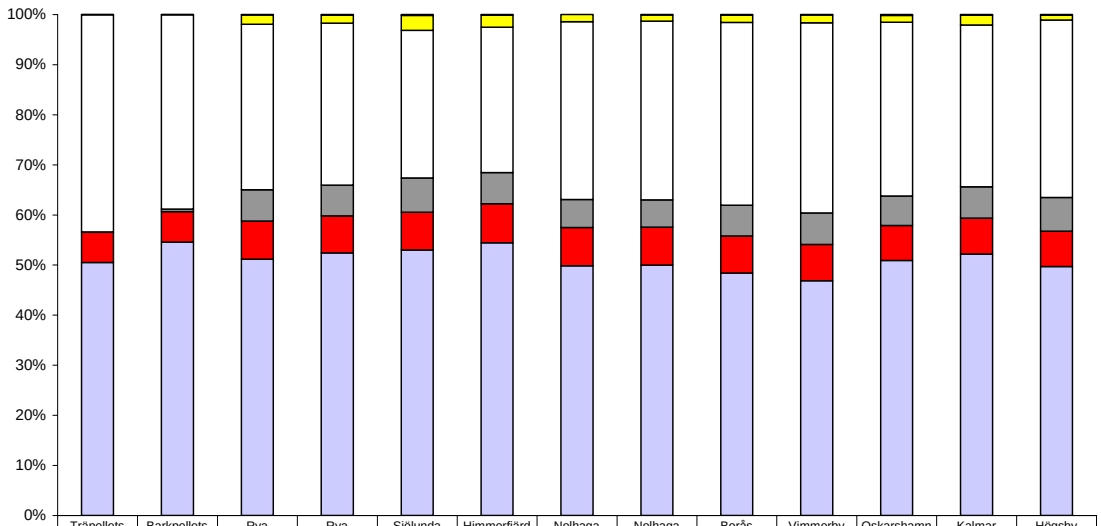
Figur 3.19.3 Slamanvändning i Sverige 2005-2007 [3]/ The use of sewage sludge in Sweden 2005-2007.

I Sverige sker för närvarande ingen förbränning av rötslam men olika försök med samförbränning av slam (4-10% av ts) och biobränsle respektive avfall har visat att rötslam är ett mycket verksamt additiv för att minska askrelaterade driftsproblem så som bäddagglomerering i fluidbäddpannor och bildandet av korrosiva beläggningar på överhettartuber [7]. (Utanför Sverige är slamförbränning och deponering av askan den metod som är mest utvecklad och tillämpad, näst efter direktdeponering, för att bli av med slam.)

Samförbränning av slam i befintliga förbränningsanläggningar, för att minimera bränslerelaterade driftsproblem, är ett därmed ett intressant alternativ.

Rötat kommunalt slam innehåller mycket aska, ca 40-55 % av torrsubstansen, och har ofta en hög fukthalt ca 70-80 %. Jämför man den brännbara substansen av slammet (torrt och askfritt bränsle) så liknar den biobränsle som trä och bark med undantag för svavel- och kvävehalterna som är högre. Svavelhalten ligger mellan 1-3 % och kvävehalten runt 6 % räknat på torrt och askfritt bränsle. Vid samförbränning med andra bränslen är den höga svavelhalten positiv då svavlet i slammet kan reagera med alkalimetaller i bränsleblandningen och förhindra att korrosiva beläggningar bildas på tuberna.

Slam innehåller även mycket fosfor, ca 3-4% av ts. Även fosfor har visat sig kunna reagera med alkali och ersätta klor i beläggningar och därmed minska risken för korrosiva beläggningar[8], [9].



	Träpellets	Barkpellets	Rya	Rya	Sjölunda	Himmerfjärd	Nolhaga	Nolhaga	Borås	Vimmerby	Oskarshamn	Kalmar	Högsby
Cl	0,02%	0,02%	0,08%	0,09%	0,18%	0,10%	0,07%	0,07%	0,11%	0,08%	0,17%	0,14%	0,09%
S	0,01%	0,03%	1,9%	1,6%	3,0%	2,4%	1,4%	1,3%	1,5%	1,6%	1,4%	1,9%	1,0%
O	43,4%	38,8%	33,0%	32,3%	29,5%	29,0%	35,5%	35,7%	36,5%	38,0%	34,7%	32,3%	35,4%
N	0,1%	0,5%	6,3%	6,1%	6,8%	6,2%	5,6%	5,4%	6,1%	6,3%	5,9%	6,3%	6,7%
H	6,0%	6,1%	7,6%	7,4%	7,5%	7,8%	7,7%	7,6%	7,4%	7,3%	7,0%	7,2%	7,1%
C	50,5%	54,6%	51,2%	52,4%	53,0%	54,4%	49,8%	50,0%	48,4%	46,9%	50,9%	52,2%	49,7%

Figur 3.19.4 Elementaranalys – Jämförelse mellan 11 olika slam och trä och bark/ Elemental analysis – Comparison between 11 different sludges, wood and bark[8]

Det effektiva värmevärdet på torkat slam ligger runt 10-13 MJ/kg ts medan den höga fukthalten sänker det effektiva värmevärdet på fuktigt slam ner till 0,6-1,8 MJ/kg bränsle. Fuktigt slam kan därmed knappast räknas som ett bränsle utan kanske i första hand bör ses som ett additiv för att minska alkalirelaterade driftsproblem [8]

Slamaskorna består till största delen av järn, aluminium, kisel, kalcium och fosfor. Sammansättningen är till stor del beroende av vilka fällningskemikalier som används i reningsstegen men även av innehållet i vattnet t.ex. fosfater och zeoliter från tvättmedel samt metaller. Slammet kan vara förorenat med metaller som bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver nickel och zink. Det kan också innehålla smittsamma bakterier, virus mm. Dessutom kan det finnas föroreningar i form av miljöfarliga organiska ämnen (bromerade flamskyddsmedel, hormoner, antibiotika, läkemedelsrester etc.). Slammet har i de flesta fall efterbehandlats mikrobiologisk (”rötning”) och det är då det kallas ”rötslam”.

Askegenskaper

Askhalten i slam är hög, 40-55% av torrsubstansen är inte ovanligt. Askans sammansättning är dock positiv ur flera aspekter. Höga andelar av aluminium och kalcium innebär att asksmältpunkten är hög. Försök med inblandning av rötslam vid Chalmers CFB-panna har bl.a. visat att samförbränning med rötslam både minskar risken för bäddagglomerering och risken för högtemperaturkorrosion[7]. Innehållet av metaller kan dock påverka de resulterande askornas innehåll av oönskade metaller negativt.

Emissioner

Man kan förvänta sig en ökning av SO_2 i rökgasen. Beroende på inblandningsgraden kan extra reningsåtgärder behövas. Dessutom kan slam orsaka en ökad halt av sulfat i avloppsvattnet vid rökgaskondensering, detta i sin tur leder till en ökad användning av neutraliserande kemikalier.

Den höga kvävehalten i slam kan ge högre utsläpp av kväveoxider och kräva NO_x-reducerande åtgärder. Vid förbränning i fluidiserade bäddar har man dock noterat oförändrad NOx vid inblandning av rötslam upp till motsvarande 10 % av ts [8] .

Beläggningar/korrosion

Beläggningar har rapporterats bli mindre kladdiga samt få en kraftigt reducerad halt av klor vid inblandning av rötslam i bränslemixen [10]. Vid försök vid Chalmers CFB-panna har man bl.a. visat att inblandning av 8-10 % rötslam, räknat på ts, medfört att det bildats mindre mängd beläggningar [7,8,11] och att den mängd beläggning som bildas inte är korrosiv. Vid fullskaleförsök i Händelö avfallseldade CFB-panna minskade den uppmätta korrosionen på kylda provsonder inblandning av rötslam. [8]

3.19.1 Lagar

Rötslam klassas som avfall. Nedanstående lagar och föreskrifter ställer bland annat krav på kontinuerlig och periodisk mätning av olika parametrar, 2 sekunders uppehållstid vid 850°C och gränsvärden för utsläpp till luft och vatten.

Avfallsförordning (2011:927)

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Kommunalt slam är inte berättigat till elcertifikat. (Det är däremot den biogas som produceras vid rötning av slam.)

NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG
av den 4 december 2000 om förbränning av avfall. (Upphör att gälla 2014-2016 se vidare kapitel 5. Lagstiftning)

Förordning om förbränning av avfall SFS 2002:1060

Naturvårdsverkets författningssamling **NSFS 1994:2** föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket;

Förordning (1998:944) om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter

3.19.2 Analyser och nyckeltal

Tabell 3.19.2 Analys kommunalt slam fällda i huvudsak med Fe-salter/ Analysis sewage sludge precipitated mainly with Fe-salts

Prov	Exempel [12]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	72,2		74,1	70,8	83,4	20
Aska (torrt)	42,3		43,4	41,0	53,1	24
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	24,0		22,3	19,8	24,0	12
Hkal (leverans)	3,9		3,0	1,8	3,9	9
Heff (torrt askfritt)	22,3		20,7	18,2	22,3	13
Heff (leverans)	1,8		1,0	-0,3	2,8	11
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	54,4		52,2	46,9	54,4	14
H (väte)	7,8		7,4	7,0	7,8	14
O (syre)	29,0		32,3	29,0	38,0	14
S (svavel)	2,4		1,9	1,4	3,0	15
N (kväve)	6,2		6,3	5,3	9,2	17
Cl (klor)	0,10		0,10	0,05	0,25	15
Askanalys						
	mg/kg ts	*mg/kg aska*	*mg/kg aska*			
Al (aluminium)	20 900	49 409	48 092	30 278	116 000	22
As (arsenik)			10	5,6	20	13
Ba (barium)	300	709	845	286	1 395	14
Ca (kalcium)	25 800	60 993	59 378	37 400	94 884	22
Cd (kadmium)			2,0	1,1	12	19
Co (kobolt)	13	31	19	6,1	31	18
Cr (krom)	35	83	81	34	447	20
Cu (koppar)	360	851	888	388	1 487	21
Fe (järn)	82 400	194 799	179 900	100 000	233 645	22
Hg (kvicksilver)			2,0	0,9	7,4	11
K (kalium)	4 600	10 875	8 938	1 102	18 600	21
Mg (magnesium)	4 300	10 165	10 083	3 673	13 256	22
Mn (mangan)	300	709	735	421	1 938	21
Mo (molybden)			17	6,2	20	10
Na (natrium)	2 200	5 201	4 936	1 430	8 500	18
Ni (nickel)	20	47	48	3	247	20
P (fosfor)	34 000	80 378	75 600	48 900	105 030	24
Pb (bly)	26	61	71	22	424	19
Sb (antimon)			8,0	0,8	28	6
Si (kisel)	45 500	107 565	108 333	72 778	200 000	17
Ti (titan)	5 000	11 820	4 583	347	11 820	16
Tl (tallium)			20	20	20	1
V (vanadin)	40	95	51	25	135	18
Zn (zink)	720	1 702	1 639	484	3 176	19

Tabell 3.19.3 Analys kommunalt slam fällda i huvudsak med Al-salter/ Analysis of sewage sludge precipitated mainly with Al-salts

Prov	**Exempel [13]**		**Median**	**Spann**		**Antal**
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	78,1		78,6	75,0	81,5	12
Aska (torrt)	39,2		38,6	34,0	43,8	12
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	21,3		21,2	20,5	23,1	6
Hkal (leverans)	2,8		2,7	2,6	3,3	6
Heff (torrt askfritt)	19,6		19,5	18,9	21,6	7
Heff (leverans)	0,7		0,6	0,4	2,2	7
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	50,0		50,0	48,4	53,6	7
H (väte)	7,6		7,3	6,8	7,7	7
O (syre)	35,7		35,5	31,4	36,5	7
S (svavel)	1,3		1,3	1,0	1,5	7
N (kväve)	5,4		6,3	5,0	7,5	11
Cl (klor)	0,07		0,10	0,06	0,17	6
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	76 900	196 173	191510	154987	252078	10
As (arsenik)			12	6	21	5
Ba (barium)	300	765	735	460	1559	6
Ca (kalcium)	17 000	43 367	45894	21839	69542	9
Cd (kadmium)	1,0	2,6	2,5	1,2	24	12
Co (kobolt)	7,0	18	10	2	23	9
Cr (krom)	62	158	101	66	174	11
Cu (koppar)	260	663	763	603	1213	11
Fe (järn)	21 000	53 571	44601	32759	66316	9
Hg (kvicksilver)			1,3	0,65	3,9	7
K (kalium)	3 900	9 949	9949	3382	12500	9
Mg (magnesium)	2 600	6 633	7008	5172	8824	9
Mn (mangan)	700	1 786	1480	431	2965	8
Mo (molybden)			13	10	17	5
Na (natrium)	1 900	4 847	4847	1006	7277	7
Ni (nickel)	13	33	35	12	43	11
P (fosfor)	23 800	60 714	70706	42529	94879	12
Pb (bly)	19	48	49	39	118	10
Sb (antimon)			7,0	1,3	51	6
Si (kisel)	41 100	104 847	97164	85588	126056	8
Ti (titan)	3 700	9 439	3947	559	10094	7
Tl (tallium)			23	23	23	1
V (vanadin)	38	97	54	32	108	7
Zn (zink)	570	1 454	1397	904	6739	11

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.19.4 Nyckeltal rötslam fällda med järnsalter. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers municipal sewage sludge (Fe) . Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**0.84**	**0.82**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.03	0.03
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	4.2	**3.6**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0.45**	**0.48**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	2.09	2.16
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0.09	0.08

Tabell 3.19.5 Svavel- och fosforkvoter för rötslam (Fe). Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphor numbers for municipal sewage sludge (Fe). Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	1.5	1,9
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0.31	0,33
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	23.3	18.0
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.76	0,74

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att*

effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.

Tabell 3.19.6 A. *Nyckeltal rötslam fällda med aluminiumsalter. Värden beräknade enligt Bilaga A Värden i fet stil är inom riskområden.*
Key numbers municipal sewage sludge (Al) . Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	0.29	0.27
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.08	0.08
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**2.7**	**2.6**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0.45**	**0.47**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	0.51	0.49
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0.08	0.09

Tabell 3.19.7 *Svavel- och fosforkvoter för rötslam (Al). Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).*
Sulphur and phosphorus numbers for municipal sewage sludge (Al). Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	1.8	1.8
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0.30	0.28
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	19.2	12,8
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.78	0,86

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.19.4 och 3.19.6 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Man kan dock konstatera att det inte föreligger någon risk, enligt dessa nyckeltal, för angrepp på bäddmaterial eller risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan. Svavel- och fosforkvoterna i tabell 3.19.5 och 3.19.7 visar att eldas bränslet i en fluidiserad bädd sker sannolikt ingen egenabsorption av svavlet i bränslet. Det finns visserligen ett visst överskott av kalcium jämfört med svavel, Ca/S=1,5 men om man

dessutom lägger till innehållet av fosfor så ser man att kalcium är i underskott. Det innebär att svavlet i bränslet till största delen återfinns i rökgasen och där kan undertrycka bildningen av klorinnehållande beläggningar. Man behöver därmed också designa rökgasreningen så att SO2-emissionen ligger inom tillåtna gränser. Fosforkvoten visar också att det finns fosfor som kan reagera med alkalit i bränslet. Rötslammen har dessutom ett mycket högt S/Cl-förhållande. Sammantaget visar nyckeltalen att rötslam har potential att användas som samförbränningsbränsle för att minska risken för klorinducerad korrosion. Vid försök har det också visats att risken för agglomerering av bäddmaterial i en fluidbäddpanna minskar vid inblandning av rötslam till en bränsleblandning.

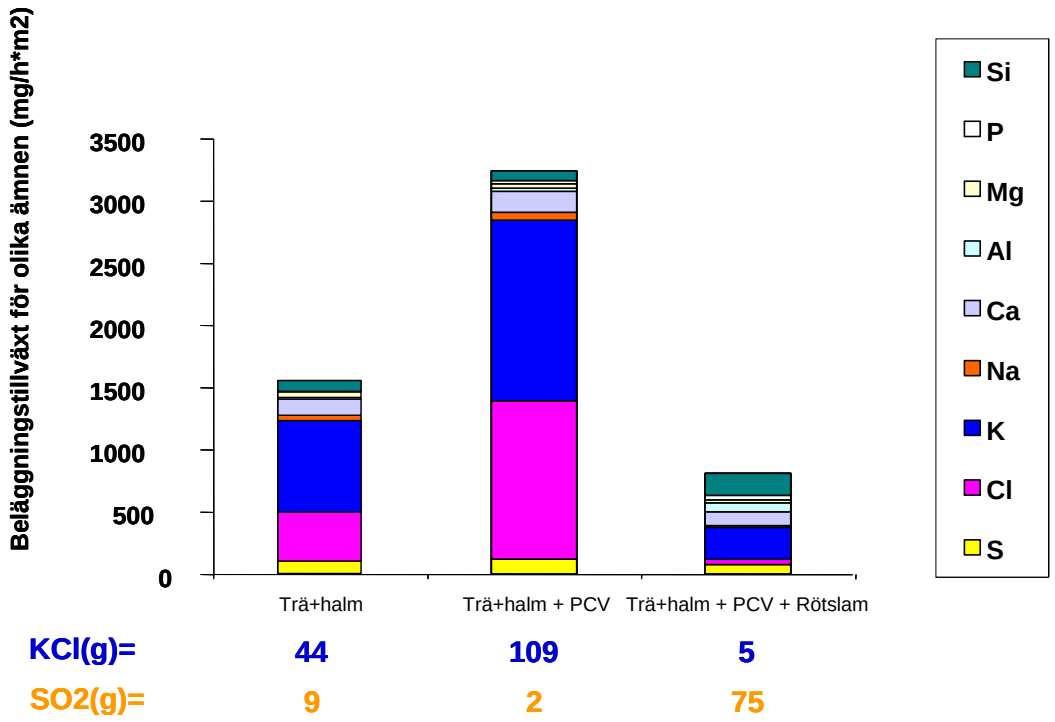
3.19.3 Drifterfarenheter

Inga pannor förbränner i dagsläget (2009) kommunalt rötslam. Torkat kommunalt rötslam har däremot eldats i cementugnar där askan blir en del av cement, betong eller tegel.

Inom Värmeforsk har tester med samförbränning av rötslam genomförts i flera projekt. Projektet ”Ramprogram-Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem” etapp 1-3 har bl.a. studerat effekten av att samförbränna rötslam (4-10 % av ts) med biobränsle (trä+halm+rötslam) och med avfall (bark + avfallspellets + rötslam). Försöken har genomförts vid Chalmers 12 MWth CFB-panna där man har installerat en slampump för dosering av slam till eldstaden. Resultaten har visat att samförbränning med rötslam[7,8]:

- Ger ingen ökad NOx-bildning vid testade nivåer
- Ger ökade halter av SO_2 i rökgasen
- Minskar risken för bäddagglomerering i en fluidiserad bädd
- Minskar mängden beläggningar på tempererade sonder
- Klorhalten i beläggningar minskar kraftigt
- Risken för korrosion på överhettartuber minskar

Figur 3.16.5 visar sammansättningen och mängden beläggning vid försök med trä/halm-pellets, trä/halmpellets + dosering av PVC (för att öka klorhalten) samt dosering av rötslam, 8 % av ts, till trä/halmpellets + dosering av PVC. Figuren visar även halten KCl och SO_2 i rökgasen.



Figur 3.19.5 Beläggningstillväxt på sondprover tempererade till 500 ˚C. Data från [7] / Deposit growth on tempered probes 500 ˚C

Värmeforskrapport nr 741 visar en sammanställning av litteraturen om sameldning av rötslam med avfalls- eller skogsbränslen fram till rapporttillfället (2001) samt en del egna småförsök kring sameldning med biobränslen-skogsavfall (hyggesrester ”GROT”), kol eller träavfall (RT-flis). Tonvikt i rapporten lades på rötslam då redan 70 % av slam från svenska reningsverk rötades vid rapporttillfället[14] .

Wykes Engineering i Wymington, UK har utfört försök i pilot och full skala med förbränning av rötslam tillsammans med kött- och benmjöl. Inblandningen av rötslam var 50 vikts-%, men bidraget till energiinnehållet var endast ca 3 %. Trots det låga värmevärdet var resultatet positivt eftersom rötslammet ersatte den vattenmängd man annars tillförde köttmjölet innan förbränningen. [15]

Resultat från försök utförda i en 750 kW fluidiserad bädd visar på att sameldning av RT-flis (80 %) och rötslam (20 %) i form av en slurry med ca 80 % fukthalt visar på en ökad stoftbelastning samt en förhöjd halt av SO_2, NO_x och saltsyra i rökgasen. Analys av påslag visar på en reduktion av klorhalterna till noll eller mycket låga värden. Påslagen var också betydligt lättare att ta bort från testsonder jämfört med de påslag som bildades vid enbart RT-bränsle. [10]

Sameldning av avloppsslam och kol eller trä i pannor med cirkulerande fluidiserad bädd (CFB) har resulterat i följande erfarenheter som bör beaktas vid sameldning:

- Avloppsslammets höga askhalt resulterar i väsentligt ökade askflöden. Men även om alkalikoncentrationerna är höga i avloppsslammets aska är koncentrationerna inte kritiska, och tendenser till beläggningar observerades inte.
- Spårämnesflödet ökar med ökande slamandel. Emissionen av metaller i rökgasen var emellertid väl under befintliga gränsvärden (EUs). Spårämnena tenderar att anrikas i flygaskan.
- I allmänhet kan mycket låga omvandlingsgrader av bränslekväve till NO och N_2O (2-4%) uppnås.
- Mätningar visar att en optimal gasuppehållstid vid sameldning med slam gör emissioner i en CFB-panna är 6-7 sekunder. Sådana uppehållstider kan uppnås tack vare CFB-pannornas stora cykloner, som delvis kanske kan ersätta en stor efterbrännkammare. [11]

Sameldning av returträ och rötslam har undersökts i ett projekt finansierat av Energimyndigheten [16]. Målsättningen med projektet var att visa vilken potential som finns för sameldning av två avfallsfraktioner. Försöken utfördes i Chalmers 12 MW CFB. Resultaten visade bland annat att beläggningarna minskade när slam blandades in i bränslemixen.

3.19.4 Rekommendationer

Rötslam kan med fördel samförbrännas med andra avfallsbränslen för att minska risken för bäddagglomerering och korrosion. Mängden rötslam som behövs ligger uppskattningsvis mellan 4-10 % av ts beroende på vilka bränslen som eldas.

Eftersom rötslam innehåller höga askhalter, metaller, svavel och kväve kan åtgärder behöva tillgripas för att innehålla gällande miljökrav.

Den höga fukthalten gör att mängden slam som kan samförbrännas begränsas. Torkning av rötslam torde därmed kunna vara av intresse.

3.19.5 Risker kring förbränning av kommunalt slam och rötslam

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.
Trots att det inte sker någon förbränning av slam i svenska energianläggningar idag finns det en del samlade erfarenheter bl.a. från genomförda proveldningar. Några av de risker som har identifierats vid eldning av kommunalt slam redovisas nedan:

- Svårigheter att förbränna icke avvattnat slam, låga inblandningar av fuktigt slam (5-15%) är däremot möjligt utan problem med att hålla pannlasten [17]
- Ökade emissioner av SO_2

- Kan ge ökade emissioner av NO_x (men det beror av inblandningsmängden och vilken typ av panna som används, i fluidiserade bäddar har noterats oförändrad NO_x vid inblandning av < 10 % rötslam).
- Kan ge en förhöjd halt av saltsyra i rökgasen
- Ökad sulfathalt i avloppsvatten från rökgaskondensering
- Ökade mängder botten- och flygaska med problem med kapacitetsbegränsningar vid askhanteringssytemen till följd
- Förhöjda alkalikoncentrationer i askan
- Innehåll av tungmetaller

Förbränningstekniska åtgärder

Med tanke på att eldning av kommunalt slam medför en hel rad risker vid förbränning är det viktigt att anläggningen är väl anpassad för att klara de ökade krav som ställs. Ett av dessa krav är att anläggningen har vidtagit förbränningstekniska åtgärder samt har en god rökgasrening som klarar av att rena högre nivåer av kväve- och svaveloxider. För att reducera kväveoxiderna kan t.ex. reningssteg med ammoniak användas. För att klara svaveloxiderna kan kalk tillsättas i pannan.

Rökgasreningen måste också klara att fånga de tungmetaller som förbränning av rötslam innebär. En avhandling gjord på Chalmers visar att flyktiga metaller binds till beståndsdelar i flygaskan och att de kan fångas in med hjälp av ett rökgasfilter såsom elfilter [18].

Genom att använda fluidiserade bäddar för förbränning av slam kan problematiken reduceras mha god förbränningsteknik då det har noterats oförändrade kväveoxidemissioner vid låg inblandning av rötslam (<10% av ts).

Ett sätt att förenkla förbränningen av rötslam är genom att först preparera det, d.v.s. genom att slammet avvattnas eller torkas före förbränning. Om slammet torkas till en ts-halt på minst 60 % kan det förbrännas utan stöd- eller sameldning. [17]

Förbränning av slam kräver också särskild hantering av både flyg- och bottenaska med tanke på de tungmetaller slammet kan innehålla.

Risker och åtgärder vid hantering av kommunalt slam/rötslam

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger på exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

Hantering av kommunalt slam/rötslam

Kommunalt slam ses i princip inte som ett alternativt bränsle som kan eldas till 100 % utan snarare som en produkt som reningsverken på något sätt behöver destruera. Inblandning av små mängder slam kan ge positiva effekter vid förbränning medan förbränning av större andelar slam bidrar till en lägre tillförd bränsleeffekt.

Exempel på risker vid hantering
Kommunalt slam är ett otrevligt bränsle att hantera av flera anledningar. Slammet innehåller mikroorganismer, dels mikroorganismer tillsätta vid olika reningssteg vid reningsverken och dels bakterier från avloppsvattnet. Det kan också innehålla smittsamma virus. Andra föroreningar i slam kan vara metaller som bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver nickel och zink samt miljöfarliga organiska ämnen (bromerade flamskyddsmedel, hormoner, antibiotika, läkemedelsrester etc.). Med tanke på slammets innehåll bör all manuell hantering minimeras.

Slammets innehåll av bakterier medför att all lagring leder till en extra bakterietillväxt. Speciellt problematiskt kan detta vara vid oförutsedda driftsstopp i förbränningsanläggningen som kräver längre lagringstid än planerat.

Slammet är svårt att hantera i förbränningsanläggningarnas system, bland annat kan det medföra hängning och extra slitage i inmatningssystemen.

Vid hantering av aska bör alltid försiktighetsåtgärder vidtas då detta är ett mycket finkornigt material som innehåller tungmetaller och kan påverka andningsvägarna.

Exempel på åtgärder
Automatisera hanteringen av slammet så långt det går, minimera all manuell hantering. Om det krävs manuella arbeten, se till att det finns rutiner för hur dessa ska göras och vilken skyddsutrustning som bör användas. Hantera slammet i stängda system.

Genom att ha rutiner för hur slammet hanteras vid driftsstopp kan riskerna för extra bakterietillväxt reduceras. Rötat slam kan förvaras i slamlager, medan orötat slam istället bör cirkuleras i reningsverkets process (slamåterföring).

Genom att endast hantera och elda en låg andel slam reduceras de risker slammet innebär vid hanteringen. Mängden bakterier och otrevliga ämnen minskas och därmed också risken för personalen att utsättas för dem. Samtidigt då mängden slam som hanteras minskar reduceras även det slitage det innebär på anläggningens system.

3.19.6 Referenser

1 Naturvårdsverkets rapport, ”Rening av avloppsvatten i Sverige 2006” ISBN 978-91-620-8372-4

2 Miljörapport enligt Miljöbalken 2009 GRYAB

3 Finnson A., Föredrag vid Svenskt Vatten seminarium 2008-11-27: Avloppsdag med teman produktion biogas, slamcertifiering samt uppströmsarbete.

4 SNFS 1994:2

5 Avloppsslam som en cancerfara som förgiftar våra åkrar ”Dagens Nyheter 2009-04-192

6 Personlig referens: Henrik Tidström SWECO

7 Gyllenhammar M., Herstad Svärd S., Davidsson K., et.al. ”Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem-etapp 2” Värmeforskrapport 1037, 2007.

8 Värmeforsprojekt A08-817 ”Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem-etapp 3”

9 Värmeforskprojektet A08-801 ”Effekter av fosfortillsats via bränsleadditiv/sameldningsbränslen på beläggnings-/korrosionsbildningen vid förbränning av biomassa

10 Engvall, K., Zintl, F. Sameldning med rötslam. TPS rapport TPS-01/33, 2001

11 Åmand, L-E. Leckner,B., Lücke,K., Werther,J. Advanced air staging techniques to improve fuel flexibility, reliability and emissions in fluidized bed combustion. Värmeforskrapport 756, 2001.

12 Värmeforsprojekt A08-817 ”Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem-etapp 3” slamanalys slam 147.

13 Värmeforsprojekt A08-817 ”Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem-etapp 3” slamanalys slam 143.

14 Linder, K. Sameldning av rötslam och energirika avfallsbränslen eller skogsbränslen. Värmeforskrapport 741, 2001

15 Slutrapport “Biomass/Waste FBC with Inorganics Control (BIFIC)”, EU project kontrakt no: ENK5-CT-2000-00335.

16 STEM projekt nr P13807-1.2. Measurement of inorganic material in different particle sizes. Tullin C., Eskilsson D., Åmand, LE. 2004.

17 Starberg K., Haglund J-E., Hultgren J., Slamförbränning, VA-forsk Rapport 1999;11

18 Avloppsslam ger mervärde vid förbränning, Elled Anna-Lena, artikel på Chalmers nyheter, 2008

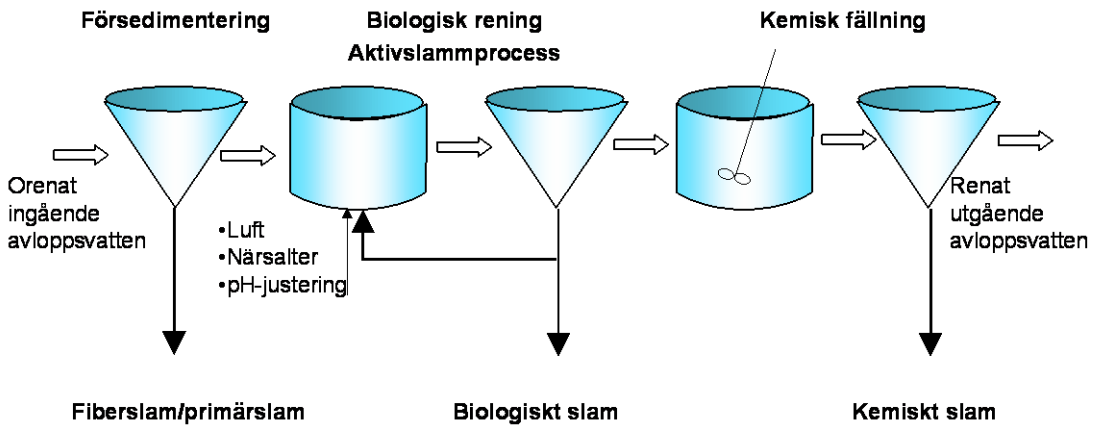
Läs mer om rötslam

- Ljungdahl, B., Zintl, F. RT-flis och rötslam. Problemidentifiering relaterad till bäddsintring och emissioner vid eldning i FB. Värmeforskrapport 753, 2001.
- Lopes M.H., Abelha P., Lapa N., Oliviera J.S., Cabita I., Gulyurtly I. The behaviour of ashes and heavy metals during the co-combustion of sewage sludges in a fluidised bed. Waste Management 23 s 859-870, 2003.

3.20 Skogsindustriella slam

Skogsindustrin producerar idag ca 560 000 ton slam/år räknat som torrsubstans [1]. De producerade slammen avskiljs i brukens avloppsvattenrening där de olika processströmmarna samlas upp och behandlas.

Ett reningssystem kan bestå av olika delsteg men det varierar från fall till fall. De kan variera i antal och också placeras i annorlunda ordning, ett exempel visas i Figur 3.20.1.



Figur 3.20.1 Schematisk skiss över ett avloppsvattenreningssystem.[1]
Principle sketch of a wastewater treatment system.

Slammen definieras utifrån vilket vattenreningssteg eller processström/avlopp det kommer ifrån. I de flesta fall blandas strömmarna från de olika reningsstegen till ett blandslam alternativt matas slammen in som separata strömmar men eldas tillsammans i en panna oftast en barkpanna. I vissa fall väljer man att elda en slamström separat t.ex. bioslam som på vissa ställen eldas i sodapannan. I Tabell 3.20.1 redovisas mängden skogsindustriellt slam som producerades år 2001 uppdelat på olika strömmar[1].

Tabell 3.20.1 Slammängder inom svensk skogsindustri år 2001.[1]
Sludge production in the Swedish pulp- and paper industry year 2001.

Typ av slam	**Ton ts/år (baserat på uppgifter från 60 svenska bruk)**
Fiberslam	186 000
Kemslam	42 000
Bioslam	72 000
Avsvärtningsslam	185 000
Övrigt (Blandat slam, returpappersrejekt, spill av beläggningssmet.)	74 000
Summa	**560 000**

Vanligtvis eldas slam i brukens egna barkpannor i form av ett mekaniskt avvattnat blandslam. Förutom att mekaniskt avvattna slam så tillämpas i vissa fall även torkning exempelvis med hjälp av sol och vind eller traditionell termisk torkning. En torkanläggning är dock i allmänhet betydligt mer kostnadskrävande än en avvattningsutrustning.

De senaste åren har man börjat undersöka olika möjligheter att elda bioslammet separat bl.a. beroende på att de är svåravvattnade. Idag eldas bioslam i sodapannan på ett bruk i Sverige och ett par bruk i Finland.

En stor del av den producerade slammängden, 68 %, eldas upp i brukens pannor. Resten av slammet går i lika delar till deponi och till annat. Till annat kan vara försäljning av fiberslam till fluting, slam till jordförbättring eller täckmassa på tipp. Energipotentialen i det producerade slammet uppgår till drygt 2 TWh/år. Idag produceras ca 1 TWh/år vid förbränning i brukens egna pannor vilket innebär att det finns mer energi kvar att utnyttja.

För att kunna beskriva de olika varianterna av skogsindustriellt slam har i denna handbok begreppet slam delats upp i undergrupperna:

- Fiberslam
- Bioslam
- Kemslam
- Avsvärtningsslam

Eftersom slam även varierar mycket inom samma undergrupp redovisas inledningsvis en del fakta och generella betraktelser om skogsindustriellt slam i stort.

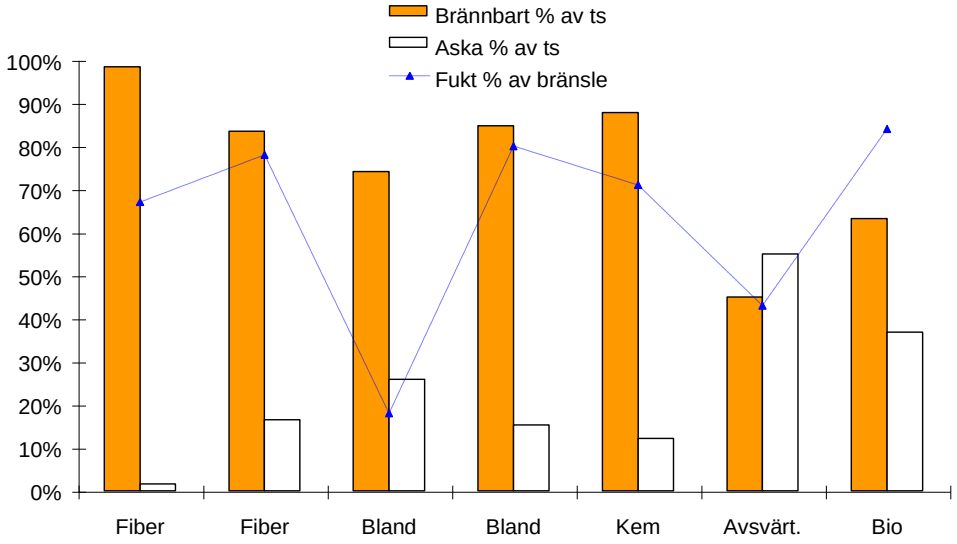
Hantering av skogsindustriellt slam skiljer sig från de hanteringssteg som finns på en värmeanläggning eftersom slammet vanligtvis förbränns på samma anläggning (bruk) där det producerats. Därför sker inte lossning eller lagring alls på samma sätt som för övriga bränslen i denna handbok. En annan skillnad på slam och andra bränslen är att vissa typer av slam, t.ex. bioslam, inte ses som något bränsle utan bara en restprodukt som bruket behöver destruera och eldning ses då som ett alternativ. Andra typer av skogsindustriella slam, t.ex. fiberslam, är mer värt för bruket då det är lättare att hantera och har ett högre värmevärde.

Den brännbara substansen av slam, dvs. om man bortser från fukt och aska, kan jämställas med konventionella bränslen som flis, bark etc. Därtill kommer sedan att olika slam har olika fukthalt, olika askhalt samt varierande sammansättning på askan. En komplikation med slam är att det inte är en homogen grupp av bränslen utan att slammen varierar i sammansättning från bruk till bruk och inom bruket (beroende på typ av massa- och pappersprocesser, vilka produkter bruken producerar, vilka avloppsvattenströmmar som renas, val av reningsteknik, vattenreningskemikalier, avvattningsutrustning etc.). Slam får därmed varierande egenskaper generellt kan dock konstateras att slam har:

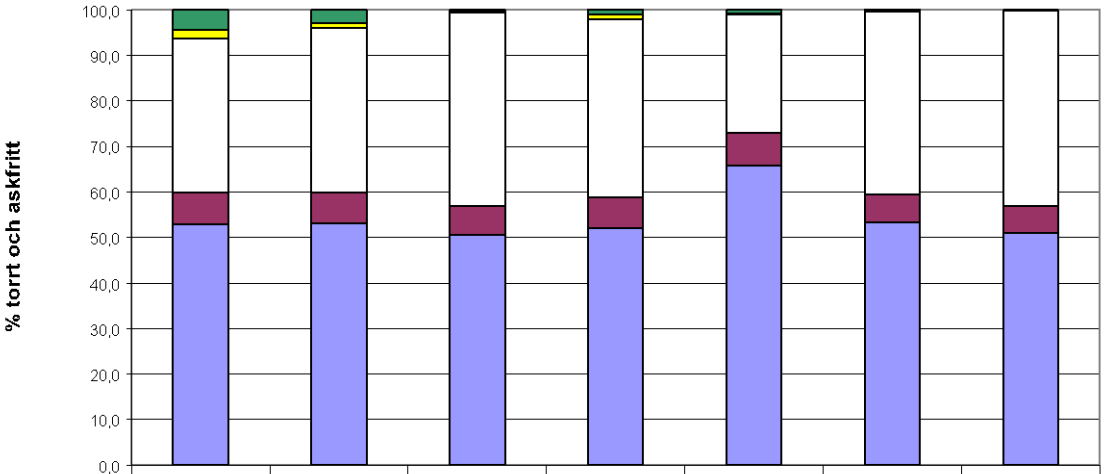
- Ofta en relativt hög fukthalt vilket sänker energiutbytet och även kan ge förbränningstekniska och hanteringsmässiga problem. Ofta är fukthalten så hög att vid samförbränning med bark krävs en extra torr bark eller att olja måste tillföras som stödbränsle. Det är därför viktigt att slammet är väl avvattnat innan det förbränns.

- I vissa fall höga svavel- och kvävehalter vilket leder till ökade utsläpp av svaveldioxid och kväveoxider om man inte vidtar åtgärder.
- Ofta höga askhalter vilka ställer speciella krav på askhanteringsutrustningen. Askkomponenterna kan i vissa fall utgöras av lågtemperatursmältande komponenter som leder till ökade risker för påslag och sintringar. Askan kan i andra fall innehålla komponenter som minskar sintringar och/eller adsorberar sura komponenter.

I Figur 3.20.2 visas exempel på översiktsanalys för några olika slam. I Figur redovisas medelvärden på elementarsammansättningen på några bioslam, fiberslam, kemslam, avsvärtningsslam samt blandslam. I figuren visas även elementarsammansättningen på bark och flis som jämförelse.



Figur 3.20.2 Exempel på översiktsanalys för några olika slam.[1] / Examples of sludge analysis.



	Bio 6 st	Bland 8 st	Fiber 7 st	Kem 9 st	Avsvärt 2 st	Bark	Flis
Cl [% maf]	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
N [% maf]	4,4	2,9	0,4	0,9	0,8	0,3	0,2
S [% maf]	1,8	1,1	0,2	1,2	0,2	0,0	0,0
O [% maf]	33,8	36,2	42,4	39,1	26,0	40,2	42,7
H [% maf]	7,0	6,6	6,5	6,6	7,2	6,2	6,1
C [% maf]	53,0	53,2	50,5	52,1	65,7	53,3	51,0

Figur 3.20.3 Elementaranalyser skogsindustriella slam - medelvärden.[1]
Ultimate analyses for pulp and paper sludges - average values.

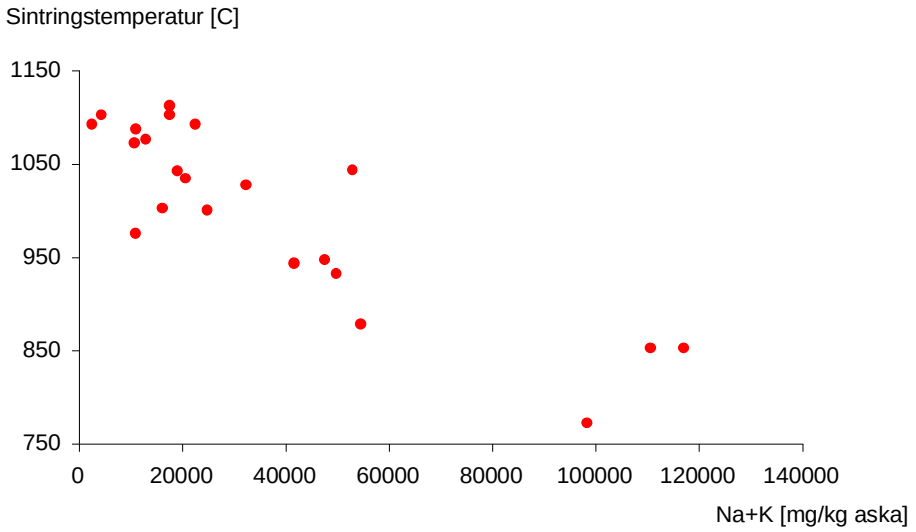
Det effektiva värmevärdet på fuktigt slam ligger ofta lågt kring 4 MJ/kg. Värmevärdet styrs i första hand av fukthalten men också av askhalten i bränslet. Torkas slammen kan värmevärdet ökas betydligt.

Tabell 3.20.2 Värmevärden på skogsindustriella slam - medelvärden.[1]
Heating values for pulp and paper sludges - average values.

Slamtyper	**Effektivt värmevärde**		
	MJ/kg torrt askfritt	**MJ/kg torrt**	**MJ/kg**
Bioslam (6 st)	**19,9** (18-22,5)	**14,1** (10-16)	**1,5** (0,2-3)
Blandslam (8 st)	**20,3** (18-22,7)	**15,6** (12-17,5)	**3,5** (2-14)
Fiberslam (7 st)	**18,8** (17-21)	**16,8** (12-21)	**3,5** (1-5,5)
Kemslam (9 st)	**19,8** (17-22)	**17,1** (13-20)	**4,3** (3-6)
Avsvärtningsslam (2 st)*	**21,2** (20,8-21,6)	**9,1** (8,8-9,4)	**4,3** (4,3-4,4)

** Avsvärtningsslammen är uttagna från samma bruk*

Askhalten men även askans egenskaper varierar mycket mellan olika slam. Vissa slam kan öka risken för beläggningar och bäddsintringar medan andra slam, t.ex. avsvärtningsslam, tenderar att minska dessa risker. Om ett slam är ett sintringsbenäget bränsle beror främst på innehållet av alkalimetallerna natrium och kalium. Hur hög askhalt slammet har, inblandningskvot och hur väl slammet blandas med övrigt bränsle avgör om sintringsbenägenheten slår igenom och ger problem. I Figur visas resultat från labförsök där 100 % slam testats med avseende på sintringsegenskaper i en fluidiserad labreaktor [1].



Figur 3.20.4 Sintringstemperatur som funktion av alkalihalt i askan.[1]
Sintering temperature versus sodium and potassium content in ash.

3.20.1 Lagar

Ur ett myndighetsperspektiv är slam ett bränsle som i de flesta fall undantas från EU:s direktiv för förbränning av avfall om det förbränns på platsen där det producerats. Slam betraktas som ett biobränsle när det gäller utfärdandet av elcertifikat. Förbränningen av skogsindustriellt slam omfattas av följande lagar och förordningar:

Avfallsförordning (SFS 2011:927)

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Skogsindustriellt slam ger elcertifikat.

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG
av den 4 december 2000 om förbränning av avfall (Gäller enbart vissa slam)
(Upphör att gälla 2014-2016. Läs mer i kapitel 5. Lagstiftning)

Förordning om förbränning av avfall SFS 2002:1060 (Gäller enbart vissa slam)

NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning

I [2] står det mer om EU:s direktiv för förbränning av avfall och skogsindustriellt slam.

3.20.2 Driftserfarenheter generellt

Det är inte helt oproblematiskt att elda skogsindustriellt slam, speciellt inte fuktigt sådant. I rosterpannor är det vanligt att fuktigt slam medför problem med fastkladdning och sintring. Det fungerar däremot bättre vid eldning i fluidbäddpannor. Vid eldning av slam med hög fukthalt, och högre inblandningar (runt 30 % slam) kan det krävas stödbränsle för att hålla tryck och temperatur i pannan. För att spara stödbränsle kan slammet torkas [3].

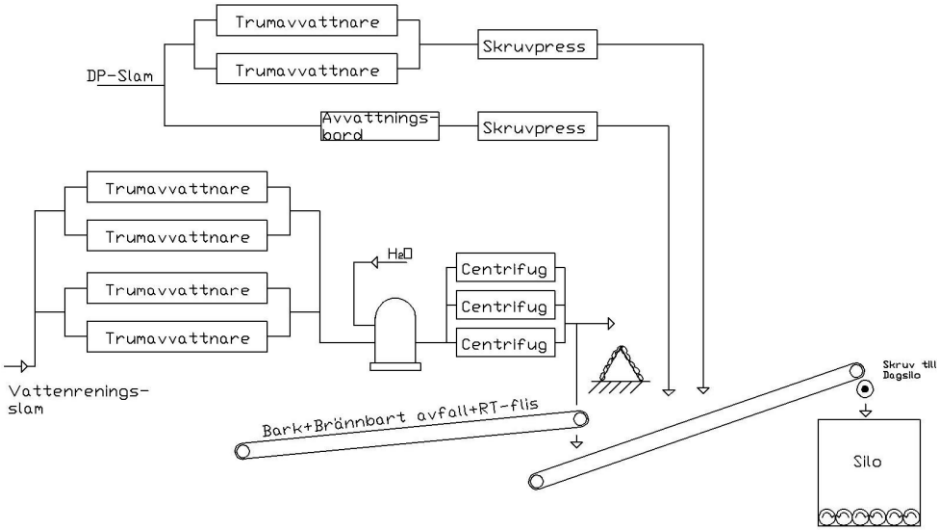
En stor del, eller ca 68 %, av det skogsindustriella slammet eldas eller destrueras i brukens egna pannor. I Tabell nedan presenteras en sammanställning på bruk som eldar skogsindustriellt slam. I det stora hela så går det bra att förbränna slam och de flesta bruk har anpassat sin utrustning och lärt sig hantera sina slam. Inmatningen av slam är dock en kritisk punkt och varje bruk får anpassa inmatningen till det slam som erhålls.

Vissa slam har, som tidigare nämnts, en asksammansättning som skulle kunna orsaka problem med ökade sintringstendenser. Erfarenheten från de bruk som eldar slam är dock att dessa problem inte är speciellt uttalade. Slam innehåller höga halter av svavel vilket medför ökade utsläpp av NO_x. Ett problem som eldning av fuktigt slam medför är ett ökat behov av primärluft, vilket i sin tur medför ökade NO_x-utsläpp [3]. Blir det problem vid förbränning av slam så är det nästan alltid bränslehanteringen som fallerar.

Rapporteras sintringstendenser är det oftast i samband med ojämn inmatning eller lokalt förhöjda temperaturer i eldstaden. De flesta bruk som eldar sitt slam har en mycket låg inblandningsandel, under 10 % energiinblandning, vilket kan förklara att man inte märker några ökade sintringstendenser. Vissa slam t.ex. avsvärtningsslam innehåller askkomponenter som minskar risken för sintringar och påslag. Tidningspappersbruken, där huvuddelen av slammet består av avsvärtningsslam, eldar också ofta en stor andel slam. Askhanteringsutrustningen måste dock anpassas då dessa slam består till 40-50 % av aska räknat på torrt bränsle.

Slammens hanteringsmässiga egenskaper varierar mycket beroende på slamtyp och man måste anpassa bränsleinmatning och förbränningsbetingelser efter vilket slam och hur stor andel som skall eldas. Branschen har till stor del lärt sig hantera sina slam och har arbetat mycket med att minska fukthalten och att anpassa förbränningstekniken till sina bränslen, t.ex. bygga om sina pannor till fluidiserade bäddpannor. Eftersom många slam, speciellt de som innehåller höga andelar bioslam, kletar i skruvar och på transportörer och sprider lukt är det ur hanteringssynpunkt önskvärt att tillsätta slammet till eldstaden så sent som möjligt. Detta får dock vägas mot den risk för ojämnheter i bränsleflödet till pannan som då kan uppstå.

Ett exempel på inmatningssystem visas i Figur. Här läggs slammet som en sträng på bark eller flis och matas därefter till pannan i ett system av transportörer, elevatorer och skruvar. För att undvika hängningar med denna lösning verkar det som en direkt reglering av transportörerna mot pannlasten är att föredra framför att mellanlagra bränslet i en silo. Detta gäller dock främst fuktigt slam.



Figur 3.20.5 Exempel på inmatningssystem där slam läggs som en sträng på övrigt biobränsle.[1] / Example of sludge feeding system.

Vid långa avstånd används ofta bandtransportörer för att forsla bränsle till pannan. Om denna teknik används för att transportera slam kan slammet lätt fastna på bandet och följa med runt och därmed spridas under hela transportören. Ur renhållningssynpunkt är detta oacceptabelt speciellt för illaluktande slam t.ex. bioslam.

För transport av bioslam och även i vissa fall kemslam måste hela systemet utformas tätt för att undvika luktspridning. Kletiga slam med lågt fiberinnehåll och hög fukthalt som t.ex. bioslam går utmärkt att pumpa in i pannan. Denna teknik tillämpas exempelvis vid Chalmers Tekniska Högskola där vissa slam pumpas in till deras CFB-panna.

En unik lösning för kvittblivning av slam som kan tillämpas på sulfatbruken är att bränna slammet tillsammans med svartluten i sodapannan. Slammet blandas då lämpligen in i svartluten före indunstningen varvid man får en alkalisk hydrolys och sönderdelning av cellmembranen. Bioslammet torkas/indunstas därefter tillsammans med luten.

Tabell 3.20.3 Sammanställning av skogsindustrier som eldar slam.[1]
List of pulp and paper industries firing sludge.

Bruk	Blandslam	Fiber-slam	Kem-slam	Bio-slam	Avsvärtn.-slam	Retur-pappers-rejekt	Eldningsteknik
Billerud, Karlsborg		X					Fast rost
Billingsfors			X				Rörlig rost
Braviken bruk	X (F,K,B)				X	X	Rörlig rost
Edet bruk	X (F,B,A)					X	BFB
Stora Enso Fors	X (F,K,B)						CFB
Assidomän Frövi	X (F,K)			X			BFB
Gruvöns bruk		X					Rörlig rost
Hallsta Bruk	X (F,B,A)					X	BFB
Husum Mills			X				BFB
Stora Enso Hylte	X (F,K,B)				X	X	CFB
Kappa Kraftliner Piteå		X				X	Pulverpanna
Katrinefors bruk	X (F,K,B,A)					X	BFB
Korsnäs AB	X (F,B)						Halvrörlig rost
Stora Enso Kvarnsveden		X		X			Fast rost
Munsksjö Lagamill	X					X	Energos
SCA Packaging Munksund		X				X	CFB Compact
Mönsterås bruk		X		X			BFB
Mörrums bruk	X (F,B)						BFB
Stora Enso Nymölla	X (F,B)						BFB
Obbola (SCA Containerboard)	X (F,B)					X	Axonugn
SCA Ortviken	X (F,B)						BFB/Rörlig rost
Stora Enso Skoghall	X (K,B)	X					Halvrörlig rost
Stora Enso Skutskär		X		X			Eldar bioslam i Sodapanna
Billerud Skärblacka AB	X (F,B)					X	Rörlig rost
Utansjö bruk AB		X		X			Fast rost
Wargön	X (K,B)						Fast rost
Örebro kartongbruk AB						X	Vibra rost
Östrands bruk		X		X			BFB

X betyder att de har denna typ av slam som en separat ström. Flera strömmar kan dock sameldas i samma panna

X (F, K, B) betyder att de blandar olika slamtyper till ett blandslam där bokstäverna F, B och K markerar vilka slam av Fiber-, Bio- respektive Kemslam som ingår i blandningen.

Om man väl får in sitt slam i pannan och värmevärdet är acceptabelt så är slam förbränningsmässigt ett mycket bra bränsle. Det finns dock några saker som måste beaktas och kanske åtgärdas. I Tabell nedan sammanfattas några aspekter.

Tabell 3.20.4 Aspekter att beakta vid förbränning av slam.[1]
Aspects to consider when combusting sludge.

Att beakta	Åtgärd i pannan
Hög fukthalt	Ev. gå ner i last om pannan är begränsad på rökgassidan. Stötta upp med annat bränsle för att hålla uppe temperaturen.
Höjda NO_x och SO_2 –emissioner	Ev. utnyttja SNCR och/eller använda stegad förbränning för att minska NOx. Bioslam kan eldas separat i sodapannan. Tillsätta kalkinnehållande additiv eller slam till en fluidbädd och/eller kalciumhydroxid för avsvavling före spärrfilter.
Höga askflöden	Ökad askhanteringskapacitet.
Sintringsbenägna slam	Bra omblandning, låg inblandning av slam, tillsats av lermineraler (eller avsvärtningsslam smetspill etc.).
Förhöjda kloridhalter kan ge ökade HCl-utsläpp och/eller ökade beläggnings- och korrosions-problem.	Tillsats av svavel eller kaolin. Släckt kalk till textilfilter om man vill minska HCl-emissioner.

3.20.3 Rekommendationer generellt

Inom Värmeforsks ram har man arbetat mycket med skogsindustriella slam, se litteraturlistan, och nedan sammanfattas några rekommendationer/slutsatser bl.a. från [1].

- Det är viktigt att blanda slam och övriga bränslen jämnt. Ojämn bränsle-inblandning kan annars orsaka problem med ojämn förbränning, sintringar, CO-spikar etc.
- Vid de flesta bruk blandas relativt låga andelar slam (mindre än 10 %) vid sameldning med bark vilket medför att förbränningen endast marginellt påverkas av slammet och att eldningen generellt sett fungerar bra [4].
- Genom att använda en fluidbäddspanna, där bäddtemperaturen ofta är lägre än hos rosterpannor, kan sintringsrisken minskas. En annan åtgärd som förbättrar möjligheterna för eldning av slam är att först torka det [5].
- Fukthalten på slam är oftast hög och därmed värmevärdet lågt. Man bör av den anledningen avvattna slam mekaniskt så långt som möjligt men också för att minska mängden lösta salter som annars förs med slammet in till pannan. Vid behov kan slammen därefter torkas. En torrhalt över 45 % behövs oftast för att få ut en energivinst vid förbränningen.
- Askhalten varierar från enstaka % upp till över 50 % och har stor betydelse för om pannan måste anpassas till askmängd och/eller askegenskaper.
- Kvävehalten är högre i de slam som innehåller bioslam. Den ökade kvävehalten slår igenom som ökad emission av kväveoxider och kan därmed behöva mötas

med åtgärder. Förbränning av bioslam i sodapannor har dock inte lett till ökade NO_x-halter.

- Vissa slam, speciellt slam från sulfitbruk, innehåller höga svavelhalter. I en fluidbäddpanna kan svaveldioxiden som bildas reduceras genom samförbränning med kalkhaltiga slam t.ex. avsvärtningsslam alternativt tillsats av mesa, mesakalk, smetspill eller liknande som alternativ till kalksten eller dolomit.
- Slam från bruk där man bleker med klordioxid eller där veden innehåller mycket klorider kan innehålla förhöjda kloridhalter. (Även fällningskemikalier som polyaluminiumklorid kan orsaka en liten ökning som dock får betraktas som marginell). Förhöjd kloridhalt kan leda till ökad risk för korrosiva alkaliklorider och ökade emissioner av väteklorid. Samförbränning med ett svavelhaltigt slam kan vara en fördel ur korrosionssynpunkt.
- Sintringsförsök i en fluidbäddreaktor har visat att askans sintringsegenskaper i första hand påverkas av alkalihalten. Sintringstendenser kan dock minskas genom att blanda in slam med en mer gynnsam asksammansättning t.ex. avsvärtnings-slam.
- Resultat från fullskaleförsök med samförbränning av slam och träpellets på Chalmers har visat att askan i slam i många fall ger en god egenadsorption av svaveldioxid. Genom att blanda in slam eller andra restprodukter som innehåller kalk kan emissionerna ytterligare minskas.

Nedan förslås åtgärder för att hantera eventuella temperaturstigningar i pannan [6]:

CFB:	Cyklontemperatur >1000 °C	Gå ur med biobränsle
	Bäddtemperatur > 900 °C	Gå in med rökgasrecirkulation
BFB:	Bäddtemperatur > 980 °C	Gå in med rökgasrecirkulation
BFB:	Temp>1050 °C	Spruta in vatten

3.20.4 Fiberslam

Fiberslam är den slamprodukt som är mest värdefull vid skogsindustrierna. Det har ett högre innehåll av fibrer än de övriga slamprodukterna och är generellt sett lite enklare att hantera än övriga slam. Men på grund av att begreppet fiberslam är så brett kan kvalitén på olika fiberslam variera och därmed varierar även hanteringsaspekterna.

Ca en tredjedel av mängden skogsindustriellt slam som producerades 2001 utgjordes av fiberslam. Eftersom man eftersträvar att minimera fiberförlusterna inom skogsindustrin är tendensen att mängden fiberslam generellt sett kommer att minska. Fiberslam innehåller mestadels fibrer, barkpartiklar och sand. Begreppet används dock brett och kan omfatta allt från i stort sett ren pappersmassa till slam med höga askhalter. Fiberslam definieras som det slam som avskiljs mekaniskt (t.ex. genom sedimentering) från fiberförande avloppsvatten utan några kemikalietillsatser. Vid rening av avloppsvatten som även omfattar papperstillverkning kan fiberslammet även innehålla stora andelar fyllmedel.

Fiberslam är generellt sett relativt lättavvattnat och fukthalten ligger kring 60-70 %. Askhalten på slammet varierar och är för ett rent fiberslam lågt medan det, för ett fiberslam som t.ex. även innehåller fyllmedel, kan vara så högt som kring 30 %. Fiberslam blandas ofta medvetet in till mer svåravvattnade slam som bioslam och kemslam för att förbättra avvattningen. Fuktigt fiberslam är som kramsnö och om man hanterar det separat finns det risk för valvbildning.

Beroende på askans sammansättning kan fiberslam ur sintrings-, beläggnings- och korrosionssynpunkt vara helt okomplicerat att elda, innebära stor risk för problem alternativt minska risken för problem.

3.20.4.1 Analys och nyckeltal

Tabell 3.20.5 Analys fiberslam/ Analysis of fibre sludge

Prov	Exempel [7]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	67,0		69,0	60,1	78,0	7
Aska (torrt)	2,4		14,0	1,6	31,9	9
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)	81,8		84,7	81,8	87,6	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	21,0		20,3	18,9	22,8	9
Hkal (leverans)	6,8		5,2	3,1	7,5	7
Heff (torrt askfritt)	19,6		18,9	17,4	21,4	9
Heff (leverans)	4,7		3,2	1,0	5,5	7
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	52,20		49,8	47,5	54,5	9
H (väte)	6,50		6,6	6,1	7,0	9
O (syre)	40,59		42,6	38,0	46,1	9
S (svavel)	0,26		0,24	0,14	1,1	9
N (kväve)	0,44		0,44	0,13	1,1	9
Cl (klor)	0,01		0,02	0,01	0,09	9
Askanalys						
	mg/kg ts	*mg/kg aska*	*mg/kg aska*			
Al (aluminium)	2 018	84 100	78 972	17 900	168 000	9
As (arsenik)			20	4,4	80	8
Ba (barium)	29	1 200	600	111	4 000	9
Ca (kalcium)	2 270	94 600	86 700	31 416	217 000	9
Cd (kadmium)			4,2	1,0	23	8
Co (kobolt)			8,0	3,0	20	8
Cr (krom)			161	58	228	8
Cu (koppar)			213	3,0	1 947	8
Fe (järn)	559	23 300	13 717	4 000	38 318	9
Hg (kvicksilver)			0,43	0,02	0,88	5
K (kalium)	228	9 500	8 000	1 300	9 500	9
Mg (magnesium)	262	10 900	7 200	4 200	85 400	9
Mn (mangan)	26	1 100	1 100	300	4 000	9
Mo (molybden)			52	10	250	8
Na (natrium)	2 592	108 000	14 100	4 065	108 000	9
Ni (nickel)			75	35	112	8
P (fosfor)	341	14 200	3 363	2 000	24 100	9
Pb (bly)			68	10	98	8
Sb (antimon)			13	5,0	20	4
Si (kisel)	2 784	116 000	190 000	74 600	274 299	9
Ti (titan)	115	4 800	2 600	1 000	8 000	7
Tl (tallium)			39	20	49	4
V (vanadin)			52	9,0	221	8
Zn (zink)			685	240	4 867	8

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.20.6 Nyckeltal fiberslam. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers fibre sludge. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**0.91**	**0.38**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	**0.42**	0.13
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**1.34**	**1.17**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0.95	**0.75**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	1.32	2.31
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	**0.80**	0.08

Tabell 3.20.7 Svavel- och fosforkvoter för fiberslam. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for fibre sludge. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0.72	4.7
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0.60	3.5
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	25	13
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.05	0.02

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.20.6 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Jämförs exempelbränslets och medianvärdena i tabell 3.20.5 ser man att sammansättningen varierar väsentligt på fiberslammen. Det innebär att det är svårt att dra några generella slutsatser. Man kan dock konstatera att fiberslammet i det valda exemplet skulle kunna innebära risk för bäddagglomereringar om det eldas som enda bränsle i en fluidiserad bäddpanna. Däremot är risken för korrosiva beläggningar liten med lågt Ca/S förhållande samtidigt som S/Cl är högt.

3.20.4.2 Driftserfarenheter

Oftast blandar man in en relativt liten andel slam i en panna och fiberslam orsakar sällan några problem. Fiberslam går oftast att lägga med ordinarie ström av bark eller flis in i pannan. Om man eldar torkat fiberslam kan man liksom för spån eller frästorv få tendenser till medryckning.

3.20.5 Kemslam

Kemslam kommer från ett sedimenteringssteg eller flotationssteg, där fällnings-kemikalier har tillsatts för att förbättra avskiljningen av högmolekylärt och partikulärt material. Kemslam innehåller därmed förutom det avskiljda materialet en del av de fällningskemikalier som doserats till vattnet. Eftersom kemisk fällning kan användas i olika positioner och ofta används i kombination med biologisk rening är det svårt generellt beskriva vad kemslam består av.

Kemslam har ofta dåliga avvattningsegenskaper. Fiberslam blandas därför ibland med kemslammet för att underlätta avvattningen. Innehållet av svavel och klor i slam styrs i första hand av vilka vattenströmmar som renas men val av fällningskemikalie kan i vissa fall påverka dessa halter.

3.20.5.1 Analys och nyckeltal

Tabell 3.20.8 Analys kemslam/ Analysis of chemical sludge

Prov	Exempel [8]		Median	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	64,0		68,7	45,0	75,6	9
Aska (torrt)	12,4		12,4	7,3	22,2	9
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)			72,7	72,1	77,4	3
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	22,3		21,5	18,2	18,2	9
Hkal (leverans)	7,0		6,5	4,9	4,9	9
Heff (torrt askfritt)	20,8		20,1	16,8	22,3	9
Heff (leverans)	5,0		4,5	2,8	6,1	9
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	54,3		52,4	45,8	58,0	9
H (väte)	6,7		6,5	6,4	7,2	9
O (syre)	37,2		38,2	32,5	46,9	9
S (svavel)	0,51		0,87	0,51	2,4	9
N (kväve)	1,1		0,62	0,31	2,3	9
Cl (klor)	0,06		0,04	0,01	0,12	9
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	18 104	146 000	238 000	146 000	317 000	9
As (arsenik)	2,5	20	20	20	22	6
Ba (barium)	87	700	400	200	1 370	9
Ca (kalcium)	12 400	100 000	41 096	1 200	151 000	9
Cd (kadmium)	0,45	3,6	5,2	1,0	8,4	6
Co (kobolt)	1,2	10	13	3,0	76	6
Cr (krom)	17	140	156	74	2 600	6
Cu (koppar)	12	95	143	90	230	6
Fe (järn)	1 872	15 100	15 100	7 700	25 100	9
Hg (kvicksilver)	0,05	0,40	0,48	0,16	0,59	4
K (kalium)	1 463	11 800	6 300	1 000	17 808	9
Mg (magnesium)	918	7 400	7 400	4 400	40 000	9
Mn (mangan)	112	900	741	100	1 370	9
Mo (molybden)	2,4	19	15	2,0	25	6
Na (natrium)	3 757	30 300	11 700	7 200	83 562	9
Ni (nickel)	7,8	63	34	22	190	6
P (fosfor)	1 364	11 000	6 300	1 300	20 000	9
Pb (bly)	3,7	30	37	5,0	49	6
Sb (antimon)			8	5,0	10	2
Si (kisel)	19 096	154 000	110 000	64 900	169 863	9
Ti (titan)	434	3 500	13 699	2 963	36 400	9
Tl (tallium)			41	10	71	2
V (vanadin)	9,1	73	62	16	93	6
Zn (zink)	66	530	703	61	1 185	6

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.20.9 Nyckeltal kemslam. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers chemical sludge. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	0.46	0.23
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0,20	0.16
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**1,48**	5.84
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0,81	**0.76**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	1,01	0.44
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0,20	0,11

Tabell 3.20.10 Svavel- och fosforkvoter för kemslam. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for chemical sludge Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	2.2	0.54
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	1.5	0.46
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	8.0	20
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.06	0.08

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.17.9 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Jämförs exempelbränslets och medianvärdena i tabellerna 3.17.9 och 3.17.10 ser man att sammansättningen varierar väsentligt på kemslammen. Det innebär att det är svårt att dra några generella slutsatser. Man kan dock konstatera att kemslammen inte verkar innebära någon större risk för bäddagglomereringar om det eldas som enda bränsle i en fluidiserad bäddpanna. Risken för bildandet av korrosiva beläggningar är också liten med relativt låga Ca/S förhållande samtidigt som S/Cl är högt.

3.20.5.2 Driftserfarenheter

Kemslam beter sig mycket olika beroende på sammansättning och ställer därmed olika krav på bl.a. hanteringsutrustningen. Ett flertal fall visar dock att kemslam kan matas till pannan via ordinarie skruvar och transportörer om utmatningen och skruvarna anpassas för denna uppgift.

3.20.6 Bioslam

Bioslam är den typ av skogsindustriellt slam som är mest svår att hantera, detta med tanke på dess höga innehåll av bakterier. Bland annat har det identifierats höga halter av legionellabakterier i bioslam vilka kan medföra en smittorisk vid inandning om de finns i aerosolform. Dessutom alstrar bioslam i många fall en otrevlig lukt [9].

Bioslam kommer från någon typ av biosteg och består till största delen av den biomassa (mikroorganismer) som bildas vid nedbrytningen av det lösta organiska materialet. Med biosteg menas att slammet bryts ner biologiskt utan kemikalietillsatser. Ett bioslam innehåller mer kväve än andra slamtyper. Askhalten på rent bioslam är låg men varierar beroende på slammets ålder. Biologiskt slam är ofta svåravvattnat varför man eftersträvar att blanda slammet med fiberslam. Andra sätt att förbättra avvattningen av biologiskt slam är att på något sätt bryta sönder cellmembranen.

De senaste åren har man också mer börjat hantera och förbränna bioslam separat t.ex. i en sodapanna.

Bioslam är ofta svåravvattnade och har en illaluktande doft. Bioslam har en högre kvävehalt än andra slam och det finns därmed risk för ökad NO_x-bildning vid förbränning av bioslam. Eldas bioslammet i en sodapanna minskar risken för ökad NO_x-bildning.

3.20.6.1 Analys och nyckeltal

Tabell 3.20.11 Analys bioslam/ Analysis of biological treated sludge

Prov	Exempel [10]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	70,1		78,3	70,1	84,0	5
Aska (torrt)	29,7		20,4	14,4	36,8	5
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)			83,0	82,9	83,1	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	22,8		22,6	19,8	24,0	5
Hkal (leverans)	4,8		3,4	2,4	4,8	5
Heff (torrt askfritt)	21,4		18,5	17,9	22,5	5
Heff (leverans)	2,8		1,3	0,22	2,8	5
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	53,5		49,5	47,8	56,2	5
H (väte)	6,7		6,5	6,4	7,0	5
O (syre)	31,9		39,3	29,4	41,6	5
S (svavel)	2,2		1,6	1,4	2,2	5
N (kväve)	5,4		3,3	2,7	5,4	5
Cl (klor)	0,30		0,03	0,02	0,30	5
Askanalys						
	mg/kg ts	*mg/kg aska*	*mg/kg aska*			
Al (aluminium)	41 877	141 000	110 000	108 000	143 000	5
As (arsenik)	5,9	20	20	20	20	4
Ba (barium)	59	200	500	200	1 700	5
Ca (kalcium)	4 010	13 500	44 300	13 500	180 000	5
Cd (kadmium)	1,4	5	11	3	28	5
Co (kobolt)	7,1	24	14	8	24	5
Cr (krom)	44	148	95	42	148	5
Cu (koppar)	14	46	110	46	145	5
Fe (järn)	42 174	142 000	96 400	16 800	142 000	5
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	2 049	6 900	10 800	6 900	17 700	5
Mg (magnesium)	3 920	13 200	19 700	12 300	38 600	5
Mn (mangan)	327	1 100	4 300	1 100	7 300	5
Mo (molybden)	3,0	10	11	10	120	5
Na (natrium)	2 406	8 100	13 700	8 100	32 600	5
Ni (nickel)	21	70	40	35	72	5
P (fosfor)	3 683	12 400	12 400	4 500	25 700	5
Pb (bly)	25	85	54	25	92	5
Sb (antimon)	3,6	12	16	10	20	4
Si (kisel)	50 787	171 000	112 000	100 000	186 000	5
Ti (titan)	3 208	10 800	3 600	1 100	10 800	5
Tl (tallium)	7,4	25	20	10	25	4
V (vanadin)	66	221	40	30	221	5
Zn (zink)	261	880	660	500	1 060	5

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.20.12 Nyckeltal bioslam. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers biological sludge. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	0.52	0.74
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.05	0.09
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	6.57	4.49
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0.67**	**0.68**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	1.16	0,98
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0.06	0.15

Tabell 3.20.13 Svavel- och fosforkvoter för bioslam. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for biological sludge. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0.20	0.57
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0.15	0.43
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	7.4	60.5
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.22	0.11

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.20.12 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Man kan dock konstatera att det inte föreligger någon risk, enligt dessa nyckeltal, för angrepp på bäddmaterial eller risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan. Svavel- och fosforkvoterna i tabell 3.20.13 visar att eldas bränslet i en fluidiserad bädd sker sannolikt ingen egenabsorption av svavlet i bränslet. Det innebär att svavlet i bränslet till största delen återfinns i rökgasen och där kan undertrycka bildningen av klorinnehållande beläggningar. Man behöver därmed också designa rökgasreningen så att SO_2-emissionen ligger inom tillåtna gränser. Fosforkvoten visar också att det finns lite fosfor som kan reagera med alkalit i bränslet. Bioslammen har dessutom ett mycket högt S/Cl-förhållande. Sammantaget visar nyckeltalen att bioslam har potential att användas som samförbränningsbränsle för att minska risken för klorinducerad korrosion.

3.20.6.2 Driftserfarenheter

Bioslam är kletigt och hänger sig gärna i silos och fickor. Det går däremot oftast bra att pumpa. Luktproblem är vanliga. Bioslam hanteras idag på bästa sätt genom avvattning med centrifug och därefter transport direkt till pannan med pump.

Bioslammet innehåller betydligt högre halter av kväve än andra slam. Därav medför förbränning av bioslam ett ökat utsläpp av oönskat NO_x. Det finns även dokumenterat att bioslam medför en försämrad askkvalitet främst p.g.a. sitt innehåll av natrium och kalium. Dessutom innehåller bioslammet kadmium vilket även det överförs till askan [3].

En unik lösning för kvittblivning av bioslam som kan tillämpas på sulfatbruken är att bränna slammet tillsammans med svartluten i sodapannan. Slammet blandas då in i svartluten före indunstningen varvid man får en alkalisk hydrolys och sönderdelning av cellmembranen. Slammet torkas/indunstas därefter tillsammans med luten.

3.20.7 Avsvärtningsslam

Ca en tredjedel av det skogsindustriella slammet består av avsvärtningsslam och den största delen eldas upp i brukens egna pannor. Avsvärtningsslam kommer från avskiljning av trycksvärtan vid returpapperstillverkning. Ett avsvärtningsslam har en något högre kolhalt än andra slam, vilket kommer ifrån trycksvärtan. Slammet innehåller returfibrer tillsammans med trycksvärta, bestrykningskemikalier och fyllmedel.

Beroende på vilka fyllmedel och bestrykningssmeter som ingått i det återvunna pappret kan askan innehålla höga halter av kalk och/eller kaolin.

Avsvärtningsslam är ofta lättavvattnade men har en hög askhalt vilket ställer krav på askhanteringen. En positiv konsekvens av askan är att avsvärtningsslam har en hög sintringstemperatur och går utmärkt att blanda med andra slam för att minska risken för sintringar i fluidbäddpannor. Då det innehåller mycket kalcium har det även en avsvavlande effekt.

3.20.7.1 Analys och nyckeltal

Tabell 3.20.14 Analys avsvärtningsslam/ Analysis of de-inking sludge

Prov	Exempel [11]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	41,1		44,4	41,1	58,0	6
Aska (torrt)	59,4		54,2	48,1	59,4	6
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)	96,8		96,8	96,8	96,8	1
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	23,2		22,6	21,8	23,5	6
Hkal (leverans)	5,5		5,6	4,6	5,8	6
Heff (torrt askfritt)	21,6		21,0	20,3	22,0	6
Heff (leverans)	4,2		4,1	2,9	4,3	6
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	67,5		63,8	55,5	67,5	6
H (väte)	7,4		7,2	6,8	7,6	6
O (syre)	24,0		28,0	24,0	36,4	6
S (svavel)	0,18		0,18	0,16	0,33	6
N (kväve)	0,89		0,70	0,42	1,0	6
Cl (klor)	0,09		0,07	0,06	0,09	5
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	29 106	49 000	51 950	47 600	57 011	4
As (arsenik)	12	20	20	1,3	20	3
Ba (barium)	119	200	200	200	300	4
Ca (kalcium)	148 500	250 000	244 000	230 894	253 000	4
Cd (kadmium)	0,59	1,0	1,0	0,23	1,0	3
Co (kobolt)	5,3	9,0	6,5	2,3	9,0	3
Cr (krom)	43	72	53	33	81	3
Cu (koppar)	315	530	455	380	530	3
Fe (järn)	2 851	4 800	4 400	4 000	7 200	4
Hg (kvicksilver)	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	2
K (kalium)	1 663	2 800	4 300	2 800	5 800	4
Mg (magnesium)	17 107	28 800	25 800	21 400	28 800	4
Mn (mangan)	119	200	250	200	400	4
Mo (molybden)	5,9	10	7,5	5	10	3
Na (natrium)	1 188	2 000	3 850	2 000	5 700	4
Ni (nickel)	48	80	47	10	80	3
P (fosfor)	416	700	750	300	800	4
Pb (bly)	19	32	26	14	32	3
Sb (antimon)			10	10	10	1
Si (kisel)	60 588	102 000	98 150	94 300	110 200	4
Ti (titan)	1 010	1 700	1 550	1 400	1 900	4
Tl (tallium)			10	10	10	1
V (vanadin)	11	18	14	9	18	3
Zn (zink)	89	150	135	76	150	3

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.20.15 Nyckeltal avsvärtningsslam. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers deinking sludge. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**1.66**	**1.64**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.01	0.02
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0.57**	0.39
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0.55**	**0.60**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	2.0	1.8
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0.03	0.05

Tabell 3.20.16 Svavel- och fosforkvoter för avsvärtningsslam Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for deinking sludge. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	169	132
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	88	74
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1.9	2.7
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.002	0.002

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.20.15 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Avsvärtningsslammen innehåller mycket kalcium och eldas det i en fluidiserad bädd så absorberas allt svavel varför molförhållandet S/Cl blir missvisande.

3.20.7.2 Driftserfarenheter

En stor del av det avsvärtningsslam som produceras eldas upp i brukens egna pannor. Ofta eldas relativt stora andelar utan några problem. Slammet fungerar bra att transportera på transportband och mata in i pannan. Det kan dock hänga sig i fickor och dylikt.

Erfarenheten visar också att samförbränning med avsvärtningsslam i vissa fall kan minska problem med beläggningar och korrosion.

3.20.8 Risker och åtgärder vid användning av skogsindustriella slam

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för eller kunnat identifiera. Texten bygger främst på intervjuer [4,12], men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen [3,5,6,9]. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har reducerat sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel och då alla anläggningar är individuella behöver dessa åtgärder ej vara de mest lämpade för just er anläggning. Författarna föreslår att dessa exempel används för att få tips och idéer för riskarbetet på er anläggning.

Exempel på risker

Skogsindustriellt slam är inte bara besvärligt att elda utan även besvärligt att hantera. Ofta ses det som ett kletigt och jobbigt bränsle. Hantering av fuktigt slam kan medföra ett flertal problem i inmatningssystemen, bl.a. hängningar, igensättningar av transportskruvar och klibbningar i elevatorskopor.
De skogsindustriella slammens generellt sett höga askhalt gör dessutom att inblandning av slam medför ett ökat slitage på inmatningssystemets skruvar och övrig utrustning som slammet kommer i kontakt med.

Vid förbränning av slam har följande problem uppstått:

- Svårighet att hålla pannlast
- Hängningar
- Ökat slitage på utrustning
- Sintringar i panna och askutmatning
- Ökade askmängder av både botten- och flygaska

En annan aspekt är att det vid lagring sker en viss substansförlust. Dels sker detta genom torkning p.g.a. sol och vind samt genom mikrobiologisk aktivitet.

Ett hanteringssteg som är extra kritiskt är torkning av slam med pressar. Vid pressningen skvätter ofta slam ut från pressen. Slampressarna är dessutom ganska problematiska apparater som kräver handpåläggning. Helst vill de bruk som hanterar bioslam ha en helautomatiserad hantering där få operatörer är involverade. Fuktiga slam

kan pumpas runt på anläggningen och sprutas in direkt i pannan. Risken med detta är dock att bränsleblandningen blir ojämn. Slam som pressats för att höja ts-halten är däremot inte pumpbart utan får transporteras på andra sätt, men även sådana transportsystem kan automatiseras och byggas så täta som möjligt. Ett alternativ till torkning av slam är centrifugering och därefter inmatning i indunstning och därefter förbränning i sulfatbrukets sodapanna. Denna hantering förändrar dock kemikalieprocessens innehåll av processfrämmande grundämnen, men innebär en lättare slamhantering på ett massabruk som inte kontinuerligt använder barkpannan.

Bioslam är också det skogsindustriella slam som är besvärligast att hantera. Det är mycket vanligt att bioslam, speciellt om det har en hög fukthalt, medför hängning i inmatningssystemet liksom igensättningar. Slam kan även fastna vid inmatning till torken.

Exempel på åtgärder
För att reducera eventuella smittorisker kan personalen använda andningsskydd på de platser där de kommer i kontakt med bioslammet.

Problemen med användning av slam kan minskas genom att slammet avvattnas eller torkas. Inmatningen fungerar bättre och det blir mindre problem med hängningar och klibbningar i inmatningsficka eller skruvar. Det har dock varit problem med att slam fastnat vid inmatning till torken. Ett exempel på åtgärd för ett sådant problem är att återcirkulera torkat material.

3.20.9 Referenser

1 Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kjörk A, Larsson S, Wennberg O, Eskilsson D, Åmand L-E, *”Branschprogram; Slam från skogsindustrin, fas II”,* Värmeforskrapport 840, november 2003

2 Ahlroth M, Sivard Å, *”Hur påverkas slamhanteringen av nya och förväntade lagar och förordningar”*, Värmeforskrapport 795, december 2002.

3 Ek M., Sundqvist J-O., ”Skogsindustriellt avfall, idéer angående utnyttjande och omhändertagande”, Rapport nr: B1293, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 1998

4 Carlström Helen, Grontmij AB (tidigare anställd på Stora Enso Skutskärs bruk), personlig kommunikation

5 Axelsson R., et.al, ”Branschprogram; Slam från skogsindustrin”, Värmeforsk nr 747, C2-003, 2001

6 Gyllenhammar M., ”Förbränning av returfibrer och fiberslam i barkpannor”, Värmeforskrapport nr 624, S6-600, 1998

7 Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kjörk A, Larsson S, Wennberg O, Eskilsson D, Åmand L-E, *”Branschprogram; Slam från skogsindustrin, fas II”,* Värmeforskrapport 840, november 2003, Prov Efib1

8 Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kjörk A, Larsson S, Wennberg O, Eskilsson D, Åmand L-E, *”Branschprogram; Slam från skogsindustrin, fas II”,* Värmeforskrapport 840, november 2003, Prov Ekem2

9 Jeppesen J., Hansson H., Axby F., Cederfeldt O., ”Legionella i luftuppfuktare, Värmeforsk 1016, 2007

10 Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kjörk A, Larsson S, Wennberg O, Eskilsson D, Åmand L-E, *”Branschprogram; Slam från skogsindustrin, fas II”,* Värmeforskrapport 840, november 2003, Prov Dbio1

11 Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kjörk A, Larsson S, Wennberg O, Eskilsson D, Åmand L-E, *”Branschprogram; Slam från skogsindustrin, fas II”,* Värmeforskrapport 840, november 2003, Prov Lavs2

12 Tausson P-A, Grontmij AB (tidigare anställd på Stora Enso Skoghall), personlig kommunikation

Läs mer om skogsindustriella slam

- Eklund A, ”Demonstration av vakuumtorktekniken på skogsindustriellt slam”, Värmeforskrapport 794, januari 2003
- Höglund C, Lundborg R, ”Slamförbränning, etapp 2 - fortsatta fullskaleförsök”, Värmeforskrapport 774, april 2002
- Höglund C, Lundborg R, Myringer Å, ”Tillförsel av skogsindustriellt slam till eldstäder - etapp 1”, Värmeforskrapport 757, december 2001
- Axelsson R, Backman S, Gyllenhammar M, Kjörk A, Herstad Svärd S, Wennberg O, ”Branschprogram; Slam från skogsindustrin”, Värmeforskrapport 747, augusti 2001
- Herstad Svärd S, Eskilsson D, ”Förbränning av torkat slam från skogsindustrin i pelletsbrännare”, Värmeforskrapport 744, juli 2001
- Krogerus M, Tennander E, Sivard Å, ”Sammanställning av erfarenheter från hantering av slam inom skogsindustrin”, Värmeforskrapport 666, mars 1999
- Gyllenhammar M, ”Förbränning av returfiber och fiberslam i barkpannor”, Värmeforskrapport 624, januari 1998
- Åmand L-E, Leckner B, Herstad Svärd S, Gyllenhammar M, Eskilsson D, Tullin C; ”Co-combustion of pulp- and paper sludge with wood – emissions of nitrogen, sulphur and chlorine compounds” , Proceedings of 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion Paper No: 97, May 18-21 Jacksonville, Florida,
- Eriksson L, Njurell R, Eklund A, ”Tillförsel av skogsindustriellt slam till eldstäder”, Värmeforskrapport 816, juli 2003
- Eklund A, ”Vakuumtorkning av skogsindustriellt slam - en potentialstudie”, Värmeforskrapport 814, juli 2003

3.21 Gödsel

”Att använda gödsel som bränsle är nästan lika gammalt som mänskligheten. Torkad kogödsel brinner bra”.

Med gödsel menas oftast djurspillning inklusive strö, som kan bestå av papper, torv eller spån. I Sverige produceras årligen drygt 20 miljoner ton stallgödsel (2011). Merparten kommer från nötkreatur (84%). Två tredjedelar av stallgödseln hanteras som pumpbar gödsel (flytgödsel och urin) och en tredjedel som fastgödsel. [1]

Hästgödsel kan ha ett begränsat värde som gödning på åkermark då det finns risk för spridning av flyghavre. Flyghavre är det enda ogräs som är reglerat enligt lag och lantbrukare är skyldiga att se till att inte flyghavre sprids. [2]Flyghavren överlever hästarnas magar men klarar inte förbränning.

Energiproduktion från gödsel sker ofta genom rötning till biogas med efterföljande förbränning. Gödsel från nötkreatur ger mindre gas i en biogasanläggning än gödsel från svin och fjäderfä. Det beror på att fodret redan brutits ner anaerobt i idisslarnas magar.

Förbränning av gödsel kan genomföras, men man rekommenderar inte att använda gödsel i ren form i biobränsleanläggningar. Det finns risk för både sintring/påslag och korrosion då gödsel förutom hög fukthalt också har höga halter svavel och klor. Beroende på vilket strö som används kan det också finnas höga halter av alkali.

Gödsel skiljer sig beroende på djurslag och även på hur djurhållningen sker. Allmänt gäller dock att färsk gödsel innehåller höga halter fukt och aska. Kväve, svavel och klorhalterna kan vara betydande. I Tabell 3.21.1 finns en sammanställning av innehållet i fuktig gödsel från olika djur.

Tabell 3.21.1 Sammansättning hos färsk gödsel från olika djurslag.[3]
Composition of fresh manure from different animals.

	Ko	**Gris**	**Häst**	**Höns**	**Kalkon**	**Mink**
Torrsubstans (kg/ton)	210-250	220-240	310-330	570-600	430-460	320-330
Organiskt (kg/ton)	120-160	150-180	240-260	350-400	340-360	170-200
Kväve (kg/ton)	4-7	6-8	4-6	22-27	15-19	8-10
Fosfor (kg/ton)	3-5	8-10	4-6	25-30	18-20	30-35
Kalium (kg/ton)	3-5	3-5	5-7	20-25	15-18	2-3
Kalcium (kg/ton)	2-4	8-10	2-4	40-48	23-27	32-36
Magnesium (kg/ton)	1-2	2-3	2	3-4	4-6	1,5-2,5
Natrium (kg/ton)	1	1	-	3	5-6	1
Klor (kg/ton)	2	2	-	8	8	1,5
Svavel (kg/ton)	0,7	1	-	6	9-10	9-10
Koppar (g/ton)	2-5	15-30	-	50-70	-	-
Kadmium (g/ton)	0,03-0,05	0,1	-	0,3-0,4	-	-

Gödsel omfattas av förbudet mot deponering av organiskt material. Avsättningen för gödsel är god i de flesta mindre kommuner medan det i storstäderna ofta är långa

avstånd mellan produktion av gödsel och jordbruk som kan ta emot det. Flera ridklubbar och travstall tvingas betala stora summor för sin gödselhantering.

I Sverige sker en viss förbränning av hästgödsel, medan gödsel från andra djurslag främst används inom jordbruket eller till biogasframställning.

I England finns flera anläggningar som använder kyckling och kalkonspillning som bränsle. I Holland startades en anläggning för förbränning av kycklinggödsel under 2008. I USA pågår förbränning av både kyckling- och kogödsel.

3.21.1 Lagar

Förbränningen av Gödsel regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Gödsel är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Gödsel berättigar till elcertifikat.

3.21.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.21.2 Analys kogödsel/ Analysis cow manure

Prov	**Exempel** Phyllis ID# 1882		**Median**	**Spann**		**Antal**
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	14			14	74	3
Aska (% torrt)	16			16	42	3
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	84			84	92	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hcal (torrt askfritt)	20,6			19,6	20,6	2
Hcal (leverans)	14,9			8,5	14,9	2
Heff (torrt askfritt)	19,2			18,2	19,2	2
Heff (leverans)	13,6			7,3	13,6	2
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	54			44,9	54	3
H (väte)	6,4			6,2	6,4	2
O (syre)	36,8			36	36,8	2
S (svavel)	0,34			0,34	1,06	2
N (kväve)	1,14			1,14	3,9	3
Cl (klor)	1,38			1,38	2,31	2
Askanalys						
	(mg/kg ts)	***(mg/kg aska)***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)						
As (arsenik)						
Ba (barium)						
Ca (kalcium)						
Cd (kadmium)				3		
Co (kobolt)						
Cr (krom)				129		
Cu (koppar)				207		
Fe (järn)						
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)		122642		27306	122642	2
Mg (magnesium)						
Mn (mangan)						
Mo (molybden)						
Na (natrium)		15094		15094		2
Ni (nickel)				44		
P (fosfor)				31734		
Pb (bly)				114		
Sb (antimon)						
Si (kisel)						
Ti (titan)						
Tl (tallium)						
V (vanadin)						
Zn (zink)				253		

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.21.3 Svavel- och fosforkvoter för kogödsel. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers cow manure. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**		
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**		
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	0,25	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1		

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

Tabell 3.21.4 Analys grisgödsel/ Analysis pig manure

Prov	**Exempel** Phyllis ID# 1715		**Median**	**Spann**		**Antal**
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	12,7			12,7	92,1	2
Aska (% torrt)	15,2			15,2	35,4	2
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	74,2			74,2	79,4	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hcal (torrt askfritt)	21,0			21	21,3	2
Hcal (leverans)	15,6			1,09	15,6	2
Heff (torrt askfritt)	20,0			19,9	20,0	2
Heff (leverans)	14,5			1,23	14,5	2
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	51,5			51,5	54,1	2
H (väte)	4,9			4,9	6,8	2
O (syre)	39,5			33	39,5	2
S (svavel)	0,57					1
N (kväve)	2,91			1,14	3,9	3
Cl (klor)	0,59			0,59	1,84	2
Askanalys						
	mg/kg ts	***(mg/kg aska)***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	770	5066				
As (arsenik)	2,0	13				
Ba (barium)	20	132				
Ca (kalcium)	8 300	54606				
Cd (kadmium)	0,2	1				
Co (kobolt)	0,8	5				
Cr (krom)	8,8	58				
Cu (koppar)	100	658				
Fe (järn)	1 500	9868				
Hg (kvicksilver)	0,0					
K (kalium)	14 669	96503				
Mg (magnesium)	4 300	28289				
Mn (mangan)	150	987				
Mo (molybden)	2,0	13				
Na (natrium)	2 100	13816				
Ni (nickel)	5,9	39				
P (fosfor)	6 100	40132				
Pb (bly)	5,9	39				
Sb (antimon)		7				
Si (kisel)	6 300	41447				
Ti (titan)	51	336				
Tl (tallium)						
V (vanadin)	2,4	16				
Zn (zink)	300	1974				

Tabell 3.21.5 Nyckeltal grisgödsel. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers pig manure. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**1,23**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	**0,35**	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**1,12**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,20	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**7,84**	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	1,39	

Tabell 3.21.6 Svavel- och fosforkvoter för grisgödsel. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers pig manure. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	1,16	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0,43	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	0,97	
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,19	

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

Tabell 3.21.7 Analys kycklinggödsel/ Analysis chicken litter

Prov	**Exempel** Phyllis ID# 1872		**Median**	**Spann**		**Antal**
Bränsleinnehåll (vikt-%)				***Min***	***Max***	
Fukt	3,9					
Aska (% torrt)	27,4					
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	84,5					
Värmevärde (MJ/kg)						
Hcal (torrt askfritt)	19,0					
Hcal (leverans)	13,2					
Heff (torrt askfritt)	17,5					
Heff (leverans)	12,1					
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	49,5					
H (väte)	6,9					
O (syre)	37,7					
S (svavel)	1,06					
N (kväve)	4,9					
Cl (klor)						
Askanalys						
	(mg/kg ts)	***(mg/kg aska)***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	980	3577				
As (arsenik)						
Ba (barium)						
Ca (kalcium)	61 000	222628				
Cd (kadmium)						
Co (kobolt)						
Cr (krom)						
Cu (koppar)						
Fe (järn)	1 300	4745				
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	31 300	114234				
Mg (magnesium)	7 700	28102				
Mn (mangan)	500	1825				
Mo (molybden)						
Na (natrium)	4 700	17153				
Ni (nickel)						
P (fosfor)	18 800	68613				
Pb (bly)	0,0					
Sb (antimon)						
Si (kisel)	4700	17153				
Ti (titan)	55	201				
Tl (tallium)						
V (vanadin)						
Zn (zink)						

Tabell 3.21.8 Nyckeltal kycklinggödsel Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers chicken litter. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**2,17**	
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,21	
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**0,66**	
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	0,20	
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	4,58	
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	4,0	

Tabell 3.21.9 Svavel- och fosforkvoter för kycklinggödsel. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers chicken litter. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	4,60	
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	1,23	
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre		
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,16	

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

Tabell 3.21.10 Analys av hästspillning med strö/ Analysis of horse manure with bedding.[16]

Prov	Exempel [16]		Median	Spann		Antal
				Min	***Max***	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	59,9		63,05	59,9	66,2	2
Aska (% torrt)	14,7		7,3	3,4	14,7	3
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hcal (torrt askfritt)	20,89					1
Hcal (leverans)	7,15					1
Heff (torrt askfritt)	19,47		18,84	18,1	19,47	3
Heff (leverans)	5,2					1
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	51,11		52,4	51,11	53,8	3
H (väte)	6,57		6,42	6,26	6,57	3
O (syre)	39,37		39,31	38,64	39,37	3
S (svavel)	0,3		0,3	0,15	1,04	3
N (kväve)	2,1		0,97	0,06	2,1	3
Cl (klor)	0,54		0,28	0,08	0,54	3
Askanalys						
	mg/kg ts	***(mg/kg aska)***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	1334	9072	13367	9072	17662	2
As (arsenik)	0,4	3,1	2,6	2,1	3,1	2
Ba (barium)	33	227	363	227	500	2
Ca (kalcium)	10000	68027	91014	68027	114000	2
Cd (kadmium)	0,1	0,6	1,1	0,6	1,5	2
Co (kobolt)	0,7	4,9	5,9	4,9	6,8	2
Cr (krom)	4,7	32	52	32	72	2
Cu (koppar)	14	96	100	96	104	2
Fe (järn)	11685	79493	47794	16096	79493	2
Hg (kvicksilver)	0,01	0,1	0,2	0,1	0,2	2
K (kalium)	1910	12995	42997	12995	73000	2
Mg (magnesium)	2921	19874	38936	19873	58000	2
Mn (mangan)	3000	20408	22774	20408	25140	2
Mo (molybden)	0	0	6,8	0	14	2
Na (natrium)	1124	7644	11850	7644	16056	2
Ni (nickel)	3,1	21	23	21	25	2
P (fosfor)	1236	8408	19704	8408	31000	2
Pb (bly)	1,1	7,7	6,4	5,2	7,7	2
Sb (antimon)	0	0	0	0	0	2
Si (kisel)	10000	68027	111513	68027	155000	2
Ti (titan)	458	3118	2421	1724	3118	2
Tl (tallium)	0,4	2,7	1,4	0	2,7	2
V (vanadin)	2,7	18	30	18	42	2
Zn (zink)	55	373	529	373	683	2

Tabell 3.21.11 Nyckeltal hästgödsel med strö Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers horse manure with beddings. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**1,63**	**1,14**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,07	0,14
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**3,47**	**2,26**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	**0,50**	**0,32**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**7,20**	**8,01**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	0,18	**0,27**

Tabell 3.21.12 Svavel- och fosforkvoter för hästgödsel med strö. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers horse manure with beddings. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	2,67	1,77
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	1,63	1,02
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	0,56	1,07
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0,06	0,09

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.21.3 Driftserfarenheter

Förbränning av kyckling/kalkon spillning med god ekonomi finns rapporterat från England. EPR Energy Power Resources har flera anläggningar där kyckling/kalkon gödsel används som bränsle. Den största Thetford anläggningen som är en rosteldad panna på 38,5 MW använder 420 000 ton gödsel/år. Dessutom används gödsel från

kyckling och kalkoner i anläggningarna i Eye (12,7 MW rostpanna som använder 140 000 ton/år) och i Westfield (9,8 MW BFB, 110 000 ton/år).[4]

I Moerdijk i Holland finns en BFB som använder mer än 400 000 ton kycklingspillning/år. Bäddtemperaturen är ca 700 ˚C. Inga tecken på korrosion i anläggningen trots höga klorhalter i bränslet. S/Cl är ungefär 1. Efter ett års drift går anläggningen tekniskt bra men man har stundtals en del problem med höga CO-halter.

En undersökning av mängden bakterier och svamp i en förbränningsanläggning för kycklinggödsel visar på höga halter av luftburna mikroorganismer i hela anläggningen. Skyddsmask rekommenderas för personal som vistas i anläggningen. [5]

I Benson, Minn. USA finns en 55 MW anläggning med förbränning av 500 000 ton kycklingspillning årligen. Man sameldar även med annat avfall från jordbruket som majsrester, havreskal, solrosskal etc. Man betalar kycklinguppfödare upp till 10$ /ton beroende på kvalitet och får en restprodukt som säljs som gödsel. [6]

I Sverige eldas hästgödsel på Kalmartravet i en 400 kW SWEBO Biotherm panna. Hästarna på Kalmartravet står på spån och det fungerar bra i förbränningen. Torv har testats men man fick problem med luftgenomblåsning och kunde inte köra på full effekt. Man eldar ca 60 m^3 i veckan. Föroreningar i bränslet i form av hästskor, knivar, balsnören mm har gjort att man fått problem med bränslematningen. Man sparar ca 500 000 kr/år (2011) genom minskade avgifter för gödselhantering samt mindre förbrukning av olja. [7]

Timrå Hästsportförening installerade en SWEBO Biotherm panna 2003, som har använts som experimentanläggning för stallgödselförbränning. Pannan ska ersättas under 2011 eftersom den är utsliten. Man eldar merparten av den gödsel som kommer från 50 hästar, ca 1000 m^3/år. Det största problemet har varit inmatning av blött och kladdigt bränsle med frysrisk under vintern. [8]

Sala-Heby Energi (SHE) har använt hästgödsel med olika bra resultat. Fukthalten i bränslet antas vara av stor betydelse för resultatet, en fukthalt på 40-45% går bra men inte mer. Sala-Heby är fossilfritt och tar inte emot hästgödsel där man använt torv som strö till hästarna Strö i form av sågspån eller kutterspån går bra men det måste vara torrt. Halm kan inte eldas i deras rosterpanna [9]. . Man hjälper hästägarna med råd för att få en bra kvalitet på den gödsel som levereras. Gödsel kan inte lagras mer än någon vecka innan bränslekvaliteten försämras. Tiden kan förlängas om gödsel lagras torrt [10].

På E.ON i Malmö har det eldats hästgödsel och stallhalm i 25 år. Personalen beskriver pannan som den minsta, men också den svåraste, produktionsanläggningen i Malmö. Anläggningen stängdes 2005 på grund av dålig ekonomi till följd av dålig tillgänglighet och stort underhållsbehov. Den främsta orsaken var att pannan var gammal och inte fungerade optimalt [11].

I Malmö fick personalen lära sig att bränslet och dess sammansättning varierade mycket, både i bränslehögen och med tiden. Då priset på halm var lågt användes mycket halm som strö, vilket ledde till att en stor del av bränslet bestod av torr halm. Då priset på halm steg minskade andelen halm i bränslet och bränslet blev totalt sett fuktigare och svårare att bränna. En period användes även kutterspån som strö. Fukthalten kunde variera mellan 25-55 %. Hästgödsel i sig är egentligen ett bra bränsle med ett stort energiinnehåll. En stor del av den energi hästarna sätter i sig i form av foder kommer ut igen. Hästarnas urin är värre att förbränna [11].

Erfarenheterna från Malmö är också att det blir mycket aska vid eldning av stallgödsel och det har hänt att det blivit värmeutveckling, med risk för självantändning, i bottenaskan. Med mycket halm i bränslet blir det även mycket, och finkornig flygaska, vilken satte igen textilfiltret [11].

En svensk undersökning med förbränning av hästgödsel i en 250 kW förbränningsutrustning som designats för våta bränslen visar att det går att elda gödsel med bra resultat om fukthalten i bränslet inte överstiger 50 %. Emissionerna av CO är jämförbara med vad man får med enbart träflis medan NO_x är klart förhöjda pga. den höga kvävehalten i gödsel. Tungmetallhalterna i askan är låga. [12] Analyser av hästgödsel med spån liknar analyserna av andra biobränslen, framförallt rörflen och Grot. Innehållet av klor i gödsel liksom även fosfor, kalium och magnesium är högre i gödsel. [13]

Samförbränning av kycklinggödsel och kol i laboratorieskala visar bland annat att NO_x-halten ökar vid låg inblandning av kycklingspillning i bränslemixen. Vid hög inblandning av gödsel sjunker emissionerna av NO på grund av den stora andelen av flyktiga föreningar som avges och motverkar bildning av NO.[14]

3.21.4 Rekommendationer

Sameldningsaspekten tycks inte vara så kritisk för gödsel då det i regel eldas i dedikerade pannor av enklare typ som kan hantera 100 % gödsel. Genom att vidare blanda gödsel väl med det sameldade bränslet eller med den vanligtvis ingående komponenten, t.ex. halm – se nedan, blir den totala bränsleblandningen mer homogen, vilket förbättrar (automatisk) styrning och kontroll av förbränningsprocessen.

I övrigt gäller:

- Om bränslet bereds genom att blandas och malas innan det matas in i pannan blir förbränningen jämnare och bättre. En viss positiv effekt erhålls via tippning i en tippficka och efterföljande skruvtransport till pannan. Omblandning och söderdelning av stora bitar underlättar förbränningen [10].
- Energibolaget kan sätta upp specifikationer för vilket strö som får användas. Det bör också regleras hur mycket strö som bör användas för att säkerställa att bränslet inte blir för fuktigt. SHE (Sala Heby Energi) har en fundering på att

eventuellt tillhandahålla spån för att stimulera och få till stånd en mer omfattande användning av rätt typ av spån [10].

- Vattenbad kan användas för att undvika värmeutveckling och självantändning av bottenaskan
- Våt rening eller elektrofilter fungerar bättre för rening av flygaskan än textilfilter om det finns halm i ströet [11].

Övriga rekommendationer om förbränning av gödsel från [2]:

- Eldning av gödsel i ren form bör undvikas i anläggningar som är konstruerade för biobränsleeldning. Risker för påslag, sintring och korrosion finns pga. höga svavel- och klorhalter.
- I FB-pannor bör man undvika gödsel med halminblandning, eftersom halmaskans smältpunkt kan vara låg.
- I rostpannor bör en inblandning på upp till 25 % gödsel vara möjlig. Det finns skäl att varna för eldstadskorrosion vid lokal understökiometrisk drift samt korrosion på värmeöverförande ytor p.g.a. svavel- och klorinnehållet i gödsel.
- I avfallsanläggningar som är konstruerade för att hantera svavel- och klorrika samt sintrande bränslen bör gödsel i alla former kunna användas som bränsle.

3.21.5 Risker och åtgärder vid hantering av gödsel

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [10, 11] men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen [15]. Nedan beskrivs också exempel på hur riskerna kan reduceras för att ge tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker

Stallgödseln är känslig för lagring, speciellt utomhus. Tanken i Malmö var att gödseln skulle brännas ganska omgående. På grund av många och långa stopp i pannan fick bränslet ofta lagras längre än planerat. Ett problem var den höga biologiska aktiviteten i bränslet, efter bara två dagar kunde det växa stora svampar i bränslehögen. Dessutom försämrades bränslekvaliteten ju längre bränslet lagrades eftersom det sjönk ihop mer och mer, samtidigt som det lakades ur. Bränsle som lagrats i 2-3 veckor gick inte längre att elda utan fick forslas bort.

Även Sala Heby Energi har sett problem med gödsel som lagrats en tid, det blir som kakor som bränner ihop. De har även tittat på bränsle som legat i ett år, detta hade

förmultnat och såg mer ut som jord. Sådant material går ej att bränna. Däremot har det gått bra att elda gödsel som lagrats två veckor i täckt container.

Vid lagring av ofullständigt blandad stallgödsel med en stor andel halm (i perioder med tillgång på billig halm) kan den torra halmen exponeras på ett sätt så att det finns risk för självantändning p.g.a. den värmeutveckling som uppstår vid nedbrytning i underliggande lager av gödsel.

Vid Boden Energi AB har det tidigare eldats hästgödsel, men p.g.a. lukt- och lakvattenproblem vid hantering och lagring eldas inte gödsel där längre.

Exempel på åtgärder

- Användning av gödsel som bränsle kräver att det hanteras på rätt sätt. För att minimera bränsleförsämring vid lagring bör det lagras i täckt container för att reducera inverkan av regn och lakvatten. Dessutom minskar problem med spridning av lukt.
- Om bränslet har en sådan sammansättning att det kan självantända, t.ex. med en stor andel torr halm, är det viktigt att regelbundet kontrollera temperaturen i lagringshögen för att upptäcka eventuella temperaturförändringar i tid. Ett annat sätt att minska risken för självantändning är att blanda bränslet så att inte det torra materialet, t.ex. halm, ansamlas överst.
- Minimera lagringstiden

3.21.6 Referenser

1 Bioenergiportalen: http://www.bioenergiportalen.se (Sökord: gödsel)

2 Lag (1970:299) om skydd mot flyghavre

3 Schuster,R., Strömberg,B., *Förbränning av gödsel. En orienterande litteraturstudie med kommentarer*, Värmeforskrapport 600, Stockholm, 1997

4 Energy Power Resources Limited http://www.eprl.co.uk/index.html

5 Wultsch, G., Haas,D., Galler, H., Fererl, G., Melkes, A., Reithaler, F.F. Bioaerosol emissions in a poultry litter burning plant, Aerobiologia, (2010) 26:67-73

6 http://www.ctic.purdue.edu/resourcedisplay/129/

7 Lokulle Krister, Energiservice, personlig kommunikation, 2011

8 Andersson Alf, Timrå hästsportförening, personlig kommunikation, 2011

9 Hellblom Patrik, Sala Heby Energi, personlig kommunikation, 2010-05-07

10 Eriksson Benny, Sala-Heby Energi, personlig kommunikation, 2011

11 Axelsson Magnus, E.ON, personlig kommunikation, 2010-01-13

12 Lindgren J., Pettersson E.. Combustion of horse manure for heat production. Bioresource Technology 100 (2009) 3121-3126

13 Lundgren J., Hermansson R., Fagerström J.. *Optimalt nyttjande av svårare bränslen eldade i pannor avsedda för närvärme.* Slutrapport projektnummer 30693-1, Delprojekt B. Småskalig värmeförsörjning med biobränsle. Delområde 2. Närvärme

14 Songgeng Li, Andy Wu, Shuang Deng, Wei-ping Pan. Effect of co-combustion of chicken litter and coal on emissions in a laboratory-scale fluidised bed combustor. Fuel Processing Technology, 89 (2008) 7-12.

15 AB Swebo Flis Swebo Biotherm Biologisk Uppvärmning, Hämtat på Internet: http://www.björkängsförsäljning.se/varme/swebo%20bioterm/Swebo_Biotherm_Biggie_s.pdf (sökord; swebo, gödsel)

16 Roger Hermansson, Joakim Lundgren, Esbjörn Pettersson, Anders Lindgren, Martin Forsberg, Mikael Jansson. Miljövänlig eldning av hästspillning. Från AB Swebo Flis.

3.22 Papper-Trä-Plast (PTP)

PTP är ett vitt begrepp och omfattar egentligen i stort sett allt utsorterat brännbart avfall. Beteckningen PTP används främst för avfallssorteringen medan det i energiledet tenderar att kallas vid andra namn (exempelvis bränslekross).

Figur 3.22.1 Utsorterad brännbar fraktion ur verksamhetsavfall innan bränsleberedning 1. Sorted combustible fraction of industrial waste before fuel preparation 1.

Fraktionen kan vara utsorterad redan på platsen för uppkomsten (exempelvis sker ganska stor sortering av byggavfall direkt på plats), då mottagningsavgifterna för sorterade avfallsfraktioner är väsentligt lägre än för osorterade avfallsfraktioner.

Osorterade avfallsfraktioner sorteras vid återvinningsanläggningarna för vidare bearbetning. Vid utsorteringen kan träavfallet sorteras ut både som returträ och som komponent till PTP. Mängderna PTP som faller kan vara svåra att bestämma då PTP kan ses som ett berett bränsle, dvs. inte en avfallsfraktion som faller direkt. I följande tabell finns uppgifter om mängder för olika avfallsfraktioner som kan ingå i PTP 1:

Tabell 3.22.1 Mängder av olika avfallsfraktioner som kan ingå i PTP (Sverige 2002) 1. Amounts for waste fractions that could be used in PTP fuel, (Sweden 2002).

Returbränsle	Mängd ton/år	Uppgift år	Avsättning
Avfall från industri för trä och trävaror, möbler	5 747 000	2002	3471 kton materialåtervinns, 3 kton komposteras, 2218 kton energiutvinns resten deponeras
Kontorspapper	250 000	2002	50 % materialåtervinns, 50 % energiutvinns
Pappers- och kartongförpackningar	205 000	2002	75,6 kton materialutnyttjas, 3,4 kton energiutnyttjades sorterat och resten med sopor
Plastförpackningar	169 100	2002	20 % materialåtervinns, 15 % energiutvinns utsorterat och resten energiutvinns med sopor
Träförpackningar	300 000	2002	60 kton materialåtervinns och resten energiutnyttjas

Många avfallsanläggningar eldar idag verksamhetsavfall osorterat. Det är möjligt att mängderna PTP kan öka om det blir en större marknad för det.

Fördelningen mellan papper, trä och plastfraktionen i bränslet kan variera, dock är det oftast minst 20 % trä i bränslet för att bränsleberedningen skall fungera. Ju mer trä desto lättare är det i regel att bereda/krossa bränsleblandningen. För leverantören är det dock en avvägningsfråga hur mycket trä de skall blanda in i/sortera ut ur PTP-fraktionen. De måste uppnå hanterbarhet i krossningen av bränslet, samtidigt som träet i sig är mer värt som produkt i form av RT-flis.

Utöver de rena praktiska orsakerna för bränsleberedaren, så har mottagarna kvalitetskrav avseende bränslet där även andelen trä kan ingå. Övriga krav från mottagarna inbegriper ofta maximal styckestorlek, storleksfördelning, värmevärde samt innehåll av klor och tungmetaller. Efterlevandet av kvalitetskraven har enligt energiverken förbättrats en hel del, samtidigt som det fortfarande finns mycket kvar att göra för att nå hela vägen fram till mottagarnas kvalitetskrav. Kvalitetskrav finns från bränsleinköparna och de främsta kraven är att fraktionen inte skall innehålla något farligt avfall, sten eller skrot.

Eftersom PTP är en utsorterad brännbar fraktion kan innehållet variera kraftigt mellan olika leveranser. Fraktionen kan, förutom papper, trä och plast, även innehålla textilier och metaller. Träfraktionen i sig kan också variera och i vissa fall kan även impregnerat trä återfinnas i PTP-fraktionen. Olika sätt att sortera avfallet har stor inverkan på renheten. I regel används stora plockmaskiner för att sortera bort oönskat material alternativt för att sortera ut det brännbara.

Beredning av PTP-bränsle kan ske på flera sätt beroende på ursprunget av avfallet som skall bli bränsle. Normalt sett börjar beredningen med en sortering som antingen sker genom att brännbart material plockas ut (positiv utsortering) eller genom att det icke-brännbara materialet sorteras ut (negativ utsortering). Med tanke på att plockmaskinerna normalt sett är någon form av modifierad grävmaskin är det, oavsett vilken sorterings-metod, svårt och tidsödande att plocka små styckestorlekar.

Efter utsorteringen förs materialet normalt till någon form av grovkross varefter magnetavskiljare används. Efter avskiljning av magnetiskt material används ofta en finkross för att nå ner till önskad styckestorlek på bränslet. Finkrossen kan vara någon form av snabbgående hammarkvarn som slår sönder materialet. Efter finkrossen finns ofta ytterligare magnetavskiljare och eventuell avskiljning för icke magnetiska material. Vid magnetavskiljningen följer en hel del brännbart material med. Metallrejektet kan sedan gå till metallåtervinning.

Generellt kan sägas att icke-magnetiska metaller vållar en del problem då avskiljningen av dessa i bränsleberedningen oftast är dålig. Större textilier och ensilageplast är andra komponenter som ställer till problem vid just bränsleberedningen. Oftast används snabbgående krossar i bränsleberedningsanläggningarna för PTP, och dessa har stora problem att klara textilier och större plastsjok som istället för att krossas lindar sig kring axeln på krossen.

Figur 3.22.2 Färdigberett PTP-bränsle 1/ Fraction of paper-wood-plastic fuel after fuel preparation 1.

Som nämnts ovan är det lite svårt att definiera PTP. Generellt kan dock sägas att PTP är ett bränsle med ett relativt högt värmevärde. Detta varierar givetvis beroende på hur stora andelar papper, trä och plast det finns i fraktionen. Inhomogeniteten i bränslet kan vålla problem vid förbränningen, dels beroende på att fördelningen mellan de olika fraktionerna kan variera dels på att innehållet av metaller, klorider och andra föreningar som påverkar förbränningen och askegenskaperna kan variera.

Ofta innehåller PTP-fraktionen relativt höga halter av klor som en följd av klorinnehåll i plastfraktionen. Klorhalter om 0,5 % (av TS) och högre är inte ovanliga. Bränslet är av naturen inhomogent men kan göras mer homogent genom en bra bränsleberedning.

De höga klorhalter som kan förekomma i PTP-bränsle gör att risken för beläggnings-problem och korrosion ökar i anläggningen. Sameldas PTP med alkalihaltigt bränsle (biobränsle) så ökar risken för bildning av alkalisalter som kan kondensera ut på värmeytorna. Även zink och bly, som finns i färg och i tryckimpregnerat trä t.ex., bildar klorider som kondenserar ut i anläggningen. Om det i träfraktionen i bränslet har smugit sig in CCA-impregnerat trä fås höga halter av koppar, krom och arsenik i askan.

Fukthalten i PTP varierar naturligt med innehållet men ligger ofta någonstans kring 30 %. Ett riktvärde för askhalt i PTP-fraktion är kring 13 %.1

3.22.1 Lagar och förordningar

Förbränningen av PTP regleras och påverkas av följande lagar och förordningar:

Avfallsförordning (SFS 2011:927)

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG av den 4 december 2000 om förbränning av avfall. (Upphör att gälla 2014-2016. Läs mer i kapitel 5. Lagstiftning)

Förordning om förbränning av avfall SFS 2002:1060

NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning

PTP klassas som avfall. Ovanstående lagar och föreskrifter ställer bland annat krav på kontinuerlig och periodisk mätning av olika parametrar, 2 sekunders uppehållstid vid 850°C och gränsvärden för utsläpp till luft och vatten.

3.22.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.22.2 Analys papper-trä-plast (PTP)/ Analysis paper-wood-plastics

Prov	Exempel 2		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt (% fuktigt)	9,8		22,3	9,8	54,9	16
Aska (% torrt)	12,9		11,7	5,2	17,0	16
Flyktiga ämnen (% torrt askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hcal(torrt askfritt)	21,4		21,4	18,3	31,2	16
Hcal(leverans)	16,8		14,8	13,0	16,8	11
Heff(torrt askfritt)	20,0		20,0	19,0	29,2	11
Heff(leverans)	15,5		13,4	10,8	15,5	11
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	51,4		53,4	50,6	62,1	16
H (väte)	6,4		6,8	5,8	9,3	16
O (syre)	40,2		39,0	28,2	52,2	16
S (svavel)	0,32		0,3	0,1	0,7	16
N (kväve)	1,26		1,0	0,3	1,3	16
Cl (klor)	0,36		0,4	0,0	1,5	16
Askanalys						
	mg/kg ts	*mg/kg aska*	*(mg/kg aska)*			
Al (aluminium)	7 559	58600	53 600	14 706	215 000	11
As (arsenik)	19	150	97	20	1 300	11
Ba (barium)	826	6400	2 798	700	6 400	3
Ca (kalcium)	20 769	161000	166 250	131 000	174 000	4
Cd (kadmium)	1	6	7	2	58	11
Co (kobolt)	5	36	21	12	130	9
Cr (krom)	31	240	371	200	1 200	13
Cu (koppar)	39	300	683	300	3 600	12
Fe (järn)	2 399	18600	18 271	11 910	27 300	6
Hg (kvicksilver)	0	1	0,63	0,26	1,19	7
K (kalium)	2 077	16100	6 600	4 941	23 769	11
Mg (magnesium)	1 716	13300	14 500	11 200	60 337	5
Mn (mangan)	129	1000	1 000	765	3 733	11
Mo (molybden)	0					
Na (natrium)	3 393	26300	16 292	5 882	26 300	11
Ni (nickel)	6	45	57	43	180	11
P (fosfor)	310	2400	2 700	1 100	3 258	5
Pb (bly)	155	1200	693	350	4 563	12
Sb (antimon)						
Si (kisel)	21 414	166000	150 750	38 327	168 700	6
Ti (titan)	1 871	14500	17 100	13 700	25 056	5
Tl (tallium)						
V (vanadin)	9	67	55	33	87	9
Zn (zink)	232	1800	3 500	1 700	6 667	13

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.22.3 Nyckeltal papper-trä-plast (PTP) Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområde.
Key numbers paper-wood-plastics. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	0,79	**0,81**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,13	0,11
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**1,5**	**2,22**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	**0,74**	**0,68**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	2,71	2,62
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	0,18	0,15

Tabell 3.22.4 Svavel- och fosforkvoter för PTP. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for paper-wood-plastics. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	5,2	4,36
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	4,51	3,84
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	0,89	0,34
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.01	0.01

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.22.3 Driftserfarenheter

De flesta energiverk som eldar PTP köper in det som en färdig fraktion. Den betraktas som en bra bränslefraktion. Dock sker en sållning och överstort bränsle mals ner till önskvärd storlek. Eftersom bränslet innehåller en del metall, sten och grus så blir påfrestningarna på kvarnar/malningsutrustning stora och man får väldigt högt slitage på utrustningsdelar såsom slagor i kvarnarna. Utrustning som är avpassad till densiteten på bränslet är viktigt för att få en bra funktion.

PTP kan anlända till bränslemottagningen som separata fraktioner av papper, plast och trä. Om dessa inte blandas i bränsleprepareringen, såväl före som efter krossning och malning, och går vidare in till pannan som separata fraktioner kan problem uppstå vid förbränningen [3].

Bränslet kan ha stor andel finfraktioner vilket medför problem vid förbränningen. Findelarna brinner högt i pannan eller i cyklonerna. Detta genererar CO och det blir svårt att hålla miljövärdena nere. Dessutom blir det en stor andel oförbränt [3].

Flera pannor som eldats med någon form av PTP har haft problem med beläggningar och/eller korrosion av olika slag, vilket orsakas av höga halter av klor i bränslet.

Nedan följer några anläggningar med erfarenheter från förbränning av PTP1:

Högdalen
I panna 6 vid Högdalenverket i Stockholm eldas 100 % PTP. Pannan är en CFB Compact levererad av Foster Wheeler. På Högdalenverket på Fortum har man haft mycket problem med förbränningen av PTP, bland annat har bädden sintrat. Det har också hänt att det uppstått övertryck i pannan som tryckt rökgasen tillbaka ut till inmatningsfickan, där har bränslet fattat eld [4]. Erfarenheterna från förbränningen har visat på kraftiga beläggningar och tubläckage. Tubläckage har uppstått när stora delar av tubpaketen i bakre draget har satt igen på grund av beläggningar vilket ledde till väldigt höga hastigheter på rökgasen i de begränsade fria passagerna. Skador har även uppstått i eldstaden under inloppet till cyklonerna samt i cyklontaket på grund av erosion-korrosion. Detta har åtgärdats genom att mura in dessa delar. Erosion och korrosion har även påverkat dysorna. Högdalen har även haft problem med kompaktering av bränslet vid utmatningen från bränslesilona och har därför modifierat utmatningsskruvarna och sett en klar förbättring på funktionaliteten.

Igelsta
Igelstaverket eldar ca 110 000 ton PTP per år, varav ca 60 % har sitt ursprung i Sverige medan övrig mängd importeras från andra länder i Europa. Huvudsakliga mängden av bränslet är berett och skall vara färdigt för förbränning när det levereras. Förbränningen sker på en vattenkyld rost och eldas som ensamt bränsle i denna panna. Erfarenheterna visar på betydande erosion såväl som korrosion.

Örebro Kartong
Vid Örebro kartongfabrik eldas en blandning av 75 % PTP (utsorterat industriavfall som köps in) och 25 % plastrejekt från kartongfabriken. Pannan är en vibrarost och designad för avfall. Erfarenheter från egen bränsleberedning har gjort att man numera köper in färdigberett bränsle då det blev billigare än det omfattande underhållet som krävdes i den egna beredningen. Förbränningsmässigt har man haft goda erfarenheter och inga tendenser till beläggningar. En skorstenskon i materialet corten korroderade bort på väldigt kort tid, men i övrigt har de inte haft några problem med korrosion. Vissa problem har noterats med damning på grund av extremt hög torrhalt på bränslet. Den höga torrhalten har även gjort att höga halter termisk NO_x har bildats vid förbränning. Båda dessa problem har dock åtgärdats genom befuktning av bränslet.

På Återbruket i Lomma (Lunds Energikoncernen) utförs förbränning i en CFB-panna. Pappersförpackningar för dryck t.ex. för juice, var belagda med ett skikt av aluminium vilket ledde till att aluminiumet förångades i pannan och kondenserade på kalla ytor, t.ex. i cyklonen. När aluminiumet byggdes på till en större massa ramlade dessa ned och täppte till sandåterföringen till pannan. Dessa problem fick Lunds Energi att sluta elda papper och plast, numer eldas endast returträ vid Återbruket [3].

3.22.4 Rekommendationer

Följande saker är viktiga att tänka på vid förbränning av PTP3:

- Homogenisering av bränslemixen viktigt för att erhålla jämn förbränning, god utbränning och låga emissioner till luft.
- Kvalitetssäkring av bränslet viktigt – styckestorlek, innehåll av tungmetaller, klor och skrot.
- Förekomsten av alkali i papper och trä i kombination med klor i plastfraktionen kan leda till ökad risk för påslag och korrosion. Det är viktigt att välja material som klarar den sura miljö som uppstår.
- Kross av papper, plast och trä har visat sig kunna självantända vid lagring.
- Papper, plast och pellets kan fastna i olika typer av bränsleberednings- och inmatningssystem, exempelvis skivsållar, krossar och koniska och raka stup.
- Metallskrot kan orsaka haverier av grov- och finrivare.
- Papper och plast kan flyga omkring och orsaka nedskräpning samt fastna i diverse utrustning om det hanteras ute på plan.
- Det är viktigt att ha en rökgasrening som klarar att skilja av HCl. Denna kan vara en rökgaskondensering/skrubber eller ett spärrfilter med injektion av kalk.

3.22.5 Risker och åtgärder vid användning av PTP

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar

i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [3,4] men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker

PTP är ett torrt bränsle som dammar mycket. Bränslet är skrymmande och kan innehålla både papper, trä och plast i olika mängd och utformning vilket gör att bränslet är inhomogent både vad gäller storlek och innehåll.

Lagring på anläggning kan behövas både innan och efter beredning. Bränslet kan försämras om det lagras utomhus då pappret i bränsleblandningen lätt suger upp fukt och vatten.

Brandrisker förknippade med detta bränsle förekommer på flera ställen på anläggningarna, bland annat i lagringssilos. Det finns exempel på olyckor där lager har skurit vilket har gett upphov till gnistbildning och antändning av bränslet. Om lagringsställena ligger nära varandra finns det risk för att brand kan sprida sig, till exempel mellan utomhuslager och lagerhus. Vid beredning föreligger brandrisk vid krossar och såll eftersom det där kan bildas gnistor och beredningen ger upphov till mycket dammbildning. Varmgång i trasiga lager utgör en brandrisk på transportbanden. Det föreligger även risk för tillbakabrand från panna till inmatningsficka, vilket kan vara en konsekvens av övertryck i pannan som då trycker tillbaka rökgasen ut till inmatningsfickan.

I färdigberett bränsle finns det mycket damm och finfraktioner. Därför kan det finnas risk för uppkomst av dammexplosion, speciellt då bränslet tippas ned i lagret eller då traversen flyttar om bränslet inuti bränslelagret.

Arbetsmiljömässigt förekommer risker för klämskador vid lossning och beredning av bränsle. Klämskador kan till exempel förekomma i kross och manuell hantering. Att det dammar mycket vid både lossning och beredning innebär ökade arbetsmiljörisker.

PTP är ett inhomogent bränsle och vid transport inom anläggningen kan problem uppstå då olika detaljer i bränslet kan fastna i axlar och liknande (i intervjuerna påpekar man att plastdetaljer såsom videoband och kvittorullar, eller textil såsom kaffesäckar kan orsaka problem). Att bränslet är inhomogent innebär också att slitaget på skruvar och cell- och slussmatare blir stort.

Exempel på åtgärder

PTP kan lagras under tak för att väderskydda bränslet, speciellt om bränslet innehåller mycket papper som lätt suger upp fukt. Vid hantering och lagring inomhus är det viktigt att ha god ventilation som ventilerar ut dammpartiklar i luften, en lösning är att ha ett

halvöppet lager och vid behov, inte minst av arbetsmiljöskäl, punktutsug. För att minimera skadorna vid en eventuell dammexplosion i en lagerbyggnad bör tryckavlastningsluckor installeras i det fall då risken (efter utredning) bedöms föreligga. Rökdetektorer samt olika typer av värmedetektorer finns installerade hos flera anläggningar tillsammans med automatiska släcksystem. Ett sätt att reducera risken för brand är att installera ett gnistdetekteringssystem i sådana positioner där gnistor kan uppstå, samt kombinera detta med ett automatiskt släcksystem.

Det bör undersökas om området ska ATEX-klassas, d.v.s. om det finns risk för explosionsfarlig miljö. Personal som befinner sig i närheten av lossningsstället kan, för att minska arbetsmiljörisken, bära andningsskydd.

För att minimera risken för spridning av brand mellan lager och stackar är det viktigt att tillräckligt avstånd hålls mellan olika lager. När det gäller brand på transportband kan självsläckande transportband, cell- och slussmatare som stoppar tillbakabrand, samt ett automatiskt släcksystem med spjäll och luckor som faller ned och blockerar vid brand installeras.

Många av riskerna och problemen med PTP beror på att bränslet är inhomogent till form och innehåll. Tydliga specifikationer om vad som får och inte får ingå i bränslet vid leverans kan reducera riskerna med föroreningar. För att underlätta hanteringen av svåra material som gärna fastnar i transportsystemen är ombyggnad till system med färre roterande delar ett alternativ. Ett annat alternativ är att göra ett större arbete med utsortering av problematiska föremål på själva anläggningen. Det är också viktigt att regelbundet rensa vid kritiska ställen där bränslet ofta fastnar i transportsystemet

3.22.6 Referenser

1 Gyllenhammar M, Johansson I; ”Returbränsleströmmar- kopplingen mellan bränsleberedning, förbränningsutrustning och askkvalitet”; Värmeforsk Service Rapport nr 869, juni 2004

2 S.E.P.s databas, Prov ”Avfall 36”, Utsorterat industriavfall från Örebro Kartong

3 Olsson R., Lund Energikoncernen AB, personlig kommunikation

4 Öberg N., Fortum Värme, personlig kommunikation

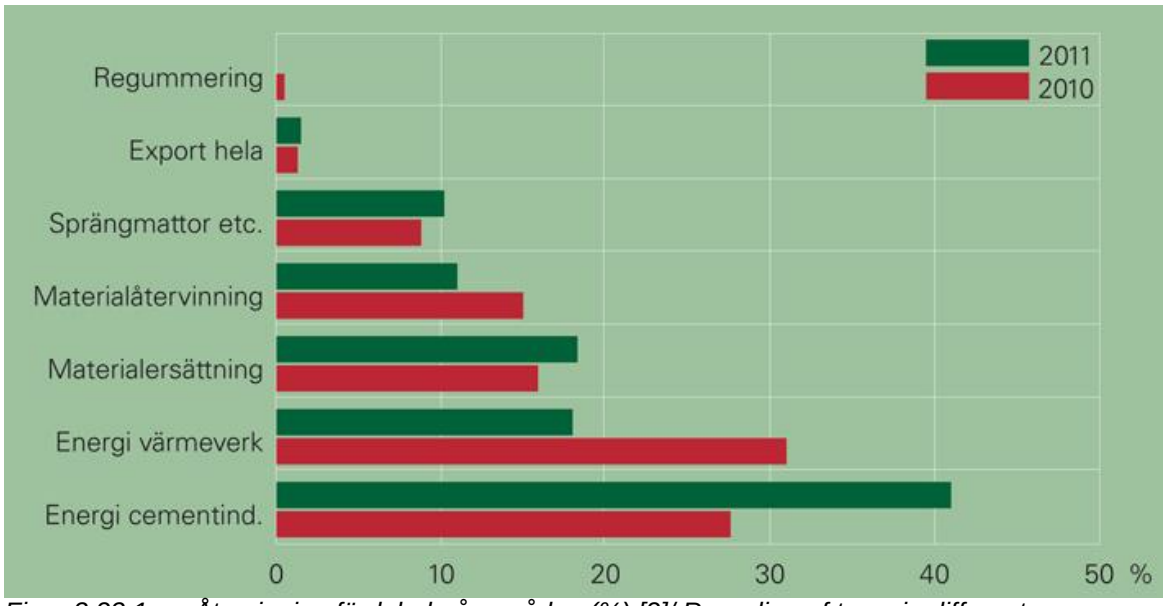
5 Blom E, Ekvall A, Gustavsson L, Robertsson K, Sundqvist J-O; ”Erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring av verksamhetsavfall i Sverige och Europa”, Värmeforsk Service AB Rapport 861, april 2004

Läs mer om PTP

- Strömberg Mats, Erdegren Per; ”Sameldning av returbränslen i form av papper, plast och trä i fastbränslepanna som idag ej är klassad för avfall”, Värmeforsk Service Rapport 759, Stockholm, januari 2002,
- Blom E, Lundborg R, Wrangesten L; ”Proveldning i fastbränslepanna för att kartlägga emissioner vid inblandning”, Värmeforsk Service Rapport nr 788, september 2002
- Gyllenhammar M, Njurell R; ”Upparbetning av returbränslen - förutsättningar, kvalité, teknik och kostnader”, Värmeforsk Service Rapport nr 701, maj 2000

3.23 Gummi

Gummi som bränsle sätts ofta liktydigt med gummidäck men bränslet kan också komma som spill från exempelvis tillverkning av mattor och slangar. Huvuddelen av det gummi som används som bränsle i Sverige kommer dock från gummidäck. I Sverige ligger ansvaret för insamling av gummidäck på Svensk Däckåtervinning AB (SDAB) som bildades 1994 för att hantera producentansvaret för däckbranschen i Sverige 1. Efter 2006 är det förbjudet att i Sverige deponera gummidäck. Insamlingen av kasserade bildäck i Sverige uppgår årligen till ca 70 000 ton/år, varav knappt hälften används för energiändamål (ca 300 GWh). Merparten (ca 2/3) av de gummidäck som återanvänds för energiändamål används inom cementindustrin. Utöver det bränsle som härrör från däckåtervinning i Sverige importeras även en del gummi för energiändamål.



Figur 3.23.1 Återvinning fördelad på områden (%) [2]/ Recycling of tyres in different areas.

Förbränning av fordonsdäck kan ske på många olika sätt. I princip finns det fyra olika alternativ att bränna däck:

1. Förbränning i cementugnar
2. Förbränning i pannor speciellt utformade för att bränna hela eller rivna bildäck
3. Förbränning i avfallspannor
4. Förbränning i industriella energipannor

Oftast rivs bildäcken till mindre bitar för att enklare kunna hanteras och eldas. Det finns dock även teknik för att elda hela bildäck, vilket dock inte är fullt så vanligt. Det är viktigt med rena klipp vid upparbetning av däck så att inte metalltrådarna fastnar i varandra. Vid förbränning i fluidbädd krävs 2-3 klippningar med först en grovkross och därefter 1-2 finkrossar med magnetavskiljning i slutänden. En roster kan elda grövre bitar och t.o.m. hela däck, men 1-2 klippningar rekommenderas för att få jämn förbränning 3. För fluidpannor är klippning till en styckestorlek 20-40 mm vanligt.

Upparbetade däck som är rivna och rensade från metalltrådar kallas TDF (Tire Derived Fuel).

Bildäck består av gummi, metalltrådar och förstärkningsväv. I Tabell visas typiska viktsandelar av olika material som kan finnas i fordonsdäck [4]. Däck är ett homogent bränsle men innehåller metalltrådar som måste kunna tas om hand i utmatningen.

Tabell 3.23.1 Viktsandelar av olika beståndsdelar i fordonsdäck samt däckens totalvikt / Weight percentage of substances in tires and the tires total weight.

	Personbilsdäck	Lastbilsdäck
Naturligt gummi [%]	14	27
Syntetiskt gummi [%]	27	14
Kimrök (Carbon black) [%]	28	28
Stål [%]	14-15	14-15
Väv, plast, aktivatorer, osv. [%]	16-17	16-17
Medelvikt [kg]	Nya 11, Uttjänta 9	Nya 54, Uttjänta 45

Däck har ett högt värmevärde, ofta högre än kol. Däck innehåller mer kol och ofta lika mycket svavel som ett medelsvavelhaltigt kol men mindre bränslebundet kväve.

Gummi som bränsle kan ha mycket varierande sammansättning som är beroende av gummiavfallets ursprung. Karaktäristiskt för gummi är ett generellt högt askinnehåll (typiskt 10-15%), högt innehåll av zink i form av ZnO samt ett förhållandevis högt innehåll av svavel (1-3%). Ett högt askinnehåll är inte bara kopplat till innehåll av stålkord. Zinkoxiden används som katalysator i vulkaniseringsprocessen och utgör också ett fyllmedel. Det höga svavelinnehållet beror på att elastomeren är vulkaniserad med svavelföreningar. Även kisel i form av SiO_2 och kaolin används som fyllmedel. Innehållet av kalcium är också relativt högt. Vissa gummisorter innehåller mycket klor, troligen från kloroprengummi 4. Förbränningstekniskt är det zink och klor som i första hand kan ställa till problem i förbränningsutrustningen, utöver de askutmatningsproblemen som eventuell stålkord kan orsaka.

Zink tillsammans med klor kan ge besvärande beläggningar och korrosion i den kallare delen av rökgasstråket. Zink binds dessutom i FB-pannor till bädden som zinksilikat vilket troligen förklarar varför man ofta återfinner en större andel av tillfört zink i FB-pannornas bottenaska än vad man normalt gör i motsvarande rostpannor. Från rostpannor är erfarenheten att absoluta merparten av zinken återfinns som flygaska 5. Även bly har samma konsekvens i eldningsutrustningen, framförallt vid närvaro av klor, men blyhalten i däck är normalt mycket låg varför detta inte borde skapa några problem. Om klor finns närvarande kan järn innebära problem vid dåliga förbränningsförhållanden då järn katalyserar dioxinbildning.

Svavelhalten i bränslet kan vara positivt i fråga om korrosion och beläggnings-problematiken vid förbränning av klor- och alkalihaltiga bränslen om inte gummits innehåll av klor är allt för högt. Den höga svavelhalten kan dock innebära att avsvavling kommer att behövas.

3.23.1 Lagar

Förbränningen av däck regleras och påverkas av följande lagar och förordningar:

Avfallsförordning (SFS 2011:927)

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG av den 4 december 2000 om förbränning av avfall. (Upphör att gälla 2014-2016. Läs mer i kapitel 5. Lagstiftning)

Förordning om förbränning av avfall SFS 2002:1060

NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning

Däck klassas som avfall. Ovanstående lagar och föreskrifter ställer bland annat krav på kontinuerlig och periodisk mätning av olika parametrar, 2 sekunders uppehållstid vid 850°C och gränsvärden för utsläpp till luft och vatten.

3.23.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.23.2 Analys upparbetade däck (TDF) och gummi/ Analysis of processed tyres and rubber

Prov	Exempel [6]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	4,3		2,1	0,3	8,0	13
Aska (torrt)	12,6		12,9	4,8	37,2	14
Flyktiga ämnen (torrt)			70,5	70,4	70,6	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	36,0		38,5	31,7	43,1	14
Hkal (leverans)	30,4		32,5	19,8	39,5	14
Heff (torrt askfritt)	34,4		36,8	29,5	41,3	14
Heff (leverans)	28,6		30,9	18,4	37,8	14
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	88,1		82,4	67,2	88,7	14
H (väte)	7,78		7,7	7,2	12,7	14
O (syre)	1,54		6,8	0,6	21,6	14
S (svavel)	2,17		1,7	0,9	3,3	14
N (kväve)	0,34		0,42	0,2	1,5	14
Cl (klor)	0,06		0,25	0,03	4,0	10
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	698	5 540	14 311	5 540	182 056	7
As (arsenik)	0,21	1,7	4,7	0,6	49	8
Ba (barium)	18	140	99	84	11 391	7
Ca (kalcium)	3 579	28 405	67 784	28 405	245 695	8
Cd (kadmium)	2,5	20	10	0,13	125	9
Co (kobolt)	99	782	318	1,9	817	7
Cr (krom)	29	233	220	5,6	2 042	9
Cu (koppar)	45	360	435	130	2 168	7
Fe (järn)	4 538	36 016	42 906	1 917	274 382	8
Hg (kvicksilver)	0,12	1,0	0,31	0,05	1,3	7
K (kalium)	620	4 921	5 939	2 070	11 823	7
Mg (magnesium)	407	3230	5 473	7,6	87 285	8
Mn (mangan)	26	206	206	17	1 580	7
Mo (molybden)	0,43	3,4	7,5	3,4	19	7
Na (natrium)	498	3 952	3 952	2 110	5 000	7
Ni (nickel)	4	31	39	4,2	466	8
P (fosfor)	206	1 635	1 833	242	2 339	7
Pb (bly)	22	172	172	5	14 435	9
Sb (antimon)			7,0	2,8	11	2
Si (kisel)	7 354	58 365	126 812	58 365	155 974	7
Ti (titan)	104	825	5 118	435	30 148	7
Tl (tallium)		0,9	0,53	0,13	0,9	4
V (vanadin)	0,63	5,0	38	5	70	7
Zn (zink)	15 700	124 603	82 261	14 839	318 750	9

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.23.3 Nyckeltal däck(TDF) och gummi. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers Tyres and rubber. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**0.86**	**0.65**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.08	0.05
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	32	22
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0.58**	**0.53**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**10.1**	**8.51**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0.1	0.05

Tabell 3.23.4 Svavel- och fosforkvoter för däck och gummi. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for tyres and rubber. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0.15	0.51
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0.15	0.49
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	38.0	7.1
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.03	0.02

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.23.3 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Kvoterna i tabell 3.23.4 visar att gummi innehåller tillräckligt med svavel för att allt alkali skulle kunna föreligga som alkalisulfat, vilket innebär låg risk för alkalikloridinducerad korrosion.

3.23.3 Drifterfarenheter

Däck används som bränsle i några förbränningsanläggningar i Sverige. Största delen av de däck som eldas vid de svenska energiverken importeras dock från Tyskland och Holland. Nedan följer några exempel på erfarenheter från anläggningar som eldar klippta däck.

Tabell 3.23.5 Anläggningar i Sverige som sameldar däck.
Plants in Sweden cofiring tires.

Anläggning	Panntyp	Andel däck % energi	Sameldningsbränslen
Händelöverket, Norrköping	Wanderrrost 125 MW Vibrarost 90 MW CFB 125 MW	25 5 30	Kol RT-flis Skogsflis
Tekniska verken i Linköping	Wanderrost 80 MW	40	Kol

Händelöverken i Norrköping, EON Värme Sverige AB [7]
I Norrköping eldas bildäck tillsammans med kol i en 125 MW wanderrost (upp till 25 % däck), i en 90 MW vibrarost tillsammans med RT-flis (upp till 5 % däck) samt i en 125 MW CFB tillsammans med skogsflis (upp till 30 % däck). Bildäcken är rivna till max 35-40 mm storlek.

Gummidäck innehåller flera ämnen som kan ge problem i samband med förbränning, t.ex. svavel, järn, koppar och zink. Zink och zinkklorider har en tendens att falla ut och kondensera vid ca 120ºC, vilket kan leda till lågtemperaturkorrosion i de kallare delarna av pannan, såsom economizer och luftförvärmare. Generellt kan dessa element och andra relativt rikligt förekommande ge upphov till lågsmältande salter, vilket inte minst framgår av den s.k. saltkvoten i tabell 3.20.3, som ligger mycket högt.

Det är värt att notera att tekniskt gummi inte kan jämställas med däck vad avser bränslekvalitet. Det är betydligt mer problematiskt att elda och rekommenderas inte som ersättning.

I rosterpannor kan problem uppstå med den kord av ståltråd som förstärker däcken, vilken kan fastna mellan rosterstavarna. Problem med metallsmältor bildade av andra ingående metaller som sätter igen rosten är inte heller ovanliga. Personalen har fått använda tänger för att få bort metallhärvorna. I CFB-pannor förekommer inte samma problem med smältor, men däremot problem med att metallkord nystar ihop sig och blockerar askutmatningen. Detta är ganska vanligt förekommande. Ju bättre utbränt själva gummit är, desto mer nystar metallkorden ihop sig och stoppar upp. Om askutmatningen sätter igen packar bränsle och aska upp bakom, vilket leder till ökad risk för sintring. Ökad koncentration av metallsalter i bädden höjer risken för global sintring och defluidisering, vilket leder till krav på att bäddomsättningen måste hållas uppe [8] och att återfört bäddmaterial (om det praktiseras) siktas och ”renas”.

Då däckklippet innehåller metall (zink, järn och ibland koppar) så ökar halterna av metall i rökgaserna. Det är viktigt att inte tungmetaller följer med rökgaserna till skorsten, gränsvärdena för tillåtna mängder är mycket låga. Mätningar görs genom att man plockar ut och filtrerar rökgaser i ca 4-8 timmar. Ett sådant underlag ska vara tillräckligt men erfarenhetsmässigt kan mätfelet vara lika stort som gränsvärdet, vilket skulle kunna göra kravefterlevnaden besvärlig med gummidäck som bränsle.

Bränslets innehåll av metaller som transporteras med rökgasen kan även leda till ökad återbildning av dioxin vid temperaturer kring 400ºC. Gasens uppehållstid i den aktuella delen av pannan vid denna temperatur är kritisk. Panndesign och hur pannan körs påverkar bildning av dioxin.

Oftast är det inga problem med de metalltrådar som kommer med däcken, in i pannan, eftersom de går ut med bottenaskan. Zinkhalten i askan är förhöjd, men inga korrosions-problem har noterats. Detta beror troligtvis på att dolomit tillsätts i wanderrosten och kalksten i CFB för SO_2-reduktion, vilken också tar hand om zinken.

Tekniska Verken i Linköping [8]
I Linköping eldas däck och tekniskt gummi (i huvudsak däck) tillsammans med kol i en 80 MW wanderrost. Styckestorleken på gummit är samma som i Norrköping. Det har varit stora korrosionsproblem i pannan, vilket kan bero på att anläggningen har torr avsvavlingsutrustning efter pannan och inte som i Norrköping dolomit eller kalk inne i pannan. Tuberna i eldstaden har bytts till compound för att klara korrosionen.

Normalt består bränsleblandningen av 50 % gummi, 40 % kol samt 10 % träflis. Försök har gjorts med 40 % gummi, 35 % kol och 25 % RDF-pellets men då erhölls väldiga påslag på värmeytorna. Eldar man RDF-pellets sker detta normalt utan inblandning av gummi utan enbart tillsammans med kol.

Igelstaverken i Södertälje [9]
Södertälje (Igelstaverken) har eldat bildäck i sin fluidbädd men gör det inte längre. Vid förbränning av bildäck (max knytnävestora bitar orensade från metaller) blev dysorna igensatta och lågsmältande eutektikum med zink bildades. De fick även problem med zinkklorider längre bort i pannan. Det bör dock påpekas att när dessa försök gjordes togs rökgasrecirkulationen direkt efter elfilter. Rökgasrecirkulationen har sedan dess modifierats så att rökgas istället tas efter svavelreaktor och slangfilter. Söderenergi gör idag bedömningen att detta förfarande sannolikt skulle eliminerat eller åtminstone väsentligt lindrat de problem som man upplevde med gummieldningen.

Borlänge Energi
Borlänge Energi har proveldat krossade däck på sin 18 MW roster. Normalbränsle är avfall och med 10 % inblandning blev det inga direkta driftstörningar. Det blev dock högre belastning på elfiltret och kord i slaggen. Det blev lägre NO_x och CO-emissioner men betydande ökning av SO_2-emissioner.

Cementugnar
Bildäck används som ersättningsbränsle i cementugnar. Det finns flera fördelar med att elda bildäck i cementugnar:

- Värmevärdet för gummi ligger högre än kol, dvs. större värmevärde kan tillföras per kilo bränsle.
- Bildäck innehåller järn vilket kan ersätta delar av det järn som måste tillsättas för att cementprocessen skall fungera.
- Bildäck har lägre svavelhalt än många kol.

Cementugnar har hög förbränningstemperatur, 1450-1500°C, i 4-12 sekunder med högt luftöverskott. Detta medför att man kan räkna med att bildäcken blir fullständigt förbrända. Miljömässigt är det därför ingen nackdel att elda bildäck, då alla komponenter från bildäcket antingen förstörs i förbränningsprocessen, binds in i klinkern eller fångas i rökgasreningen. Det blir ingen askåterstod.

Den största enskilda komponenten i cement är kalciumkarbonat, vilken är ett av de mest effektiva avsvavlingsmedlen som finns.

Svårigheten med att elda bildäck, och framförallt hela däck, i cementugnar kan vara att tillföra däcken på rätt ställe, då gummi är väldigt reaktivt och brinner upp snabbt. Däcken kanske får tillsättas en bit in i ugnen så att det finns lite bränsle kvar till slutet av ugnen.

3.23.4 Rekommendationer

För att elda i en fluidbädd bör däcken vara väl klippta med rena klipp (2-3 ggr) och rensade från metall dessutom måste bottenaskutmatning ske ofta för att få det att fungera. Vid utformningen av dysbotten bör det beaktas att en viss andel metall kan förekomma. I Händelö har det varit problem med bottenaskutmatningen då däcken inte varit väl klippta. Även vid förbränning av däck på roster är det en fördel om däcken är klippta ordentligt så att metalltrådarna inte hakar i varandra. 1-2 klippningar är att föredra.

Gummi kan användas som additiv för att minska alkalikloridrelaterade påslag- och korrosionsproblem. Skall man använda gummi som bränsleadditiv skall man välja svavelrika gummisorter med lågt klorinnehåll. Bra gummisorter ur svavelsynpunkt har sulfateringstal över 50. Det finns gummisorter som innehåller höga halter klor motsvarande sulfateringstal runt 1. Dessa bör undvikas. Gummisorter som innehåller kaolin kan också ha positiv effekt eftersom kaolin binder alkali. Gummi med högt innehåll av aluminium kan vara en indikation på att kaolin använts som fyllmedel.

Gummidäck innehåller mycket svavel. En åtgärd för att få ned svavelmängden i utsläppen är att dosera en lämplig absorbent (kalk) i eldstaden för att binda svavlet, och därmed minska svavelutsläppen. Detta ökar askmängden och således även mängden flygaska. Omräknat blir den totala askhalten, med hänsyn till bränsle(blandning) och tillförd absorbent, minst 10 %. [8]

För att undvika korrosions- och agglomereringsproblem så kan dolomit eller kalksten tillsättas eldstaden. Undersökning av vilka mekanismer som gäller för speciellt zink, bör göras för att välja rätt tillsatsmedel. Zink i gummi är normalt relativt lättflyktigt men erfarenheter från FB-pannor indikerar att zink också binds in i bäddmaterialet som silikat.

En åtgärd som kan vidtas för att undvika utfällning av zinkklorider är att se till att kloridhalten begränsas i den totala bränslemixen. En annan möjlighet är att genom olika åtgärder som leder till högre rökgastemperatur, t.ex. höjd matarvattentemperatur eller genom shuntning höjd vattentemperatur till economizern, åtgärder som visserligen ger en högre rökgastemperatur och därmed mindre risk för lågtemperaturkorrosion men som sker till priset av en lägre elverkningsgrad [8]. Eftersom problemet oftast är kopplat till låglastsituationer förefaller en rimlig åtgärd vara att försöka undvika den typen av drift.

Gummi är ett förhållandevis askrikt bränsle. Skall man elda gummi ensamt eller som bränsleadditiv skall man vara medveten om att den totala mängden aska från pannan blir högre än vid eldning av de flesta biobränslen samt RT-flis.

Använder man rökgasrecirkulation på pannan bör denna tas efter vått eller torrt avsvavlingssteg och efterföljande slangfilter för att på så sätt minimera återföringen av gasformig HCl och zinkinnehållande submikrona stoftpartklar.

Däck har högt värmevärde vilket gör att en god blandning med övrigt bränsle är ett måste för att undvika ostabil förbränning. Däck är ett ypperligt bränsle i cementugnar då det ersätter kol och tillför järn som krävs för processen.

3.23.5 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på en intervju [7]. Nedan beskrivs exempel på hur riskerna kan reduceras. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att ge tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker

Brandrisken vid lagning av bränslet är relativt stor. Däckklippet kan visserligen inte självantända, men vid extern antändning kan bränslet börja brinna och bildäck brinner väldigt intensivt på grund av det höga värmevärdet (dessutom orsakar bildäck som brinner stora utsläpp av sotpartiklar, svart rök, och giftig PAH som finns i HA-oljan). Vid det moment under bränsleberedningen då stålkord klipps upp och tas bort kan tillräcklig värme frigöras för utveckling av glöd som sedan ligger och pyr. Några sådana incidenter har förekommit.

Bränslet sliter mycket på bränsleinmatning, och övriga transportsystem, på grund av däckens innehåll av metallkord som är vass och som kan haka samman. Bränslet tenderar att fastna i skruvar, transportband och skraptransportörer vilket kräver omfattande manuella insatser i samband med frekvent återkommande driftsstopp. Det innebär risk för t.ex. skär- och stickskador.

Exempel på åtgärder

För att undvika brand vid lagring är det viktigt att följa de riktlinjer som finns. Bränslet skall lagras på hårdgjord yta och på grund av riskerna vid brand kan det också finnas bestämmelser för lagringsplatsens storlek och placering beroende på var anläggningen är placerad i förhållande till bebyggelse.

För att undvika att bränslet fastnar i inmatningen är det viktigt att stigningen på gängvarven i skruvarna är lagom och att mellanrummet mellan skruv och tråg är

tillräckligt stort. Transportbanden måste tåla tufft bränsle (men detta gäller ju även annat avfallsbränsle såsom RT-flis).

Vid manuell kontakt med bränslet eller askan är det viktigt att använda handskar och täckande klädsel för att undvika skärsår i kontakt med metall som fastnat. Vid Händelöverket finns det föreskrifter som förordar handskar, skyddsglasögon och munskydd.

3.23.6 Referenser

1 www.svdab.se Svensk Däckåtervinnings ABs hemsida

2 Svensk Däckåtervinnings AB, Återvinning områdesvis: http://www.svdab.se/show.asp?si=838&sp=831&go=Hem-Återvinning områdesvis

3 Gyllenhammar M, Johansson I; *”Returbränslen – kopplingen mellan förbehandling, förbränningsutrustning och askkvalitet”*, Värmeforsk Stockholm maj 2004

4 Rubber manufacturers association; *”Scrap tire characteristics”,* http://www.rma.org/scrap_tires/scrap_tire_markets/scrap_tire_characteristics/

5 Goldschmidt B; *”Samförbränning av klippta gummidäck-Försök i en biobränslepelletseldad rostpanna”*, Värmeforskrapport 926, Stockholm 2005

6 Carlsson Ulf, Tekniska Verken i Linköping, personlig kommunikation, februari 2004

7 Jiveborn D; EON Värme Sverige, personlig kommunikation februari 2010

8 Lindståhl H; Tekniska verken i Linköping, personlig kommunikation, februari 2009

9 Oxelmark P; Söderenergi i Södertälje, personlig kommunikation, februari 2009

Läs mer om gummidäck

- Hope, Mark W;*”Conversion of scrap tires to energy and its environmental issues"*, Air & waste management ass; Environmental challenges in energy utilization during 1990s, International conference in Cleveland, Ohio, USA okt 1988.
- Rubber Manufacturers Association, *“U.S. scrap tire markets 2001”* December 2002 www.rma.org/scraptires
- Strömberg B, *” Sameldning av bränslen – en litteraturstudie”*; Värmeforsk rapport nr 610 Stockholm Juni 1997
- Njurell R, Gyllenhammar M; *”Upparbetning av returbränslen – förutsättningar, kvalité, teknik och kostnader”*, Värmeforsk rapport nr 701 Stockholm maj 2000

3.24 Läderspill

Läderavfallet består främst av avskrap som bildas då man skrapar skinnet till rätt tjocklek. Detta ser ut som små hyvelspån. Dessutom ingår kantklipp och bitar av sämre kvalitet.

Elmo Leather Sweden AB i Svenljunga är Sveriges största lädertillverkare. Läderspill från deras tillverkning, såväl bortskurna bitar som flis från läderbearbetningen, skickas iväg till Borås Energi och Miljö AB för förbränning i deras avfallspannor. Mängderna läderspill ligger på 1500-2000 ton per år. Spillet kommer från både kromgarvat läder och läder som är garvat med kromfria metoder. [1]

Mängderna läderspill från Elmo Leather, som är Sveriges största lädertillverkare, är ur förbränningssynvinkel mycket små. Därför måste slutsatsen dras att mängden läderspill tillgängligt för förbränning på den svenska marknaden är mycket liten, och därmed att bränslet aldrig kan bli mer än ett marginalbränsle.

Enligt avfallsförordningen **(SFS 2011:927**) är avfall från läderindustrin är i dagsläget inte klassat som farligt avfall.

Läder och läderspill kan innehålla rester av krom från garvning och det kan finnas upp till 2 % kvar. Azofärgämnen som ingår i många färger för skinn är cancerframkallande. Pentaklorfenol används som konserveringsmedel för skinn i vissa länder. Kina och Indien som levererar mycket skinn använder fortfarande stora mängder pentaklorfenol. Sverige har begränsningar för pentaklorfenol men t.ex. Tysklands gränsvärden är 200 ggr lägre. Pentaklorfenol är förbjudet i trävaror men tillåtet i bl.a. barnskor.

Problemen med tungmetaller och miljögifter kan undvikas om skinnen istället garvas med vegetabilisk metod. Konsten att garva läder med garvsyror från växtriket är tusentals år gammal. Från början lade man helt enkel huden i en blandning av salt och ekbark. Där kunde den få ligga ett helt år innan den blev garvad. I dag används ett träextrakt som ger snabbare resultat där vegetabilgarvningen tar ca tre veckor. Ett vegetabiliskt behandlat läder andas bättre än ett kromgarvat och framkallar inte allergier i samma utsträckning. Vegetabilgarvat läder är fritt från tillsatta tungmetaller och är biologiskt nedbrytbart i naturen. Därmed uppstår inga problem vid nedbrytningen.

3.24.1 Lagar

Förbränningen av läderspilll regleras och påverkas av följande lagar:

Avfallsförordningen (SFS 2011:927)

Lag om skatt på energi (SFS 1994:1776)
Läderspill är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG
av den 4 december 2000 om förbränning av avfall. (Upphör 2014-2016. Läs mer i kapitel 5. Lagstiftning)

Förordning om förbränning av avfall SFS 2002:1060

NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning

Läderspill är ett avfall och omfattas av dessa föreskrifter. Ovanstående lagar och föreskrifter ställer bland annat krav på kontinuerlig och periodisk mätning av olika parametrar, 2 sekunders uppehållstid vid 850°C och gränsvärden för utsläpp till luft och vatten.

3.24.2 Analys

Tabell 3.24.1 Analys läderspill/ Analysis of waste leather

Prov	Exempel [2]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	40,4		40,4	10,9	54,3	3
Aska (% torrt)	0,7		2,5	0,7	5,3	3
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)	96,7		90,15	83,6	96,7	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	17,17		18,76	17,17	24,19	3
Hkal (leverans)	10,16		9,365	8,57	10,16	2
Heff (torrt askfritt)	15,98		17,73	15,98	22,4	3
Heff (leverans)	8,47		7,52	6,57	8,47	2
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	45,6		45,6	42,6	53,2	3
H (väte)	5,4		6,8	5,4	8,2	3
O (syre)	35,2		30,22	24,6	35,2	3
S (svavel)	1,61		1,95	1,61	2,61	3
N (kväve)	7,1		12,3	7,05	14	3
Cl (klor)			0,75	0,3	1,2	2
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)						
As (arsenik)	2	286				
Ba (barium)						
Ca (kalcium)						
Cd (kadmium)	28	4000				
Co (kobolt)						
Cr (krom)	166	23714				
Cu (koppar)	186	26571				
Fe (järn)						
Hg (kvicksilver)	6	857				
K (kalium)						
Mg (magnesium)						
Mn (mangan)						
Mo (molybden)						
Na (natrium)						
Ni (nickel)						
P (fosfor)						
Pb (bly)	150	21429				
Sb (antimon)						
Si (kisel)						
Ti (titan)						
Tl (tallium)						
V (vanadin)						
Zn (zink)	253	36143				

Det saknas analysdata för att beräkna nyckeltal.

Tabell 3.24.2 Svavelkvoter för läderspill. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal). Sulphur numbers for waste leather. Values calculated from Appendix a (Key numbers).

Svavelkvot	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna	1,5-2		
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens	2-4 bra > 4 bättre		1,76

3.24.3 Driftserfarenheter

Inblandning av 10 % (energiandel) läderspill har undersökts vid rosteldning med sameldning av bark och RT-flis. Förbränningen var mer gasförbränning än vid den ordinarie bränslemixen (70 % RT, 30 % bark). Klorhalten i läderspill är förhållandevis hög, vilket sannolikt beror på garvningen av lädret som utförs med natrium eller kaliumklorid. Svavelhalten är ca 0,1 %.

Projektresultaten tyder på att samförbränning med olika avfallsfraktioner bl.a. läderspill bör kunna ske inom ramen för rådande miljökrav och kanske även inom ramen för avfallsförbränningsdirektivet 2000/76/EG i befintliga fastbränslepannor. [3]

Borås Energi och Miljö AB bränner ca 100 000 ton avfall årligen, vilket gör att läderspillet utgör en mycket liten andel av det totala bränslet. I de två 20 MW-pannorna eldas en bränslemix som består av ungefär 70 % verksamhetsavfall och 30 % hushållsavfall. Vid Ryaverket, där Borås Energi och Miljö bränner läderspill tillsammans med övrigt avfall, har man inte märkt några problem i pannan som går att härleda till läderspillet. [4]

3.24.4 Rekommendationer

Sameldning med andra avfallsbränslen och bränslen med en hög svavelhalt.

3.24.5 Risker och åtgärder vid hantering av läderspill

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker och åtgärder kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [1,4]. Åtgärdsförslagen bör läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Erfarenheter av risker kring förbränning av läderspill
Läderspill har hög fukthalt och ett värmevärde i storlek med trädbränslen. Innehållet av kväve är högt, vilket kan ge utslag på NOx-emissionerna. Dessutom är innehållet av tungmetaller högt.

Läderspill innehåller väsentliga halter av krom (gäller kromgarvat läder) vilket kan bilda 6-värt krom vid förbränning. 6-värt krom är allergiframkallande i betydligt högre grad än 3-värt krom och dessutom cancerframkallande.

Läderspill innehåller dessutom höga halter av salter från garvningen, t.ex. natriumklorider och kaliumklorider, vilket kan orsaka problem med påslag vid förbränningen. [4]

Exempel på risker vid hantering
Inga speciella arbetsmiljörisker har identifierats för bränslet. Läderspillet från Elmo Leather hanteras i stora containrar, och den manuella hanteringen är mycket liten. Inga problem med mögel, sporer o.dylikt har uppmärksammats.

Hos Borås Energi och Miljö behandlas läderspillet på samma sätt som hushållsavfall, det krossas inom 24 timmar från när det anländer, och förbränns inom 48 timmar. På detta sätt undviks brandrisken som kan uppstå vid lagring av fuktiga bränslen.

Borås Energi och Miljö har inte identifierat några särskilda risker vid hanteringen av läderspillet. Krossning sker på samma sätt som med hushållsavfall, utan några problem. Någon gång har klumpar uppstått vid bränsleinmatningen, men detta undviks om läderspillet blandas väl med övrigt bränsle.

3.24.6 Referenser

1 Leif Svensson, Elmo Leather Sweden AB.

2 Phyllis data bas id nr 2299

3 Elisabeth Blom, Rickard Lundborg, Lars Wrangensten. ”Proveldning i fastbränslepanna för att kartlägga emissioner vid inblandning.” Värmeforskrapport nr 788, 2002

4 Ralf Pettersson, Borås Energi och Miljö AB

3.25 Kartongrejekt

Kartongrejekt är den plast/aluminiumfraktion som erhålls vid återvinning av vätskekartonger. I pappersbruken läggs papper och kartong i stora fat med vatten där de blandas om. Omblandningen gör att fibrerna separeras och pappret ”upplöses”. Fibrerna absorberar vatten och blir en stor vattnig fibersörja som fortsätter in i processen och blir nytt papper. Alla delar som inte består av papper (såsom plast) kommer antingen att flyta eller sjunka till botten och kan plockas, skrapas eller sållas bort. Den bortsilade plasten kallas rejekt (spill) som är ett utmärkt bränsle och används till energiutvinning. Kartongrejekt har hög fukt- och askhalt. Densiteten är låg. Rejekt flyger lätt omkring vid lagring utomhus.

3.25.1 Lagar

Förbränningen av kartong rejekt regleras och påverkas av följande lagar:

Avfallsförordning (SFS 2011:927)

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG
av den 4 december 2000 om förbränning av avfall (Upphör att gälla 2014-2016. Läs mer i kapitel 5. Lagstiftning)

Förordning om förbränning av avfall SFS 2002:1060

NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning

Kartongrejekt klassas som avfall. Ovanstående lagar och föreskrifter ställer bland annat krav på kontinuerlig och periodisk mätning av olika parametrar, 2 sekunders uppehållstid vid 850°C och gränsvärden för utsläpp till luft och vatten.

3.25.2 Analys

Tabell 3.25.1 Analys kartongrejekt/ Analysis of recycled carton

Prov	Exempel [2]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	43,1		49,1	42,0	64,4	8
Aska (% torrt)	13,7		16,1	10,2	27,1	8
Flyktiga ämnen (% torrt, askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	20,19		16,89	12,23	20,19	8
Hkal (leverans)	9,92		7,71	6,43	9,92	8
Heff (torrt askfritt)	17,84		14,73	9,44	17,84	8
Heff (leverans)	7,71		5,48	0,88	7,71	8
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	71,2		69,3	66,0	71,7	8
H (väte)	11,0		10,0	9,6	11,0	8
O (syre)	14,66		19,7	17,7	23,5	8
S (svavel)	0,03		0,11	0,03	0,22	8
N (kväve)	0,01		0,23	0,01	0,45	8
Cl (klor)	0,13		0,18	0,07	0,57	8
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***(mg/kg aska)***			
Al (aluminium)	27 566	201212	215036	127151	273793	8
As (arsenik)	0	2	2,7	1,23	17,7	8
Ba (barium)	57	416	610	559	174	8
Ca (kalcium)	30 357	221584	223089	219186	137188	8
Cd (kadmium)	0	1	0,83	0,39	2,57	8
Co (kobolt)	1	5	6,1	4,6	14,0	8
Cr (krom)	0	0,5	76,1	53,8	2118	8
Cu (koppar)	7	49	162,4	117	4074	8
Fe (järn)	825	6022	7221	4333	92906	8
Hg (kvicksilver)	0	0	0,29	0,16	1,24	8
K (kalium)	341	2489	3654	2488	22416	8
Mg (magnesium)	1 024	7474	7702	6388	19256	8
Mn (mangan)	31	226	271	147	1020	8
Mo (molybden)	1	6	6,2	5,5	112	8
Na (natrium)	550	4015	6969	4015	30446	8
Ni (nickel)	3	19	20,8	16,7	88,1	8
P (fosfor)	46	336	381	147	3942	8
Pb (bly)	8	55	92,0	36,3	565,2	8
Sb (antimon)		7	3,6	0	23,6	8
Si (kisel)	9 193	67102	94344	66546	362064	8
Ti (titan)	1 928	14073	13990	8478	28961	8
Tl (tallium)		0	0,12	0	0,67	8
V (vanadin)	3	23	22,0	7,3	182	8
Zn (zink)	76	555	796,1	519	1168	8

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.25.2 Nyckeltal kartongrejekt Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers recycled carton. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**0,95**	**0,82**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,02	0,03
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**1,70**	**1,87**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	**0,73**	**0,76**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	0,32	0,42
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	0,07	0,08

Tabell 3.25.3 Svavel- och fosforkvoter för kartongrejekt. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for recycled carton. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	80,9	26,1
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	65,4	24,0
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	0,23	0,61
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.0	0.0

* *Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
** *Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.25.3 Driftserfarenheter

TVL Linköping
Panna 3 som är en rostpanna på 96 MW_{th} (utgående ångdata: 475°C. 60 bar) eldas med en blandning av plastrejekt (< 25 energi%) och RT-flis/bark. Ordinarie bränslematningssystem användes. CO-halten är lägre än med ordinarie bränsle. Beläggningar påträffas i ekonomisern, men det är inte klarlagt om detta beror på plasten. Ingen korrosion har observerats beroende på plastinblandning. Hanteringsproblem med plast som blåser omkring. [3]

Nyköping
BFB 97.5 MW_{th} (utgående ångdata: 543°C, 142 bar). Plasten som eldades kom från insidan av mjölkpaket och sameldades med träflis. Problem i bränslematningen när medföljande ståltrådar i plasten lindades runt skruvar/axlar. Dåligt värmevärde/volymenhet och problem med höga materialtemperaturer på ÖH 1 medförde driftsbegränsningar. Igensättningar och förgiftningar av katalysator resulterade i ökade emissioner av CO och NO_x efter en tids drift. Stora beläggningar noterades i eldstad, överhettare och katalysator. Kraftig korrosion av samtliga överhettare med plastrejekt. (Byte av ÖH 2). Korrosion orsakades av medföljande aluminiumfolie ifrån juicepaket som sorterats som mjölkpaket. Även höga kloridhalter i plasten bidrog till ökad korrosion. [4]

3.25.4 Rekommendationer

Sameldning med andra avfallsbränslen och bränslen med hög svavelhalt.
Sortering av bränslet för att ta bort felsorterat material som innehåller aluminium.

3.25.5 Risker och åtgärder vid hantering av kartongrejekt

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Riskerna med att elda kartongrejekt sammanfaller i stor utsträckning med riskerna med PTP, eftersom kartongrejektet definitionsmässigt skulle kunna vara en del av en PTP-blandning. Några skillnader är att PTP är en inhomogen blandning medan kartongrejekt i jämförelse är relativt homogent, samt att PTP på grund av träandelen fungerar att elda som ett enskilt bränsle medan kartongrejektet måste blandas med andra bränslen för att fungera förbränningsmässigt. Mjölkkartonger o.dyl. beläggs med polyeten (PE) vilket

ur förbränningssynpunkt är mycket ”snällare” än exempelvis PVC som återfinns i PTP. Erfarenheterna från anläggningar som eldar kartongrejekt visar dock att plasten innehåller inblandning av andra ämnen som gör förbränningen mer problematisk.

Erfarenheter av risker vid förbränning av kartongrejekt
Erfarenheterna av eldning av kartongrejekt verkar vara tämligen få. För att beskriva riskerna med kartongrejekt hänvisas till de risker som angivits för PTP, och som härstammar från plastandelen i PTP. Några exempel är högt klorinnehåll i bränslet, vilket kan ge korrosion på överhettarna eller att kartongrejektet innehåller aluminium från juiceförpackningar vilket kan ge beläggningar eller korrosion.

I Återbruket i Lomma (Lunds Energikoncernen) har personalen haft problem vid eldning av PTP som innehållit bl.a. pappersförpackningar för dryck, som varit belagda med ett skikt av aluminium. Aluminiumet förångades i pannan och kondenserade på kalla ytor, t.ex. i cyklonen. När aluminiumet byggdes på till en större massa ramlade dessa ned och täppte till sandåterföringen till pannan. Dessa problem fick Lunds Energi att slutade elda PTP och numer eldas endast returträ [5].

Kartongrejekt är även besvärligt att bränna eftersom bränslet seglar i pannan, d.v.s. det brinner där det inte ska brinna, där det finns mindre chans att kontrollera förbränningen. Detta leder till att förbränningen kan ge upphov till mycket sot, mycket oförbrännt och höga halter av CO.

Förbränningstekniska åtgärder
Genom att ställa krav på klorhalten i bränslet kan risken för korrosion på överhettarna reduceras. Ett annat sätt att minska de förbränningstekniska riskerna är genom att sortera bränslet bättre, att sortera bort alla pappersförpackningar som innehåller aluminium och endast elda plastbeläggningar.

Exempel på risker vid hantering
Bränslets struktur, med lätta plastbitar innebär att bränslet kan flyga omkring vid lagring och vid övriga hanteringssteg. Bränslet kan dessutom trassla in sig i förbehandlings- och inmatningsutrustning vilket innebär en risk för problem i bränslehanteringen.

Askan från kartongrejekt kan vara förorenad av tungmetaller.

Exempel på åtgärder vid hantering
Genom att hantera bränslet i ett stängt system minskar riskerna med att material flyger omkring vid de olika hanteringsstegen.

3.25.6 Referenser

1 Analys av kartongrejekt från Tekniska Verken i Linköping, april 2004.

2 Michael Fahlström. Ulf Carlsson, Tekniska Verken i Linköping. Personlig kommunikation 2004.

3 Stefan Karlsson Idbäcksverket i Nyköping. Personlig kommunikation 2004.

4 Roland Olsson, Lund Energikoncernen AB, Personlig kommunikation 2010-01-21

3.26 Kött- och benmjöl (MBM)

Köttproduktion och slakt resulterar förutom livsmedel i olika typer av avfallsprodukter från djuret. Det är inälvor, fett, blod, ben mm som inte finner sin naturliga plats i livsmedelsproduktion. Utöver det ska hela djurkroppar från nödslaktade och självdöda djur omhändertas. I Sverige är det Konvex AB som hanterar och behandlar animaliska biprodukter från slakterier och styckningsanläggningar samt hela djurkroppar. Den konventionella metoden för att omhänderta animaliska biprodukter är att producera fett, samt kött- och benmjöl. I Sverige produceras dock väldigt lite kött- och benmjöl sedan Konvex AB tillsammans med S.E.P. utvecklade en ny och enklare metod för omhändertagande av animaliska biprodukter kallad Biomal-konceptet.

Figur 3.26.1 Kött-och benmjöl. Malt och pelleterat/ Ground and pelleted meat and bone meal.

Sedan man fann ett samband mellan BSE, ”galna ko-sjukan”, och användningen av kött- och benmjöl i djurfoder är detta förbjudet inom EU.

Kött och benmjöl (MBM = Meat and bone meal) har ett relativt högt värmevärde, hög flykthalt och en hög askhalt. Värmevärdet bestäms främst av andelen fukt och fett i materialet. Askan består främst av ben (kalciumfosfat). Kvävehalten och klorhalten är hög men halterna av spårämnen är låga.

Köttmjöl kan fastna och ”baka ihop” i olika hanteringssystem. Silar och skruvar har rapporterats fungera bra medan cellmatare och blåssystem har satt igen. Benmjöl tycks ha mindre tendens att fastna. Höga hastigheter i transport systemet minskar riskerna för att materialet ska fastna. Eventuellt kan hög fetthalt orsaka problem, men detta kan konstrueras bort.

Kontroller av bränslet sker sporadiskt då sammansättningen anses vara känd.

3.26.1 Lagar

Förbränningen av kött- och benmjöl regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Kött-och benmjöl är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Kött-och benmjöl berättigar inte till elcertifikat.

KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) nr 142/2011 av den 25 februari 2011 om genomförande av Europaparlamentets och rådet förordning (EG) nr 1069/2009 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter och där av framställda produkter som inte är avsedda att användas som livsmedel

Denna lag ställer upp speciella regler för förbränning av djurkroppar, som bland annat innebär att hantering av produkterna måste ske på ett sådant sätt att inget kan läcka ut till mark och vatten. Bestämmelser för förbränning liknar förbränning av avfall med uppehållstid vid 850°C i 2 sekunder

3.26.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.26.1 Analys kött- och benmjöl/ Analysis Meat and bone meal (MBM)

Prov	Exempel1		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	7,4		3,3	1,6	7,4	5
Aska (torrt)	29,7		27,4	15,3	38,8	5
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)	88,7		89,6	88,7	90,4	2
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	23,04		25,2	23,0	26,1	5
Hkal (leverans)	15		18,5	14,9	20,8	5
Heff (torrt askfritt)	21,51		23,6	21,5	24,3	5
Heff (leverans)	13,82		17,2	13,8	19,3	5
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	54,8		55,5	53,6	56,9	4
H (väte)	7,1		7,8	7,1	8,3	4
O (syre)	22,3		22,9	21,0	27,8	4
S (svavel)	0,67		0,67	0,47	0,80	3
N (kväve)	14,7		14,5	14,4	14,7	2
Cl (klor)	0,47		0,47	0,47	0,5	2
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	597	2 011	1 549	1 087	2 011	2
As (arsenik)						
Ba (barium)	143	481	481	481	481	1
Ca (kalcium)	102 099	343 767	326 775	281 046	369 000	4
Cd (kadmium)						
Co (kobolt)			12	12	12	1
Cr (krom)	23	77	59	41	77	2
Cu (koppar)	8,6	29	116	29	203	2
Fe (järn)	1 625	5 470	6 186	319	13 072	4
Hg (kvicksilver)						
K (kalium)	4 561	15 358	25 886	11 400	39 216	4
Mg (magnesium)	2 203	7 418	8 329	7 170	13 072	4
Mn (mangan)	30	101	101	25	163	3
Mo (molybden)						
Na (natrium)	3 217	10 831	31 383	10 831	65 359	4
Ni (nickel)	0,89	3	11	3	19	2
P (fosfor)	40 566	136 587	148 729	111 111	223 000	4
Pb (bly)	9,2	31	24	17	31	2
Sb (antimon)						
Si (kisel)	1 708	5 750	5 321	4 891	5 750	2
Ti (titan)	32	108	103	12	108	3
Tl (tallium)						
V (vanadin)						
Zn (zink)	110	370	636	370	902	2

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.26.2 Nyckeltal kött- och benmjöl Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers Meat and bone meal (MBM). Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8	**1,38**	**1,30**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3	0,05	0,10
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4	**2,15**	**0,99**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8	**0,97**	**0,68**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	2,75	3,30
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1	2,81	7,13

Tabell 3.26.3 Svavel- och fosforkvoter för kött och benmjöl. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for Meat and bone meal (MBM). Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	12,2	10,7
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	1,17	1,02
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1,43	1,43
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.31	0.33

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

3.26.3 Driftserfarenheter

I Sverige produceras endast kött- och benmjöl under kortare perioder framförallt under sommaren. Det vanligaste i Europa är att kött- och benmjöl används som bränsle i cementugnar.

Med hänsyn till bränslets ursprung, i många fall kontaminerat kött, måste anläggningar som förbränner kött och benmjöl säkerställa att inget smittsamt sprids i omgivningen. Därav faller anläggningar som eldar kött och benmjöl under Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning [2] som innebär att bränslet måste förbrännas i minst 850 °C i minst två sekunder.

Tabell 3.26.4 Anläggningar som testat kött-och benmjöl/ Power plants which have tested meat- and bone meal.

Anläggning	Eldningsteknik	Storlek	Ordinarie bränsle	Inblandningsgrad
Vattenfall AB, Värme Uppsala	Pulver	400 MW	Kol/torv	5-10%
Öresundskraft Produktion AB, Västhamnsverket	Pulver	217 MW	Kol/träpellets	5 %
Tekniska verken, Linköping	Rost	65 MW	RT-flis/bark	10-25%
Wykes Engineering, Wymington, UK	FB	25/40 MW	Kött och benmjöl	100 %

Uppsala [3]
400 MW pulverpanna eldades med 5 % inblandning av köttmjöl i den ordinarie bränslemixen som är kol och torv. (Kortvarigt upp till 10 %). Extra matningslinje fick installeras fram till ordinarie matning. Man får en effekthöjning vid inblandning av köttmjöl tillsammans med kol. Halterna av CO blev instabila och svåra att kontrollera vid låg last. NO_x-emissionerna var något lägre vid tillsats av köttmjöl. Beläggningar och korrosion kan inte entydigt påvisas från köttmjölstillsatsen. Skumbildning vid pannans vattenlås samt vissa problem med lukten har noterats. Utebliva gröna certfikat för köttmjöl gör bränslet mindre intressant i fortsättningen.

Öresundskraft [4]
217 MW pulverpanna, med kol och träpellets som ordinarie bränsle, har gjort försök med ca 5 % inblandning av köttmjöl, vid full och dellast. Köttmjölet blåstes in från en separat silo. Inga stora problem med matning, beläggningar eller korrosion kunde noteras. Emissionerna av NO_x ökade med 20-30 % men övriga analyserade föreningar var oförändrade. Man rapporterar vissa problem med utmatning av bottenaska. Dels en ökad mängd aska, samt även att man får en aska som flyter.

Tekniska verken, Linköping
65 MW rostpanna med RT-flis och bark som ordinarie bränsle har proveldats med inblandning av 10 och 25 % kött- och benmjöl. En tydlig ökning av gasförbränningen observerades när kött- och benmjöl blandades in. CO-halten blev lägre och tendenserna till påslag minskade. [5]

Wykes Engineering. Wymington. UK
Kött- och benmjöl (MBM) används som enda bränsle i en 25/40 MW FB. Försök har också utförts i mindre skala av FB-förbränning (350 kW och 3 MW), där MBM har använts ensamt eller i kombination med andra avfallsbränslen som rötslam och rester från oljeproduktion. Resultaten visar att FB-förbränning är en genomförbar teknik för att förbränna MBM. Man använder injektioner av bikarbonat för att klara myndigheternas krav på emissioner av HCl och SO_2. Man har problem med påslag och pannan måste stoppas för rengöring ca 1 gång varje månad. [6]

Randers, UK
Randers har eldat 100 % kött och benmjöl till följd av galna kosjukan. Nu börjar de lager som byggts upp av bränslet ta slut och andra biobränslen skall användas. De erfarenheter anläggningen har av eldning av kött och benmjöl är att värmevärdet är högt. Ett förbränningstekniskt problem som uppstått är att det funnits en del stora ben i bränslet som varit svåra att förbränna helt. Detta trots att bränslet har levererats malt och granulerat [6].

3.26.4 Rekommendationer

För att komma till rätta med problemen gällande oförbrända ben fick askorna filtreras och kvarvarande ben eldas en gång till. Ett alternativ är att införa en automatisk siktning av bränslet innan förbränning och på så sätt säkerställa att stora ben ej förekommer i bränslet.

3.26.5 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [7,8], men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker
Kött och benmjöl är ett relativt torrt bränsle som hanteras i mald form. Det finns en risk för damning vid lossning, beredning och interna transporter av bränslet. För att säkerställa att explosiv atmosfär inte förekommer i anläggningen ska en separat utredning göras.

Kött och benmjöl är svårt att lagra på grund av ett stort fettinnehåll. Det har hänt att bränslet bildat en kaka i bränslesilon och fastnat i silon.

Eftersom bränslet till viss del härstammar från sjuka djur skulle det kunna föreligga en hälsorisk med hantering av bränslet. Utredningar har gjorts för det snarlika bränslet biomal som visar att det inte föreligger några direkta risker vid direktkontakt med bränslet, dessutom är bränslet som en del av tillverkningsprocessen steriliserat. Dock kan det fortfarande finnas en risk att alla sjukdomsalstrande bakterier inte lyckats avdödas. Bränslet har dessutom en otrevlig lukt.

Exempel på åtgärder
För att minska damningsproblemen kan slutna hanteringssystemen användas i anläggningen. Då minskar även eventuella hälsorisker eftersom personalens kontakter med bränslet minimeras.

Problemet med att undvika att den otrevliga doften sprider sig till omgivningen har de i England löst genom att ha ett undertryck i anläggningen.

3.26.6 Referenser

1 Christian Fredriksson, Nader Padban och Frank Zintl. Breddning av bränslebasen för pellets och pulverbrännare. Rapport nr TPS-03/19, TPS Termiska Processer AB (2003)

2 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning, NFS 2002:28

3 Ravnsborg Jo. Vattenfall Värme. Uppsala Personlig kommunikation (2004)

4 Bengt Jönsson. Öresundskraft Personlig kommunikation (2004)

5 Blom. E., Lundborg. R., Wrangensten. L. Proveldning i fastbränslepanna för att kartlägga emissioner vid inblandning av olika avfallsfraktioner. Värmeforskrapport 788, 2002

6 Blom. E., Ekvall. A., Gustavsson. L., Robertsson. K., Sundquist. J-O. Erfarenheter av samförbränning och kvalitetssäkring av verksamhetsavfall i Sverige och Europa. Värmeforskrapport 861, 2004.

7 Slutrapport EU projekt Biomass/waste FBC with Inorganics Control (BIFIC) contract no: ENK5-CT-2000-00335 Deliverable D5. EU projekt Biomass/waste FBC with Inorganics Control (BIFIC) contract no: ENK5-CT-2000-00335 “Application and validation of the small-medium scale experimental results at commercial scale FBC plus experimental results of commercial scale for the other fuels”.

8 Höjmark F., Randers Danmark, personlig kommunikation 2010-05-05

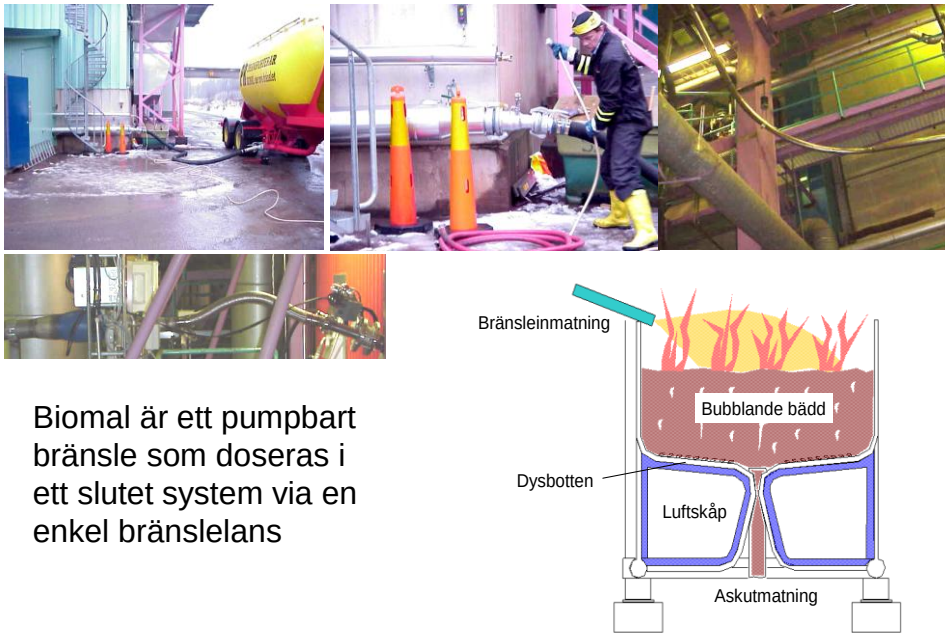
9 Johansson K., Tekniska Verken Linköping, personlig kommunikation 2010-01-19

3.27 Biomal

Biomal är ett nytt förnyelsebart bränsle som produceras från animaliska biprodukter. Konvex AB är det företag som i Sverige ansvarar för hanteringen av dessa animaliska biprodukter. Tillsammans med S.E.P. Scandinavian Energy Project AB har Konvex AB utvecklat Biomal-konceptet där animaliska biprodukter krossas och mals till ett pumpbart bränsle som eldas i fluidiserade bäddpannor. Bränslet benämns Biomal och har sedan 2002 samförbränts kommersiellt i ett flertal värmeverk tillsammans med RT-flis, träflis, torv mm.

Med hjälp av EU-bidrag från LIFE uppförde Konvex en fullstor demonstrationsanläggning i Karlskoga för beredning av Biomalbränsle. Anläggningen stod klar i november 2006. Biomal produceras även vid Konvex anläggning i Krutmöllan och vid de större slakterierna i Sverige. År 2008 producerades totalt ca 89 000 ton Biomal som eldades i fem olika anläggningar. 123

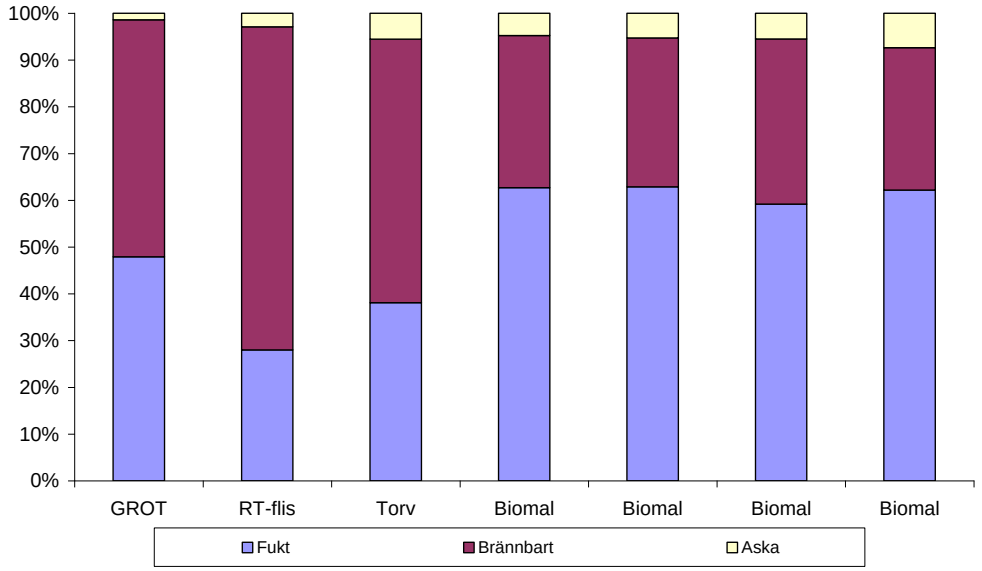
Bränslet levereras med en bulkbil till förbränningsanläggningen och pumpas via en dagsilo och en slutet rörsystem in till eldstaden på den bubblande eller cirkulerande fluidbäddpannan.



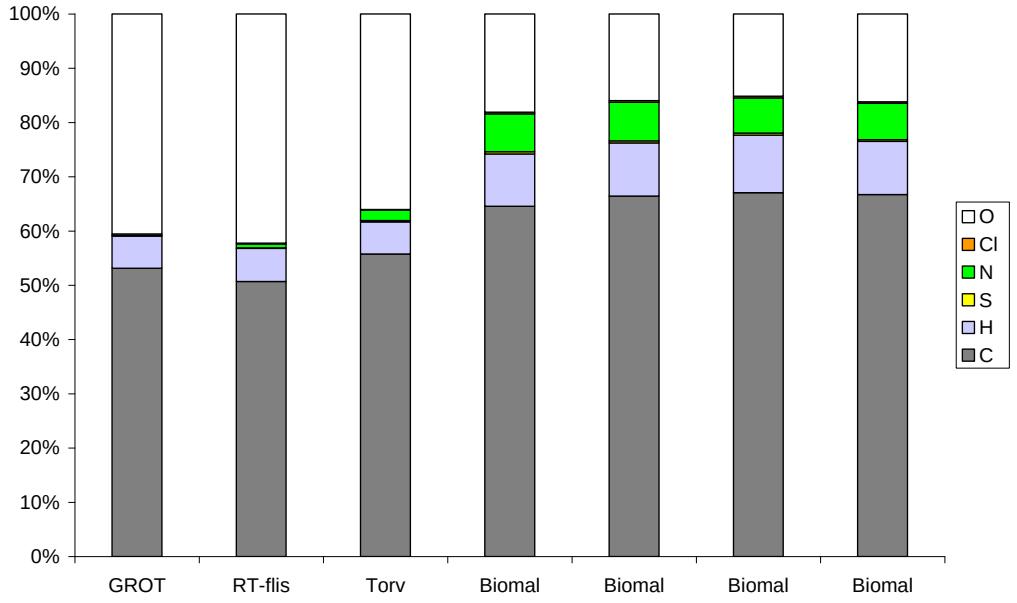
Figur 3.27.1 Inmatning av Biomal till Karlskoga Kraftvärmeverks två 40 MW CFB-pannor./ Fuel feeding at Karlskoga heat and Power plants two 40 MW CFB-boilers.

Biomal är ett pumpbart bränsle som jämfört med GROT innehåller mer fukt och aska och har ett något lägre effektivt värmevärde. Jämfört med GROT innehåller den brännbara substansen mer kol, väte och kväve. Trots det högre kväveinnehållet innebär Biomalförbränning normalt inte någon ökning av NOx-emissionerna. I vissa pannor har NOx-emissionerna sjunkit vid samförbränning med Biomal.123

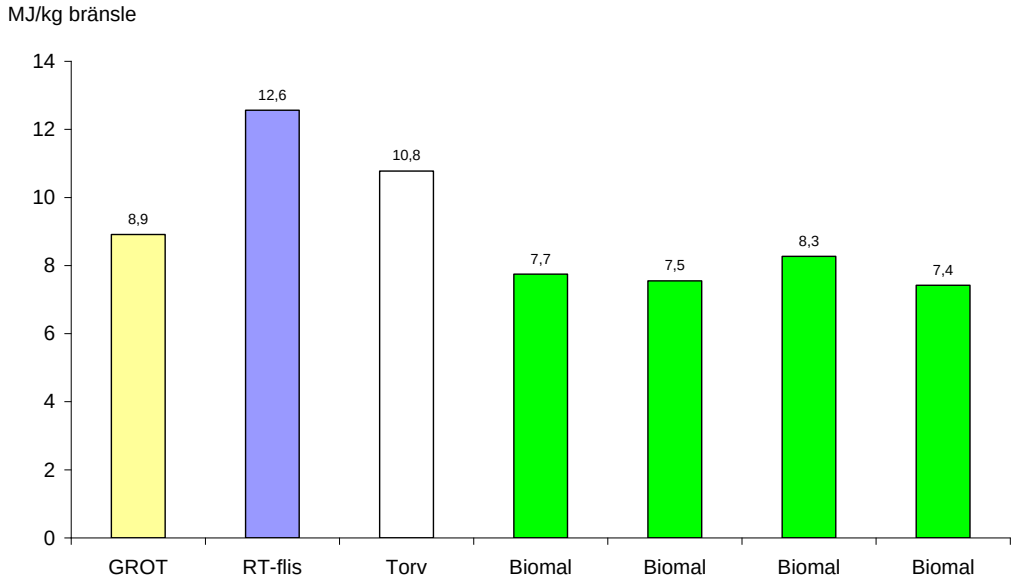
För att undvika gasproduktion vid lagring och transport av Biomalbränslet sker en pH-justering till pH<4.



Figur 3.27.2 Fukthalt, brännbart och aska/ The content of moisture, combustible and ash



Figur 3.27.3 Elementar analys/ Ultimate analysis



Figur 3.27.4 Effektivt värmevärde - jämförelse/ Effective heat values - comparison

3.27.1 Lagar

Biomal är ett förnyelsebart biobränsle men berättigar ännu inte till elcertifikat. All Biomal som produceras omfattas av den s.k. biproduktsförordningen som har som syfte att minimera spridning av eventuell smitta från animaliska produkter. Den reglerar bl.a. hur man hanterar och dokumenterar hanteringen av animaliska biprodukter. Biproduktsförordningen anger också att förbränning skall ske vid en temperatur över 850 ºC med en minsta uppehållstid av 2 sekunder. Biomal som produceras från biprodukter från slakterier eller en blandning av slakteribiprodukter och djurkroppar är klassat som avfall och regleras i praktiken av miljölagstiftningen för avfallsförbränning. (Hela djurkroppar eller Biomal som produceras enbart av hela djurkroppar klassas inte som avfall och skall istället följa de kriterier för förbränningsanläggning som anges i biproduktsförordningen.)

Jordbruksverket ansvarar för tillsyn att hanteringen av Biomal, t.ex. journalföring av mottagen mängd, hantering av spill, hantering av tvättvatten mm sker enligt biproduktsförordningen. Tillsynen av att miljölagstiftningen följs, vid förbränning av Biomal, sköts av ordinarie miljötillsynsmyndighet.

Förbränningen av Biomal regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Biomal är befriat från energiskatt och koldioxidskatt.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Biomal berättigar inte till elcertifikat.

KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) nr 142/2011 den 25 februari 2011 om genomförande av Europaparlamentets och rådet förordning (EG) nr 1069/2009 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter och därav framställda produkter som inte är avsedda att användas som livsmedel

Denna lag ställer upp speciella regler för förbränning av djurkroppar, som bland annat innebär att hantering av produkterna måste ske på ett sådant sätt att inget kan läcka ut till mark och vatten. Bestämmelser för förbränning liknar förbränning av avfall med uppehållstid vid 850°C i 2 sekunder

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/76/EG
av den 4 december 2000 om förbränning av avfall. (Upphör att gälla 2014-2016. Läs mer i kapitel 5. Lagstiftning)

Bestämmelser kring Biomal är under översyn och Biomal förväntas att klassas som biobränsle inom kort.

3.27.2 Analys

Tabell 3.27.1 Analys Biomal/ Analysis Biomal

Prov	Exempel [4]	Median	Spann		Antal
			Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)					
Fukt	62,2	60,9	57,7	62,9	8
Aska (torrt)	19,5	14,0	12,8	19,5	8
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)					
Värmevärde (MJ/kg)					
Hkal (torrt askfritt)	31,5	30,7	28,9	32,4	8
Hkal (leverans)	9,6	10,2	9,6	11,2	8
Heff (torrt askfritt)	29,4	28,6	26,8	30,3	8
Heff (leverans)	7,4	8,0	7,4	9,0	8
Elementaranalys (% torrt askfritt)					
C (kol)	66,7	66,2	61,9	67,1	8
H (väte)	9,8	9,8	8,9	10,6	8
O (syre)	16,2	16,9	15,2	20,7	8
S (svavel)	0,30	0,4	0,3	0,4	8
N (kväve)	6,7	6,8	6,3	7,6	8
Cl (klor)	0,29	0,3	0,2	0,5	8
Askanalys					
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***		
Al (aluminium)	54	277	703	221	3125	8
As (arsenik)	0,4	2	2,4	0,47	23	6
Ba (barium)	30	154	463	154	781	8
Ca (kalcium)	72 000	369 231	329 197	233 803	396 622	8
Cd (kadmium)	0,029	0,15	0,4	0,1	1,6	6
Co (kobolt)	0,33	2	2,3	1,1	5,5	6
Cr (krom)	13	67	33,9	11	193	8
Cu (koppar)	6,2	32	41,9	23	111	7
Fe (järn)	660	3 385	3 433	1 316	4 324	8
Hg (kvicksilver)	0,022	0,11	0,3	0,11	0,4	2
K (kalium)	3 400	17 436	19 529	14 599	35 938	8
Mg (magnesium)	1 600	8 205	7 597	5 634	9 459	8
Mn (mangan)	20	103	437	41	781	8
Mo (molybden)	1,0	5	4,6	3,8	5,1	3
Na (natrium)	4 400	22 564	29 048	21 579	46 094	8
Ni (nickel)	1,2	6	5,8	4,2	43	5
P (fosfor)	37 700	193 333	163 886	128 169	198 649	8
Pb (bly)	170	872	10,6	2,3	872	8
Sb (antimon)	2,3	12	23,5	2,8	39	4
Si (kisel)	2 700	13 846	12 976	4 296	27 027	8
Ti (titan)	5,5	28	717	28,2	781	6
Tl (tallium)			1,2	1,2	1,2	1
V (vanadin)	1,7	9	5,5	2,8	8,7	5
Zn (zink)	71	364	591	305	27 007	8

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.27.2 Nyckeltal däck Biomal. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers Biomal. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**1.05**	**1.13**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.07	0.09
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**0.77**	**1.06**
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0.69**	**0.72**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**48**	**17.7**
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	1.9	2.5

Tabell 3.27.3 Svavel- och fosforkvoter för Biomal. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for Biomal. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	24.0	11.9
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0.95	0.95
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	1.04	1.3
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.40	0.36

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.27.2 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Svavel- och fosforkvoterna i tabell 3.27.3 visar att eldas bränslet i en fluidiserad bädd kan det ske viss egenabsorption av svavlet i bränslet. Molförhållandet Ca/S är högt men tar man hänsyn till fosforinnehållet så ser man att det inte föreligger något större kalciumöverskott. Mycket av kalciumet föreligger sannolikt som kalciumfosfat. Saltkvot 1 visar att det finns ungefär lika mycket svavel och klor som alkali och S/Cl visar att det finns lika mycket svavel som klor. Det innebär att mängden svavel inte helt räcker till att förhindra att en del av bränslets alkaliinnehåll avgår som alkaliklorid. En del av alkalit som finns i bränslet avgår därmed sannolikt som alkaliklorid och en del som alkalisulfat.

3.27.3 Driftserfarenheter

De första försöken med Biomalförbränning genomfördes 2001 vid Eksjö Energiverk. Därefter har Biomal introducerats i den ordinarie bränsleblandningen vid fem anläggningar, Karlskoga, Uddevalla, Perstorp, Ängelholm och Nynäshamn.

Tabell 3.27.4 Anläggningar som testat/eldar Biomal/ Plants which have tested or uses Biomal as fuel.

	Typ	MW_{th}		Bränsle	% Biomal	Biomal-förbränning Startas
Eksjö	BFB	12	Hetvatten	GROT resp. RDF	30-65	Försök 2001
Karlskoga	CFB	2*40	Ånga 28 bar 320˚C	Torv, RT-flis, träflis	20-40	Nov 2002
Uddevalla	CFB	42	Hetvatten	Torv, sågspån, ”RT-flis”,bark	20-30	Nov 2005
Perstorp	CFB	48	Ånga 65 bar 475˚C	Torv, RT-flis, Träbränsle	20-30	Apr 2006
Ängelholm	BFB	2*20	Hetvatten	RT-flis, bioaska	20-30	Jan 2007
Nynäshamn	BFB	24	Ånga 40 bar 350˚C	RT-flis	20-30	Juni 2007 Sommar-månaderna

BFB=Bubblande fluidiseradbäddpanna CFB=Cirkulerande fluidiseradbäddpanna

Eksjö Energi AB

De första försöken med Biomal genomfördes vid Eksjö Energiverk. Under december 2001 genomfördes ett veckolångt försök med Biomal vid den ena av Eksjö Energis fluidbäddpannor (12 MW hetvattenpanna). Panna 2 på Eksjö energiverk, som användes under försöken, är av typen BFB, bubblande fluidiserande bädd. Pannan byggdes om till sin nuvarande modell 1996 av Kvaerner EnviroPower AB.

Försöket pågick under 7 dygn i stort sett kontinuerligt undantaget några kortare stopp. Totalt sett eldades under veckan 324 ton, vilket innebär en genomsnittlig dosering på 1,9 ton/tim. Under de sju dygnen samförbrändes Biomal först med enbart skogsflis i fem dygn och därefter med enbart RDF under två dygn. Inblandningsgraden var 30-35 respektive 40-65% Biomal.

Förbränningstekniskt fungerade Biomalbränslet mycket bra med låga emissioner. Vid samförbränning med träflis minskade NOx-emissionerna kraftigt. Vid samförbränning med RDF noterades dock inte någon NOx-minskning. Efter provet stoppades pannan för inspektion. Man såg då inga tendenser till sintringar eller beläggningar i pannan. 3

Karlskoga Energi och Miljö AB [5]

Karlskoga Energi och Miljö AB har två 40 MW CFB-pannor som levererades av Götaverken Energy 1986. Ångpannorna (320ºC/28 bar) är designade för kol och torv men eldas idag med RT-flis(60 %), torv (15 %) och Biomal (ca 25 %). Karlskoga Energi och Miljö var den första anläggning som började elda Biomal kommersiellt. Sedan hösten 2002 har Biomal eldats tillsammans med torv och RT-flis i först den ena och sedan eldningssäsongen 2004/2005 bägge CFB-pannorna. Liksom i Eksjö fungerar samförbränningen med Biomal förbränningstekniskt mycket bra och Biomalinblandningen ger en märkbar sänkning av NOx-emissionerna. Man har inga tendenser till sintringsproblem och eldstadens väggar ser renare ut än innan introduktionen av Biomal. Normalt omsätter man bädden på ca 5 dygn.

Vad man fick erfara när man började samförbränna Biomal i Karlskoga var kraftiga beläggningar i cyklonutloppet, på överhettartuberna och i bakre drag. (Man hade från början inga sotblåsare på överhettartuberna). Beläggningarna utgjordes i huvudsak av kalciumfosfat samt natrium- och kaliumsulfat. Orsaken till beläggningarna befanns vara att man vid fullast fick övertemperaturer efter cyklonerna p.g.a. sen förbränning av fint stoft från frästorven och därmed en kladdande aska. Problemen minskade betydligt när man justerade driften för att minska övertemperaturerna och installerade sotblåsare på överhettarna. Man har fortfarande beläggningar men sotblåsarna klarar att hålla överhettartuberna rena under en eldningssäsong. Man har inte sett några tendenser till korrosion. Man har även byggt om och glesat ut ekonomiserpaketen på de bägge pannorna för att undvika att de beläggningar som faller av vid sotning skall sätta igen ekon.

Uddevalla Energi AB [6]

Biomal eldades under 3 år 2005-2008 vid Uddevalla Energis CFB-panna (42 MW hetvattenpanna). Erfarenheterna av Biomalbränslet var goda och man hade inga tendenser till bäddsintringar eller påslag på tuberna i konvektionsdelen. Bränsleblandningen utgjordes av ca 20 % Biomal, 30 % torv (briketter) och 50 % spån/bark. I och med att den nya avfallseldade anläggningen togs i drift går Hovhultsverkets CFB-panna som spetslast och därmed eldas betydligt mindre mängder Biomal.

Perstorp AB [7]

Vid biobränslepannan P6 i Perstorp, en 48 MWth CFB-panna (ångtryck 65 bar och temperatur 475 ˚C), samförbränns ca 20-25 % Biomal med torv, RT-flis och trädbränsle sedan 2006.

Man hade från början en rädsla för bäddagglomerering baserat på försök hos ETC. Man blev då rekommenderad att dosera kalk men slutade med det då man noterade början till högtemperaturkorrosion på överhettartuberna. Efter att man slutat med kalkdoseringen till bädden så har man inte haft problem med högtemperaturkorrosion. Man har heller inte haft några problem med bäddagglomerering. Man får beläggningar på tuber som består av kalciumfosfat dessa bedöms skydda mot korrosion. Pannan stoppas 2 ggr per år för rengöring.

Man har haft följande problem:

- Biomalpumpen har behövt underhållas
- Påslag på tertiär överhettaren (första överhettaren) Påslagen har sotats bort och ramlat ner och satt igen ekonomiserpaket med stråkbildning som följd. Stråkbildningen har lett till erosionsskador på rökgaskanalen efter ekon.
- Blockering av spärrfilter troligtvis pga. bildning av ammoniumklorid.

Ängelholm Energi AB [8]

Vid KVV Åkerslund, Ängelholms Energi, eldas sedan januari 2007 Biomal i de två hetvattenpannorna. Pannorna är bubblande fluidbäddar med en ursprunglig effekt av 16 MWth vardera. Kvaerner Power har moderniserat pannorna, vilket bl.a. innefattar ombyggnad till ACZ teknik och med effektökning till 20 MWth. Pannorna är utrustade med spärrfilter där det finns möjlighet att dosera aktivt kol och bikarbonat alternativt släckt kalk före filter.

I pannorna eldas ca 30 % Biomal tillsammans med RT-flis och bottenaska från en närliggande biobränsleeldad panna. Erfarenheterna hittills är goda. Det gick bra att introducera Biomalen i bränsleblandningen. Man har ökat bäddomsättningen för att motverka eventuella bäddagglomereringstendenser. Jämfört med tidigare har man även ökat ångsotningfrekvensen (sotar var tredje timme) för att hålla tuberna rena i bakre drag.

Man har haft viss lukt i pumprummet och utanför anläggningen på grund av läckande ventilationssystem (har korroderat och skall bytas ut).

Fortum Värme Nynäshamn AB [9]

Pannan är en 24 MW bubblande fluidiserad bädd (40 bar och 350 ˚C levererad av Kvaerner Power ACZ). Normalt eldas RT-flis i pannan som är konstruerad för att elda avfall och uppfyller EU:s Avfallsförbränningsdirektiv 2000/76/EG. Anläggningen levererar processånga till närliggande raffinaderi och har därmed även last under sommarmånaderna.

Sedan 2007 samförbränner man Biomal med RT-flis under sommarsäsongen. Man har noterat ett ökat sotningsbehov men inga indikationer på korrosion.

3.27.4 Rekommendationer

- Biomal är ett fuktigt bränsle och sameldas därmed gärna med torrare bränsle.
- Det är viktigt att fördela Biomalen över pannans tvärsnitt så att man inte kyler bädden lokalt.
- Det är viktigt att kontrollera att pH bibehålls under 4 för att undvika gasbildning.
- Undvik alltför höga temperaturer på rökgas och aska innan överhettare/konvektionsstråk.
- Se till att sota överhettare och konvektionsstråk tillräckligt ofta.
- Undvik täta tubbankar där avlagringar som sotas bort kan fastna.

3.27.5 Referenser

1 Herstad Svärd S., ”Erfarenheter av några nya och alternativa bränslen”, Föredrag vid Sveriges Energiting Mars 2008.

2 www.BIOMAL.com

3 Herstad Svärd S., Backman S., Kullendorff A., Tilly H-Å., Virta L. and Sterngård E.,”Co-combustion of Animal Waste i Fluidised Bed Boilers – Operating Experiences and Emission Data” , Proceedings from The 17th International (ASME) conference on Fluidized Bed Combustion Jacksonville, Florida, May 18-21, 2003

4 SEP Bränsledatabas; SEPAnimal16

5 Personlig referens: Bengt Rönnqvist Karlskoga Kraftvärmeverk. 2009

6 Personlig referens: Göran Rönnborg Hovhultsverket 2009

7 Personlig referens: Henrik Hagman Perstorp 2009

8 Personlig referens: Inge Gottfridsson Åkerslundsverket 2009

9 Personlig referens: Anders Gustavsson Nynäshamn Kraftvärmeverk 2009

3.28 Torv

Torv är ett material som förekommer i naturen och som består av döda växter som förmultnat under fuktiga förhållanden, dvs. vid låg eller ingen syretillförsel. Förutom den organiska substansen innehåller torv även mineralpartiklar och kemiska utfällningar. Sverige hör tillsammans med Irland, och vid sidan om Finland och Ryssland, till de torvrikaste länderna i världen. Totalt har Sverige 10 miljoner hektar torvbildande mark vilket är 25 % av landets yta 1. De cirka 150 aktiva torvtäkterna upptar bara drygt en promille av denna yta. Den årliga skörden är under vädermässigt normala år drygt 3,5 miljoner kubikmeter energitorv och drygt 1 miljon kubikmeter odlingstorv eller cirka en femtedel av den årliga tillväxten på 20 miljoner kubikmeter. Vanligast är torven i Norrlands inland, som har 70 % av Sveriges tillgångar.

Figur 3.28.1 Till vänster: stycketorv, till höger: frästorv 4./ To the left: sod peat, to the right: milled peat.

Enligt regeringens bedömning kan energitorv under vissa villkor användas som bränsle med ett samlat bidrag till växthuseffekten som kan vara väsentligt mindre än vad som motsvarar torvbränslets innehåll av kol 7. Regeringen anser att den svenska energipolitiken rymmer ett inslag av torv, om än i begränsad omfattning.

Torvens konkurrenssituation i det svenska energisystemet har påverkats negativt de senaste åren, framför allt till följd av införandet av EU:s system för handel med utsläppsrätter. I detta system betraktas torven som likvärdig med fossila bränslen. Betraktat ur ett livscykelperspektiv kan torven emellertid ha mer fördelaktiga klimategenskaper än vad som framstår vid en bedömning utifrån själva bränslets emissionsfaktor vid förbränning.

Torvens klimatpåverkan kan minskas genom att 16:

- Välja att bryta torv från torvmark som idag släpper ut mest CO_2.
- Utnyttja produktionsmetoder som producerar torrare torv t.ex. ”Quick Peat” och minimera kvarvarande torvlager.
- Snabbt efterbehandla torvytorna efter avslutad skörd genom att beskoga, återställa våtytor eller odla energigrödor.

Torven berättigar till gröna elcertifikat men bedöms av EU och IPPC vara av en bränsleklass för sig som ingår i EU:s utsläppshandelsystem för CO_2.

Energitorv och **odlingstorv** är begrepp kopplade till torvens användningsområde. Odlingstorv används till jordförbättring och energitorv används som bränsle. Ingen skarp gräns kan dras mellan dessa. Energitorv med hög fukthalt kan säljas som odlingstorv liksom odlingstorv ibland kan användas till energiproduktion. Beroende på skördemetod benämns energitorv som stycketorv, frästorv eller smultorv.

Stycketorv produceras genom att torven tas upp från ett djup av ca 50 cm, ältas och pressas ut genom flera munstycken till cylinderformade stycken. Storleken på styckena är runt 4-8 cm i diameter och 10-20 cm på längden Stycketorven läggs ut på produktionsytan för att torka ca 2-3 veckor. För att underlätta torkningen vänder man styckena två till tre gånger. Efter torkningen på fältet har fukthalten minskat till ca 35 %. Därefter samlas styckena till en sträng i mitten av varje teg varifrån den transporteras in till stackarna. Vid stycketorvproduktion erhålls två till fyra skördar per år beroende av väderlek. Stycketorv används endast som energitorv. 3

Frästorv produceras genom att ett tunt skikt om 1-2 cm av torvytan fräses upp med en roterande fräs eller en harv. Torven vänds därefter ett par gånger för att påskynda torkningen. Upp till 12 produktionscykler på samma torvmark är möjliga att uppnå på en sommar. Frästorvmetoden tillämpas främst för energitorvproduktion, men även produktion av odlingstorv förekommer. Frästorv har högre fukthalt och därmed lägre energiinnehåll per viktsenhet bränsle samt en lägre densitet än stycketorv. 3

Smultorv är en lokal variant av stycketorv som förekommer i Härjedalen där den upptagna torven får övervintra på täktytan. Därmed kan den tidiga vårtorkan utnyttjas och produkten kan betecknas som sönderfryst stycketorv. 3

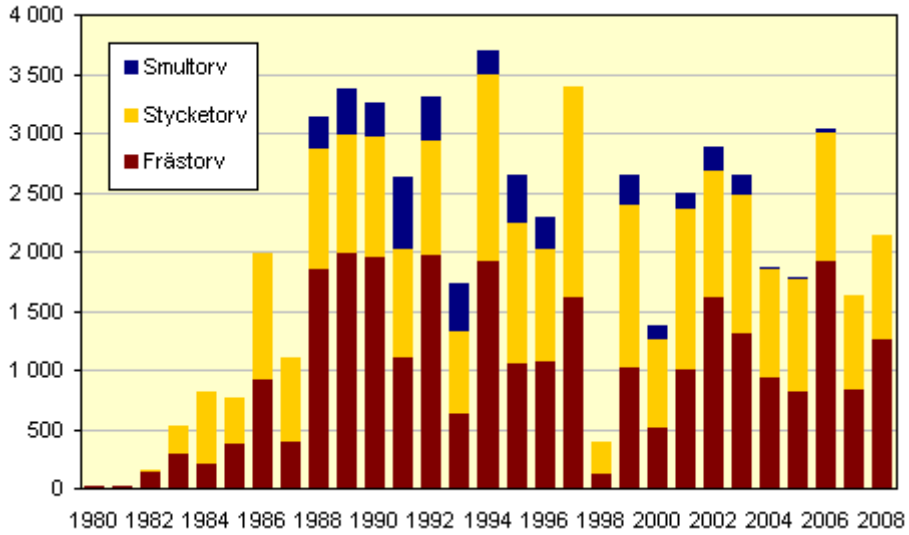
”Quick Peat” produceras på prov genom en ny metod från Finland. Torven pumpas upp ur myren till en asfaltsyta där den torkas till briketter med en fukthalt på 25-30% 2. Fördelen är att torkningen sker på några dygn jämfört med 3-4 veckor som det tar att torka torven på myren.

Torv kan även förädlas till pellets och briketter. Dessa lämpar sig väl för längre transporter, lagring och för eldning i mindre anläggningar. Briketter och pellets minskar damningen vilket leder till att hanteringen förenklas.

Den torkningsmetod som används för att minska stycke- eller frästorvens ca 35-50% fukthalt till briketternas och pelletens ca 10-15% fukthalt sker normalt genom malning i kvarn och sedan i flera steg av torkningskolonner. 3 Torkning direkt med rökgaser kan inte ske då risken med förbränning blir för stor. Torven pressas sedan under högt tryck till briketter eller pellets.

Skörd av energitorv 1980-2008

1 000-tal kubikmeter



Källa: SCB

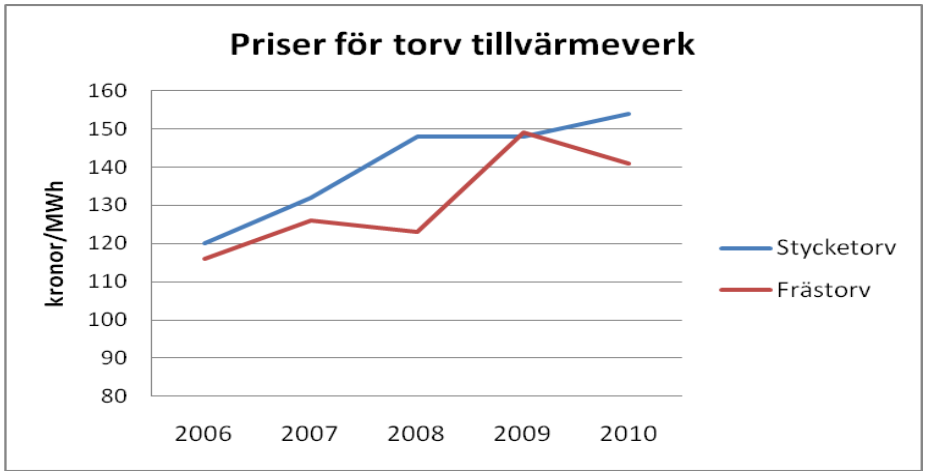
Sveriges officiella statistik

Figur 3.28.2 Energitorvproduktion i Sverige 1980-2008.7/ Fuel peat production in Sweden 1980-2008.

Svensk energitorv exporteras inte utan används i Sverige där den utgör bränsle helt eller delvis för ett 30-tal värmeverk. Några större industrier använder dessutom torvbränsle för processvärme. Den största producenten av torv är Neova som står för ca 30-50% av Sveriges produktion.

Pris

Under 2008 skördades 2,1 miljoner kubikmeter energitorv i Sverige vilket ungefär motsvarar genomsnittsskörden under 2000-talet. Importen står för ca 20-30% och torv importeras i huvudsak från Estland, Lettland och Finland.7 Priset för frästorv var 2008 123 kronor per MWh och för stycketorv 148 kronor per MWh fritt värmeverk och exklusive skatt. I figur 3.26.3 syns variationerna i pris mellan frästorv och stycketorv under senare tid. 8



Figur 3.28.3 Priser för torv, kronor/MWh exklusive skatt/ Peat costs SEK/MWh [8]

Energiinnehåll
Energiinnehållet i frästorv och smultorv är 0,8 MWh per kubikmeter eller ca 11 MJ/kg. Energiinnehållet i stycketorv är något högre, ca 1,1 MWh per kubikmeter. Densiteten för torv ligger runt 300 kg/m^3. Frästorv har lägre densitet än stycketorv.

Askegenskaper
Askhalten i torv kan variera från ca 3 till 10 %. Av ett landsomfattande antal prover från olika mossar framgår att torvens innehåll av aska är 4,3 % av torrsubstansen som ett typiskt värde. 1

Mineraler och tungmetaller
Mineralämnena i föreligger oftast i en mer svårlöslig form i torv än i trädaska och lakas därför inte lika lätt ut. Torvaska har liksom trädbränsleaska en kalkningseffekt och återföring kan bidra till att förbättra balansen i främst skogsmarken.

Tungmetallinnehållet i torv är i många svenska torvtäkter på samma låga nivå som i trädbränslen. Ibland kan dock torv- och trädaskans tungmetallinnehåll begränsa dess användbarhet. Kadmiuminnehållet anges ofta vara den kritiska faktorn för både torv- och trädaskor. Kadmiumkoncentrationen varierar både i träd- och torvaskor, men ofta är variationen större inom samma bränsleslag än mellan olika bränslen. Det finns många torvaskor som har lägre koncentrationer än trädaskor.

Emissioner
Torv innehåller relativt mycket svavel jämfört med trädbränsle. Enligt en undersökning av 122 svenska torvmarker fördelade sig svavelinnehållet enligt följande volymer6:

- 35 % understeg 0,2 % av ts
- 55 % låg i intervallet 0,2-0,4 % av ts

- 10 % hade halter överstigande 0,4 % av ts

Som medianvärde anges svavelinnehållet i torv till 0,24 % på torrsubstans, vilket motsvarar ca 120 mg svavel per MJ. Som jämförelse innehåller skogsbränsle ca 10-15 mg svavel per MJ. Allt svavel emitteras dock inte utan en del absorberas av alkali och kalcium i bränsleaskan.

Torv har även ett relativt högt kväveinnehåll (normalt ca 2 vikts-% räknat på torrsubstans).

De högre halterna av kväve och svavel jämfört med trädbränslen kan orsaka högre utsläpp av SO_2 och NOx men med modern förbrännings- och reningsteknik kan emissionerna hållas låga även från förbränning av torv.

Torven innehåller radioaktiva ämnen, radioaktiva ämnena cesium-137 (från Tjernobylnedfallet och kärnvapenprovsprängningar) och naturligt förekommande uran, torium och dotternuklider. Dessa anrikas precis som övriga askkomponenter i samband förbränning [17].

3.28.1 Lagar och förordningar

Förbränningen av torv regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Torv är befriat från energiskatt och koldioxidskatt. För torv tas en svavelskatt ut om 30 kr/kg svavel.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Torv berättigar till elcertifikat.

Lag om utsläppsrätter:
Torv anses som ett fossilt bränsle enligt EU:s direktiv om utsläppsrätter. Detta innebär att en anläggning som eldar torv måste ansöka om tillstånd för utsläpp av koldioxid samt årligen måste redovisa ett innehav utsläppsrätter som motsvarar den utsläppta mängden.

3.28.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.28.1 Analys torv/ Analysis of peat

Prov	Exempel 13		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt	38,1		48,2	8,6	58,4	17
Aska (torrt)	8,9		5,3	1,6	8,9	20
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)			72,2	58,1	88,4	13
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	22,0		22,5	19,1	26,5	18
Hkal (leverans)	12,4		11,3	8,9	22,1	18
Heff (torrt askfritt)	20,8		21,3	18,0	25,1	18
Heff (leverans)	10,8		9,7	7,1	20,7	17
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	55,8		56,8	52,6	57,9	17
H (väte)	5,9		5,8	5,2	6,3	17
O (syre)	36,0		35,6	33,3	40,6	17
S (svavel)	0,24		0,29	0,10	0,54	17
N (kväve)	2,0		2,2	0,92	2,7	17
Cl (klor)	0,05		0,05	0,02	0,09	15
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	1 200	13 483	41 015	2 646	106 667	18
As (arsenik)	6,5	73	21	16	73	3
Ba (barium)	52	584	1 105	584	5 263	4
Ca (kalcium)	17 000	191 011	126 501	61 333	347 601	18
Cd (kadmium)	0,31	3	3,5	2	5	3
Co (kobolt)	5	58	23	5	58	4
Cr (krom)	60	674	71	17	674	4
Cu (koppar)	88	989	416	74	989	4
Fe (järn)	5 200	58 427	86 170	26 069	193 333	18
Hg (kvicksilver)	0,06	1	1,2	1	2	2
K (kalium)	850	9 551	6 874	2 829	15 948	18
Mg (magnesium)	1 300	14 607	13 100	4 530	63 158	17
Mn (mangan)	133	1 494	1 600	1 200	5 263	6
Mo (molybden)						
Na (natrium)	500	5 618	2 462	1 300	10 526	18
Ni (nickel)	44	494	107	26	494	4
P (fosfor)	550	6 180	9 557	3 500	13 702	16
Pb (bly)	35	393	111	37	393	4
Sb (antimon)	2,1	24	24	24	24	1
Si (kisel)	12 000	134 831	182 580	11 101	244 998	18
Ti (titan)	204	2 292	1 618	163	5 263	17
Tl (tallium)						
V (vanadin)	2,5	28	30	22	134	4
Zn (zink)	190	2 135	245	36	2 135	4

För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.28.2 Nyckeltal torv. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers peat. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region.

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**1.33**	**0.79**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	0.03	0.02
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	**3.76**	12.6
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	**0.50**	**0.38**
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	**9.6**	4.3
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	0.07	0.03

Tabell 3.28.3 Svavel- och fosforkvoter för torv. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorus numbers for peat. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	5.7	1.9
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	4.2	1.5
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	4.8	5.4
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.023	0.05

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.*

För tolkningen av data i tabell 3.28.2 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Jämförs exempelbränslets svavel- och fosforkvoter i tabell 3.28.3 ser man att eldas torven i en fluidiserad bädd sker sannolikt egenabsorption av en stor del av svavlet i bränslet. Det innebär att trots att torven innehåller betydligt mer svavel än klor så kan man inte vara säker på att svavelmängden räcker för att alkali skall avgå som alkalisulfater och inte som alkaliklorider. En del av alkalit kan förekomma som alkaliklorid.

Jämför man däremot medianvärdena blir bilden en annan, här blir kalciumöverskottet betydligt lägre och därmed egenavsvavlingen i en fluidiserad bädd betydligt lägre. I detta fall kommer sannolikt svavelinnehållet att vara tillräckligt högt för att undertrycka bildningen av korrosiv alkaliklorid. Detta visar att om man samförbränner med torv för att minska risken för korrosiva beläggningar så kan effekten variera mellan olika torvsorter. Kontrollera att inte kalciumhalten är för hög.

3.28.3 Driftserfarenheter

Det har visat sig att torv kan minska bäddagglomerering i fluidbäddpannor vid samförbränning med biobränslen. Hur stor inblandning som behövs beror på vilken torvsort som används. Olika torvsorter visar stor skillnad på innehållet av askbildande ämnen. Sammansättningen på askan varierar bl.a. beroende på bergrunden och består huvudsakligen av kisel, kalcium, aluminium och järn. Höga andelar aluminium och kisel är positivt ur asksmältsynpunkt.

Öhman et al. 9 10 har testat samförbränning av olika biobränslen som GROT, Salix och halm med olika sorters torv vid olika inblandningsgrader i labskala. Försök har genomförts i en 5 kW fluidbädd reaktor och i en 12 kW pelletsbrännare.

Resultaten har visat att en inblandning på mellan 5-20 vikt-% kan minska risken för bäddagglommerering vid samförbränning med ordinarie biobränslen medan en högre inblandningsgrad behövs vid samförbränning med halm. De konstaterar också att eftersom torvens oorganiska innehåll varierar inom och mellan olika torvtäkter så är det svårt att sätta en lägsta gräns för hur mycket torv som krävs för att förhindra bäddagglomerering.

- För salix och GROT förklaras den ökade bäddagglomereringstemperaturen med att det inre beläggningsskiktet runt sandkornen förändras då torv blandas in. Kaliumhalten minskade och kalciumhalten ökade. Reaktivt kalcium tillförs via torven samtidigt som alkali binds in i kvarvarande torvaska (innehållande kisel, kalcium, aluminium mm.)
- För halm återfinns halmaskan som klibbiga enskilda partiklar. Vid inblandning av torv ökade innehållet av järn, svavel och kalcium hos dessa partiklar.
- Även svavlet i torven kan reagera med alkalimetallerna och förhindra klibbiga beläggningar/aska.

Från försöken med pelletsbrännaren kunde konstateras att inblandning av torv till kiselfattiga GROT- och salixbränslen ökade slaggningstendenserna. Vid inblandning av torv till halm minskade däremot slaggningstendenserna.10

Labresultaten har även bekräftats vid försök på Chalmers 12 MW CFB-panna. Vid inblandning av torv till en bränsleblandning bestående av 80 % träpellets och 20 % halmpellets ökade bäddagglomereringstemperaturen på uttagna bäddprover med 50-100 ˚C.11
Problem med bäddagglomerering och sintringar i fluidbäddpannor minskar vid samförbränning med torv15.

Korrosionsproblem i överhettare minskar vid sameldning av torv och trädbränsle jämfört med förbränning av enbart trädbränslen. I många anläggningar med höga ångdata används torvinblandning som ett aktivt sätt att minska risken för korrosion. Detta är speciellt vanligt i Finland, men förekommer även i ganska stor utsträckning i Sverige.14 Den positiva effekten beror dock på torvens sammansättning. Alltför höga kalciumhalter i torvaskan skall undvikas speciellt i fluidbäddpannor som har bra betingelser för svavelabsorption i bädden. Det finns fluidbäddpannor där man erfarit högtemperaturkorrosion vid förbränning av 100 % torv där torven kommer från kalkstensberggrund. Trots normal svavelhalt hittades alkaliklorider på överhettartuberna. Svavlet i bränslet absorberades av torvaskan i stort sett fullständigt på grund av pannornas goda svavelreducerande egenskaper och tillgång på kalcium i överskott.12
Inblandning av torv kan även minska risken för bildandet av korrosiva beläggningar på eftereldytor. Mängden kaliumklorid i beläggningarna minskar genom att det bildas alkalisulfater istället vid samförbränning med svavelrika torvar 10, 11. Här måste dock understrykas att det finns erfarenheter från förbränning av torv där man erhållit alkaliklorid i beläggningar och högtemperaturkorrosion trots att torven innehöll svavel. I detta fall innehöll torven även stora mängder kalcium då den härrörde från en kalkrik berggrund och man fick en egenabsorption av svavlet av torvaskan. 12

Alkali kan även överföras till mindre reaktionsbenägna former genom sorption och/eller reaktion med torvaskan.

Frästorv har låg densitet och kan lätt följa med förbränningsluften upp i pannan. Detta kan medföra höga temperaturer i pannans övre delar med risk för påslag i bakre draget.

Om torv lagras utomhus kan det bli problem med damning. Dammet kan i vissa fall också ge risk för explosioner.

Vid trädbränsleförbränning har det varit problem med katalysatorer för att minska utsläppen av kväveoxider (SCR). Drifterfarenheter har visat att en bättre funktion och ökad livslängd på katalysatorn erhålls genom inblandning av torv, bland annat på grund av minskad kaliumkloridhalt och en viss ökning av halten svaveldioxid i rökgaserna.
Uppsala Energi AB har en pulvereldad anläggning som eldar torvbriketter. Bränslet mals i en kvarn och rökgas tas ut ur rökgasstråket och används som tork- och bärmedium för torven. Pulvret med en fukthalt på 10 % blåses in i eldstaden genom ett

antal brännare placerade i eldstadsväggen. Ungefär en tiondel av askan faller ut som bottenaska, resten följer med rökgaserna. Reningen av rökgaserna kräver därför utrustning som klarar en hög stoftbelastning 4.

3.28.4 Rekommendationer

Torv används med fördel ihop med biobränslen för att minska risken för påslag, sintringar och korrosion. För fluidbäddpannor är det viktigt att undvika alltför kalkhaltiga torvsorter.

Torv innehåller relativt mycket svavel, vilket gör att man kan behöva någon typ av svavelrening vid höga inblandningsgrader.

3.28.5 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer [18], men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen [19,20]. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker vid lagring och hantering

- På vintern kan torven frysa ihop i torvkakor vid lagring utomhus, vilket försvårar transporter och annan hantering på anläggningen
- Torv har en hög andel flyktiga beståndsdelar (ca 70 viktsprocent) vilket medför att torven är lättantändlig
- Vid lagring av torv kan mikrobiologiska processer i torven medföra en temperaturstegring. Temperaturstegringen kan i sin tur leda till att materialet självantänder
- Lagring av torv utomhus kan medföra att torven blir fuktig. Den blir då som fuktig blomjord och därmed svårhanterlig
- Torv dammar vid hantering, speciellt om den lagrats utomhus
- Det finns risk för dammexplosion knutet till spridning av torrt torvdamm (tryckstegringshastigheten och det maximala trycket vid en explosion ökar med minskande fukthalt). Mekaniskt inducerade gnistor, t.ex. genom slag mellan stenar eller metalliska föremål, kan antända dammet vid fukthalter under 30 %)
- Torvpulver en partikelstorlek mindre än 0,5 mm och med en fukthalt under 35 % kan vid rätt blandningsförhållande med luft explodera om det finns en tillräckligt kraftfull tändkälla
- Torven kan vid leverans innehålla diverse oönskade material som stenar, träbitar och stubbar som kan medföra problem vid den interna hanteringen. De kan t.ex. försvåra de interna transporterna genom att fastna i, eller slita på, anläggningens transportsystem

- För stora fraktioner kan förekomma vid dålig sållningsutrustning. Det kan också förekomma problem med att stenar och rötter följer med bränslet in i anläggningen.

Exempel på åtgärder vid lagring och hantering

- Att använda torv i briketter eller som pellets underlättar hantering både utanför och i anläggningen. Damningsproblemen minskar drastiskt vid alla hanteringssteg från lossning och lagring till interna transporter.
- Lagring inomhus för att minska risken för ihopfrysning, alternativt under tak som väderskydd mot regn och delvis mot kyla
- Bättre sållning och beredning av levererat bränsle kan reducera risken för att föroreningar kommer in i anläggningen
- Försiktig och väl planerad hantering med tanke på torvens lättantändlighet

3.28.6 Referenser

1 www.torvproducenterna.se

2 Förnybart - Nyhetsbrev från torvproducenterna April 2009

3 www.torvforsk.se

4 www.vapo.fi

5 Svenska Torvproducentföreningen. ”*Torvåret 2002”*. juni 2003

6 *”Torvens roll i ett uthålligt energisystem”*. SOU 2002:100. http://www.regeringen.se/sb/d/108/a/2051

7 Sveriges officiella statistik.*”Torv 2008. Produktion och användning.”*. SCB och Statens Energimyndighet. Juni 2009

8 Energimyndigheten. ”Prisblad för biobränslen. Torv m.m. Nr 1/2011”

9 Lundholm K. Nordin A. Öhman M. Näslund B-O;”*Experimental studies on the role of peat in preventing bed agglomeration during fluidized bed combustion of biomass fuels”.* 12th European Conference on Biomass for Energy. Industry and Climate Protection. 17-20 juni 2002. Amsterdam. Nederländerna

10 Öhman et.al. ”Minskade askrelaterade driftsproblem genom inblandning av torv i biobränslen” Värmeforskrapport 999, December 2006.

11 Gyllenhammar M., Herstad Svärd S., Davidsson K., Åmand L-E., et.al *”Ramprogram för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem, etapp2”,* Värmeforskrapport 1037, November 2007

12 Personlig referens Anders Kullendorff S.E.P. Scandinavian Energy Project AB

13 S.E.P.s databas prov ”Torv 1”. Basbränsle i Karlskoga Värmeverk.

14 Thorson O; ”*Moderna panndata inom samförbränning”*. Värmeforskrapport nr 868. Juni 2004

15 Burvall J. Öhman M. *”Samförbränning av torv och biobränslen-askrelaterade systemfördelar”,* ER 2006 33.

16 Hagberg L., Holmgren K., *"The climate impact of future energy peat production"*, IVL B1796, september 2008.

17 Brewitz Erica, Strålsäkerhetsmyndigheten, Nationell plan för allt radioaktivt avfall, 2009, Hämtad på Internet: http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Myndighetshandling/Regeringsuppdrag/Nationell_plan_for_allt_radioaktivt_avfall_2009.pdf (sökord: torv, radioaktivitet)

18 Martin Résmark, E.ON Värme, Personlig kommunikation 2009

19 Haglund A., et.al., Värmeforskrapport 1004, projekt T06-608, Riskbedömning och zonklassificering av fastbränsleanläggningar, 2007

20 Brandskyddsföreningen, SBFs rekommendationer 17:2 1987, "Brandrisker och skydd vid kraft- och värmeanläggningar för fasta bränslen"

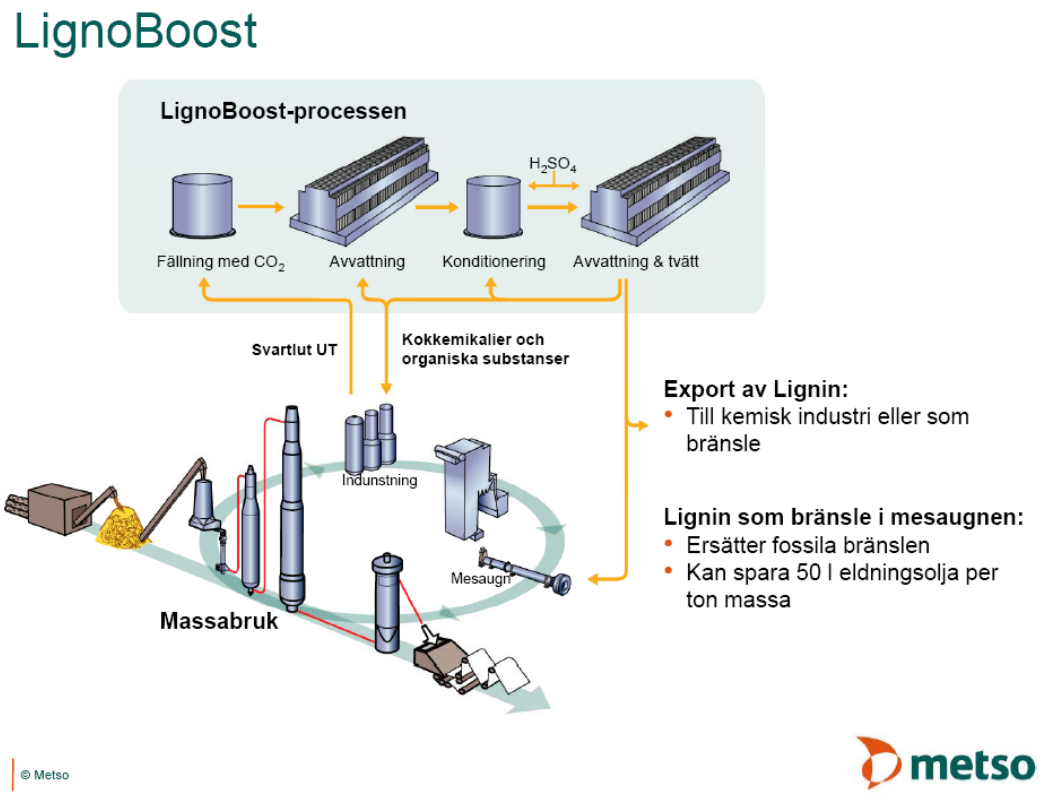
Läs mer om torv

- *"Förnybart"*. Nyhetsbrev från Svensk Torv
- Burvall Jan. Öhman Marcus; *"Undersökning av bäddagglomerering och beläggningstillväxt vid sameldning av torv och trädbränsle"*. www.torvforsk.se
- SGU. Sveriges Geologiska Undersökning: *"Torv: Kemisk sammansättning"* www.sgu.se/geologi/jord/torv.torvkem_s.html
- Bioenergi nr 5 2003. "Inblandning av torv för bättre förbränning"
- Tammela Pirkka-Tapio. Fredriksson Dag. Larsson Lars-Erik. *"Torvaska i kretslopp"*
- Blomqvist. G mfl; *"Egenskaper och testmetoder för energitorv. etapp 2"*. Statens energiverk. STEV/TORV 86/19. 1986
- Blomqvist, mfl. G. Fredriksson D. Thun R; "Egenskaper och testningsmetoder för energitorv". Statens energiverk. STEV/TORV 84/1. 1983
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom gemenskapen och om ändring av rådets direktiv *96/61/EG* http://europa.eu.int/eur-lex/pri/sv/oj/dat/2003/l_275/l_27520031025sv00320046.pdf
- http://www.peatsociety.fi/
- Burvall J. Nordin A. Levén P. Wigge B; *"Undersökning av kemisk sammansättning och kornstorleksfördelning i torvaskor från kommersiell förbränning"* Värmeforsk Service Rapport nr 439, 1992
- STEM projekt P21369-1. Pommer L., Boström D., Nordin A., Burvall J. Elucidation of the responsible mechanisms for peat´s positive effects on ash-related problems during co-combustion with biomass. 2004.

3.29 Lignin

Lignin som separeras från skogsindustrins sulfatprocesser är ett ”nytt ” biobränsle som kan komma att bli tillgängligt på marknaden de närmaste åren. Sulfatlignin har producerats tidigare men genom en ny process, där ligninet separeras från svartluten genom en tvåstegs fällningsprocess, har ett renare lignin med lägre alkalihalt kunnat produceras. Ligninet som produceras är tänkt att kunna användas i olika applikationer. En applikation är som bränsle, internt inom massabruket t.ex. som ersättning för olja eller andra bränslen i mesaugnen eller externt genom samförbränning med biobränslen eller kol i kraftvärmeverk.

LignoBoost-processen har utvecklats inom ett forsknings- och utvecklingsprogram FRAM (Framtida Resursanpassad Massafabrik etapp 1 och 2) där Innventia (Per Tomani) varit sammanhållande programledare. FRAM-programmet, som finansierats av Energimyndigheten och industriella finansiärer, avslutades i december 2008 och LignoBoost-processen har därefter förvärvats av Metso Power AB för vidare kommersialisering. Inom några års sikt (räknat från 2009) bedömer Metso Power att det kan byggas 2-3 anläggningar med en kapacitet på ca 50 000 ton lignin/år.



Figur 3.29.1 LignoBoost-processen för produktion av lignin/ The LignoBoost Process for Lignin production

Vid Bäckhammars bruk finns en pilotanläggning med kapaciteten 4000 ton lignin/år där lignin produceras i form av en filterkaka med 60-70% torrsubstans. I vissa applikationer har ligninet därefter torkats och vidareförädlas till pellets. Anläggningen har använts för att optimera processen och producera lignin för olika förbränningstester under FRAM2-programmet.

Figur 3.29.2 Lignin producerat vid pilotanläggningen i Bäckhammar i form av filterkaka respektive pellets/ Lignin produced at the pilot plant in Bäckhammar in the form of filter cake and pellets.

Ligninet filtreras i processen till en filterkaka med en fukthalt på 30-40%. För vissa applikationer torkar man sedan ligninet till en fukthalt på under 10 %.

Jämfört med andra biobränslen innehåller lignin mer kol och har därmed ett högre värmevärde. Lignin har ett kalorimetriskt värmevärde på 26-28 MJ/kg ts jämfört med biobränslen som trä eller bark som har ett kalorimetriskt värmevärde på ca 20-22 MJ/kg ts. I tabell 3.29.1 är några av ligninets fysikaliska egenskaper sammanställda

Tabell 3.29.1 Några av ligninets fysikaliska egenskaper/ Some of the physical properties of lignin1.

		Filterkaka	Pulver
Kalorimetrisk värmevärde	MJ/kg ts	26-28	26-28
Effektivt värmevärde	MJ/kg bränsle	14-17	24-25
Askhalt	% av ts	0,3-1,2	0,3-1,2
Fukthalt	% av bränsle	30-40	3-6
Bulkdensitet	kg/m^3	ca 500	ca 700

LignoBoost-processen producerar ett sulfatlignin med en relativt låg askhalt1, ca 0,8 %. En del av denna aska utgörs av restkemikalier från processen. Jämfört med tidigare producerade sulfatlignin är halten restkemikalier mycket låg och utgör ca 0,1-0,2 % av ts räknat som natrium. Genom sulfatprocessen binds svavel in i ligninmolekylen vilket medför att även om man tvättar ut restkemikalierna så finns det organiskt bundna svavlet kvar. Det medför att ligninet har en svavelhalt mellan 1-3%. Den höga svavelhalten gör därmed ligninet till ett intressant samförbränningsbränsle/additiv för att sulfatera korrosiva alkaliklorider i rökgasen.

Lignin har en del unika egenskaper jämfört med ordinarie biobränslen som man måste ta hänsyn till när man hanterar och transporterar ligninet.

- Fuktigt lignin; >10 % fukthalt, har en låg mjukningstemperatur, ca 60 °C, vilket man måste ta hänsyn till när man hanterar ligninet. Torrt lignin däremot är mer stabilt.
- Torrt ligninpulver är mycket reaktivt och man måste undvika risk för dammexplosioner. ATEX klassad utrustning bör användas där ligninpulver riskerar att ackumuleras.

3.29.1 Lagar

Enligt SIS-CEN/TS 14961:2005 (Fasta biobränslen - Specifikationer och klassificering) fastställd i juni 2005, anser vi att lignin kan klassas som biobränsle. Även enligt skatteverkets definition på biobränslen är avlutar från massatillverkning ett biobränsle.

Ligninet är ju ännu inget kommersiellt biobränsle, men i egenskap av biobränsle bör det vara undantaget koldioxid - och energiskatt (obs råtallolja däremot omfattas av energiskatt). Biobränslen är däremot skattepliktiga om de säljs eller förbrukas som motorbränsle eller som medel för att utöka motorbränslets volym.

De energikällor som har rätt att tilldelas elcertifikat är vindkraft, viss vattenkraft, vissa biobränslen (enligt förordning (2003:120)), solenergi, geometrisk energi, vågenergi och torv i kraftvärmeverk. Rest och biprodukter från skogsbruk och skogsindustri, till exempel returlutar, flis och avverkningsrester är det enskilt vanligaste biobränslet som tilldelas elcertifikat. Elcertifikat tilldelas den som producerar el från olika förnybara energikällor och torv och som fått sin anläggning godkänd av Energimyndigheten. Lignin förväntas ge elcertifikat när bränslet blir kommersiellt.

Också bra att veta är att lignin (kemiskt modifierad polymer) är undantagen REACH, den nya europeiska kemikalilagstiftningen. Svartlut är däremot inte undantaget REACH.

3.29.2 Analys och nyckeltal

Tabell 3.29.2 Analys av lignin/ Lignin analysis[1].

Prov	Exempel [1]		Median	Spann		Antal
				Min	*Max*	
Bränsleinnehåll (vikt-%)						
Fukt*	29,3		32,3	29,3	40,0	3
Aska (torrt)	1,4		1,0	0,2	1,4	5
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)						
Värmevärde (MJ/kg)						
Hkal (torrt askfritt)	26,7		27,1	26,6	27,3	5
Hkal (leverans)*	18,6		18,2	15,9	18,6	3
Heff (torrt askfritt)	25,4		25,9	25,3	26,0	5
Heff (leverans)*	16,9		16,6	14,2	16,9	3
Elementaranalys (% torrt askfritt)						
C (kol)	63,6		65,1	63,6	66,2	5
H (väte)	6,2		5,8	5,7	6,2	5
O (syre)	27,5		26,1	25,9	27,5	5
S (svavel)	2,54		2,5	1,8	3,2	5
N (kväve)	0,15		0,1	0,1	0,2	5
Cl (klor)	0,01		0,01	0,01	0,01	2
Askanalys						
	mg/kg ts	***mg/kg aska***	***mg/kg aska***			
Al (aluminium)	364	26 000	17 824	7 857	34 500	4
As (arsenik)			15	14	16	2
Ba (barium)	31	2 200	2 000	499	2 200	3
Ca (kalcium)	1 085	77 500	4 037	2 000	77 500	4
Cd (kadmium)			10	9	11	2
Co (kobolt)			10	8	11	2
Cr (krom)			257	108	500	3
Cu (koppar)			157	59	800	3
Fe (järn)	270	19 300	4 036	1 250	19 300	3
Hg (kvicksilver)			2	1	4	2
K (kalium)	543	38 800	38 800	24 000	76 154	5
Mg (magnesium)	116	8 300	1 996	1 700	8 300	3
Mn (mangan)	71	5 100	2 835	900	5 100	3
Mo (molybden)			484	353	614	2
Na (natrium)	1 666	119 000	151 500	119 000	227 152	5
Ni (nickel)			69	59	79	2
P (fosfor)	66	4 700	2 484	269	4 700	2
Pb (bly)			16	11	21	2
Sb (antimon)						
Si (kisel)	979	69 900	13 071	10 536	69 900	4
Ti (titan)	25	1 800	969	138	1 800	2
Tl (tallium)					0	
V (vanadin)			820	769	871	2
Zn (zink)			500	443	954	3

*Data gäller filtrerat lignin. Övriga data baseras på analys av både filtrerat och torkat lignin.
För att karaktärisera askors egenskaper med avseende på risk för beläggningar och korrosion vid förbränning kan olika nyckeltal baserade på för bildningsprocesserna väsentliga element användas. Historiskt har användning av nyckeltal sitt ursprung från förbränning av kol. Det har dock visat sig att de kolspecifika nyckeltalen inte är särdeles representativa för biobränslen, för vilka en ”egen familj” av nyckeltal har tagits fram. Generellt ska man dock var försiktig vid användning av denna typ av ”tumregelmässiga” angreppssätt, men rätt använda kan de ge värdefulla indikationer om möjliga problem.

Tabell 3.29.3 Nyckeltal lignin. Värden beräknade enligt Bilaga A. Värden i fet stil är inom riskområden.
Key numbers lignin. Values calculated from Appendix A. Values in bold indicates hazardous region

Nyckeltal	Tolkning	Risk	Exempel	Median
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0.8	**1.82**	**4.36**
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0.3	**0.52**	**0.93**
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0.2–4	18.1	20.7
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0.2–0.8	0,84	0.87
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6	2,6	0.70
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0.2-1	1.6	10.9

Tabell 3.29.4 Svavel- och fosforkvoter för lignin. Värden beräknade enligt Bilaga A (Nyckeltal).
Sulphur and phosphorous numbers for lignin. Values calculated from Appendix A (Key numbers).

Kvoter	Tolkning	Gynnsamma värden	Exempel	Median
Ca/S	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna.	>1.5-2* <1**	0.03	0.0013
Ca/(S+1,5P)	Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.	>1.5-2* <1**	0.03	0.0013
S/Cl	Betydelse för påslags/korrosions tendens. Viktigt att inte enbart jämföra S/Cl i bränslet för att bedöma risken för korrosion. Processberoende.	2-4 bra > 4 bättre	250	335
P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg)	Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.	>1	0.02	0.01

** Om man önskar avsvavling i bädden t.ex. vid förbränning av bränslen med hög svavelhalt.*
*** Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att*

effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.

För tolkningen av data i tabell 3.29.3 hänvisas till avsnitt 7.4.3 Nyckeltal. Här skall dock påpekas att askhalten är låg.
Då det finns ett stort överskott av svavel jämfört med både alkali och kalcium (Saltkvoten 1 och Ca/S) sker inte någon absorption av svavel vid förbränningen utan svavlet i ligninbränslet kommer att återfinnas i rökgasen. Lignin från skogsindustrin skulle därmed kunna vara en svavelkälla för att minska klorinducerad korrosion vid samförbränning med svavelfattiga bränslen. Man bör dock vid eventuell samförbränning av lignin med andra biobränslen tänka på att askans alkaliinnehåll till största delen består av natrium medan alkali i biobränslen i övrigt till största delen består av kalium. Man kan därmed hamna i ett förhållande där halten natrium och kalium är ungefär lika och där smältpunkten på askan därmed blir extra låg, eutektikum.

3.29.3 Driftserfarenheter

Inom FRAM2 programmet har sulfatligninet testats som bränsle i tre olika applikationer:

- Samförbränning med bark i en CFB-panna
- Samförbränning med kol i en PFBC-panna
- Förbränning av ligninpulver i en mesaugn

Syftet med förbränningstesterna har varit att samla förbränningstekniska och hanteringsmässiga erfarenheter av sulfatlignin som bränsle.

Samförbränning med bark i Chalmers 12 MW CFB-panna

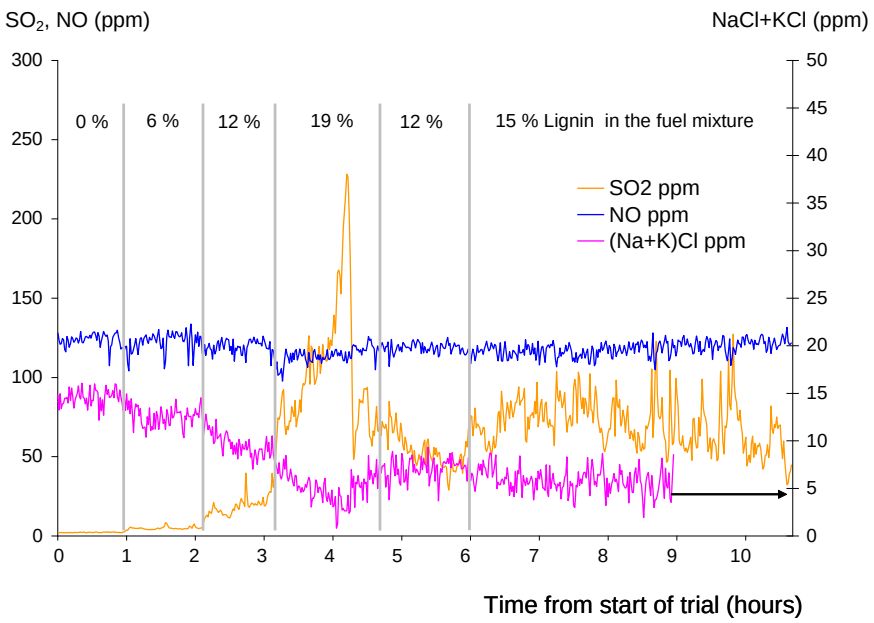
Under ett tredagars försök sameldades totalt ca 3 ton lignin tillsammans med barkpellets i Chalmers 12 MW_{th} CFB-panna [1] Andelen lignin var 6-19 % (vikt och energi) och resten av bränslet utgjordes av barkpellets från Mönsterås bruk.

Figur 3.29.3 Bilder från förbränningsförsök vid Chalmers CFB-panna[1]/ Some pictures from combustion trials at Chalmers CFB-boiler

Försöken visade bl.a. att:

- Det gick bra att mata in ligninet genom den ordinarie bränslehanteringen. Även om filterkakorna bröts sönder till mindre bitar och pulver så stördes inte förbränningen. Svavelinnehållet i ligninet minskade innehållet av alkaliklorid i rökgasen och därmed risken för korrosiva beläggningar. Med en inblandning av 15 % lignin reducerades alkalikloridhalten från ca 17 ppm ner till 5 ppm.

- Vid samförbränning med lignin ökade svaveldioxidhalten i rökgasen. En stor del, 80 %, absorberades dock av kalciuminnehållet i barken. (Vid samförbränning med träflis som innehåller mindre kalcium än barken blev inte svavelabsorptionen lika hög.)
- Med hjälp av kalkstensdosering till eldstaden kunde 99 % svavelreduktion demonstreras. Då minskades dock svavlets positiva effekt på alkalikloridinnehållet i rökgasen.



Figur 3.29.4 Resultat från samförbränning av lignin(som filterkaka) och barkpellet/ Results from trials with lignin (filter cake) and bark pellets

Samförbränning med kol i en PFBC-panna

AB Fortum Värme samägt med Stockholms stad eldar normalt en blandning av ca 95 % stenkol och 5 % krossade olivkärnor i sina två 220 MW_{th} trycksatta fluidiserade bäddpannor, PFBC-pannor, i Värtan. Bränslet blandas tillsammans med vatten och dolomit till en pasta som pumpas in i eldstaden. Fortum Värme har som mål att ersätta en del av kolet med biobränsle och lignin är ett av de biobränslen man testat. Man har under 2007 och 2008 genomfört olika förbränningstester med mellan 5-15 % inblandning av lignin1. Under 2008 eldades totalt ca 4000 ton lignin under totalt 13 veckor i den ena av Värtans två PFBC-pannor. Lignin har varit certifikatberättigat i anläggningen.

Försöken har varit lyckosamma och jämfört med många andra biobränslen anser man att lignin är ett lämpligt bränsle att elda i PFBC-pannorna som ursprungligen är designade för att elda kol. Resultaten av försöken visade bl.a. att:

- Det är möjligt att kontinuerligt blanda in lignin i bränsleblandningen utan att allvarligt påverka förbränningsbetingelserna.
- 15 % (på energibasis) lignininblandning har demonstrerats och 20-30 % inblandning av lignin anser man vara möjligt.
- Bränslehanteringen och prepareringen av bränslepastan visade sig vara det mest problematiska. Genom att blanda in ligninet så sent som möjligt innan bränsleinmatningen minskade risken för bildning av klumpar.
- Svavelreduktion genom dolomitinblandningen fungerade även när lignin blandades in i bränslet.

Fortum Värme var mycket nöjda med lignin som bränsle och skulle gärna se att det byggdes någon anläggning som kunde förse dem med lignin[4].

Förbränning av ligninpulver

Lignin har även testats som bränsle i en mesaugn13. Under ett tredagars försök vid Södra Cells massabruk i Mönsterås genomfördes i april 2008 fullskaleförsök med att elda torkat lignin i pulverform i deras mesaugn. Under försöket samförbrändes totalt 37 ton ligninpulver tillsammans med olja. Under 15 timmar var inblandningsgraden över 50 %. Mot slutet av försöket demonstrerades 100 % lignineldning i mesaugnen. Försöken visade bl.a. att:

- Det är möjligt att uppnå stabil och kontinuerlig drift av en mesaugn med ligninpulver som bränsle.
- Det är möjligt att använda standardutrustning (brännare och bränslematningsutrustning).
- Temperaturnivån i mesaugnen är jämförbar vid eldning av ligninpulver och ordinarie bränsle (olja eller barkpulver).
- NOx-emissionen påverkades möjligen något jämfört med enbart oljeeldning. Lignin innehåller mer kväve än den olja som normalt eldas på Mönsterås, men betydligt mindre än bark som normalt också eldas i Mönsterås.
- Svavlet i ligninet absorberades av mesakalken i ugnen upp till 90 % inblandning. Däröver ökade svaveldioxidemissionen från mesaugnen, men detta är en osäker siffra i och med att systemet inte optimerades under en längre driftsperiod.
- Driftpersonalen ansåg att mesaugnen gick bättre att köra med lignin som bränsle än bark.

3.29.4 Riskbedömning

Nedanstående text gör inte anspråk på att vara en fullständig riskbedömning utan ska läsas som en samling exempel på risker kring bränslehantering som energianläggningar i Sverige råkat ut för. Texten bygger främst på intervjuer men är även kompletterad med exempel hämtade från litteraturen. Nedan beskrivs också förslag på hur anläggningarna har, eller skulle kunna, reducera sina risker. Åtgärdsförslagen ska läsas som exempel för att få tips och idéer för riskarbetet.

I kapitel 2.4 beskrivs det som ligger till grund för riskinventeringen, hur den utförts samt en beskrivning av allmänna risker som inte kan kopplas till specifika bränslen utan är mer knutna till typen av anläggning.

Exempel på risker

Lignin har en del unika egenskaper jämfört med ordinarie biobränslen som man måste ta hänsyn till vid hantering och transport av ligninet.

- Fuktigt lignin, med >10 % fukthalt, har en låg mjukningstemperatur, ca 60°C. Torrt lignin däremot är mer stabilt.
- Torrt ligninpulver är mycket reaktivt och förefaller i en lagersituation kunna ge upphov till dammexplosioner. ATEX klassad utrustning bör användas där ligninpulver riskerar att ackumuleras.

Vid eldningsförsök i Värtan bereddes en pumpbar bränsleblandning med lignin, vatten, dolomit samt de ordinarie bränslena kol och krossade olivkärnor. Ligninet visade en tendens till att bilda klumpar, men genom att blanda in det så sent som möjligt innan pannan minskade risken.

Ligninets askhalt är låg vilket innebär att dess sammansättning blir av mindre betydelse i applikationer där det blandas med askrika bränslen i en miljö med en buffert i form av ”rätt komponerat” bäddmaterial eller tillförsel av en basisk absorbent i fluidbäddar eller mesakalken i mesaugnar. Emellertid förefaller det som om ligninets asksammansättning är totalt dominerad av alkali och att speciellt natrium skulle kunna ge (beläggnings)problem i en applikation med förbränning i en rosterpanna (med högre temperatur än i ovan nämnda applikationer) med ett basbränsle med låg askhalt och en sammansättning dominerad av kisel.

Exempel på åtgärder

För att reducera riskerna vid användning av ligninpulver bör det göras en utredning kring om, och i så fall var, det finns risk för dammexplosion i anläggningen, och åtgärder vidtas utifrån resultaten.

Inblandning av lignin i pumpbara bränsleblandningar bör göras så sent som möjligt innan pannan för att minska risken för klumpbildningar i bränslet.

3.29.5 Referenser

1 Tomani P. et.al., Final Report FRAM2, December 2008

2 Berglin N., Tomani P., Salman H., Herstad Svärd S., Åmand L-E., ”Pilot Scale Combustion Studies with Kraft Lignin as a Solid Biofuel”, 2008 Tappi Engineering, Pulping and Environmental Conference, Oregon August 2008.

3 Pressrelease 26 maj 2008 ”Lyckat försök att ersätta olja i mesaugnen med lignin”

4 Personlig referens Eva-Katrin Lindman, Fortum Värme AB samägt med Stockholm stad

3.30 Biooljor

De flytande biobränslen som används på svenska värmeanläggningar idag är med få undantag vegetabiliska biooljor (inklusive tallbecksolja). Dessa används främst i konverterade spets- och reservpannor som ursprungligen eldats med mineralolja. Viktigt att notera är att biooljor och andra flytande biobränslen inte är standardprodukter på samma sätt som mineralolja. Egenskaperna varierar i mycket högre grad än vad de fossila motsvarigheterna gör och därför kan en sammanställning av erfarenheter utgöra ett viktigt underlag för energibranschen när det gäller användandet av biooljor för el- och värmeproduktion.

Med dagens priser är det huvudsakligen olika rest- eller biprodukter som används som bränsle i värmeanläggningarna. Det kan exempelvis handla om restprodukter från raffinering eller andra rest- eller biprodukter från industriell tillverkning av livsmedel, fodertillverkning, läkemedel eller kosmetika. De vanligast förekommande biooljorna kommer från palm eller raps, alternativt varit en blandning av olika restprodukter där det biologiska ursprunget är svårt att spåra.

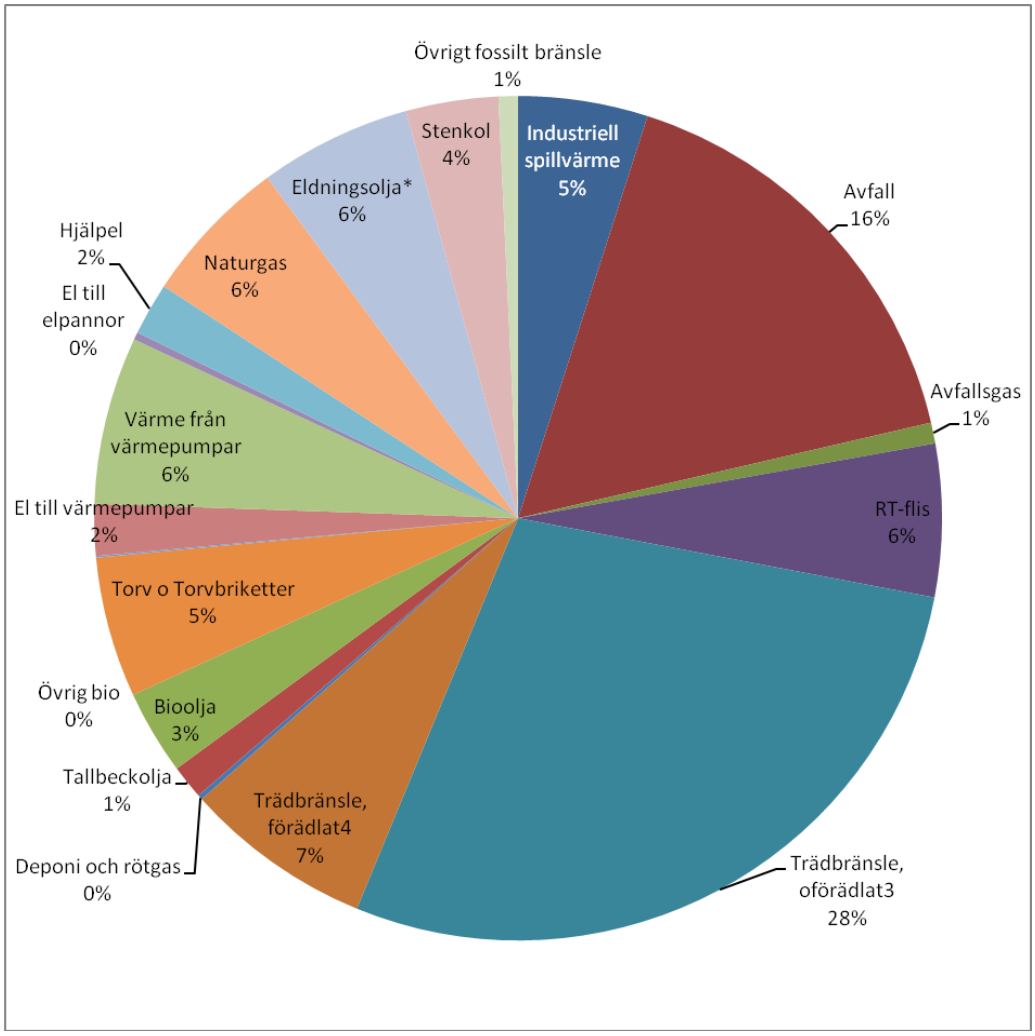
Bioolja är inte en standardprodukt med givna kvaliteter på samma sätt som mineralolja. De benämningar som används i vardagligt tal i branschen kan säga något om bränslets egenskaper såsom ”light fuel” eller ”heavy fuel”. Det kan också vara förkortningar som antingen anger att det är en blandad restprodukt som MFA (Mixed Fatty Acids) som anger vilket ursprung oljan har och vilken process den kommer från såsom i fallen PFAD (Palm Fatty Acid Distillate), PAO (Palm Acid Oil). Vidare finns exempel på rena produktnamn såsom Bioolja V4 (restprodukt vid tillverkning av RME Rapsdiesel). [1]

Användning av biooljor för kraft- och värmeproduktion

I tabell 3.30.1 finns en sammanställning.

Tabell 3.30.1 Användning av EO1 och flytande biobränsle i svensk fjärrvärmeproduktion 2009 Use of fossil oil and bio oils in Swedish heat- and power generation year2009 [2]

Företag	Olja GWh	Tallbeckolja GWh	Bioolja GWh
AB Fortum värme s ä m Stockholmsstad	1330,0	381,0	923,0
Lunds Energikoncern AB (publ)	0,4	0,0	320,6
Vattenfall AB	14,0	42,0	180,0
Lidköpings Värmeverk AB	11,4	0,0	54,3
Kalmar Energi Värme AB	19,5	0,0	52,7
Affärsverken Karlskrona AB	22,0	0,0	35,6
E. ON Värme Sverige	0,8	0,0	34,6
Ronneby Miljö och Teknik AB	2,3	0,0	32,2
C4 Energi AB	1,5	0,0	29,4
Köpingskommun	1,1	0,0	28,8
Karlstads Energi AB	42,6	0,0	28,2
Norrenergi AB	29,6	121,5	28,2
SUMMA	**3 836,7**	**862,5**	**2 072,7**



Figur 3.30.1 Användning av olika bränslen i kraft-och värmeproduktion 2009./ Use of different fuels for heat- and powerprodukction 2009. [2]

3.30.1 Lagar

Lag (2010:598) om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen [3]

Lagen om hållbarhetskriterier ska säkerställa att biodrivmedel och flytande biobränslen som används i Sverige uppfyller vissa krav på hållbarhet. För att bränslen ska betraktas som hållbara ska det i hela produktionskedjan, från råvaruproduktion till slutanvändning, kunna styrkas att ett antal kriterier för hållbarhet är uppfyllda.
Tre exempel på bränsle som omfattas är biogas till fordonsdrift, etanol och bioolja. För att dessa ska vara hållbara får de inte ha förstört områden med höga biologiska värden eller ha gett upphov till för stora utsläpp av växthusgaser. Rapporteringsskyldiga aktörer ska genom ett kontrollsystem säkerställa att de biodrivmedel och flytande biobränsle som används i Sverige ska vara hållbara.

3.30.2 Analyser

Tabell 3.30.2 Vanliga analysuppgifter för biooljor på marknaden i Sverige. [1]/ Common analytical data for biooils on the Swedish market.

Analys	Enhet	Exempel [1]	Median	Min	Max	Antal
Aska	vikt-%	0,05	0,041	0,01	0,1	14
Densitet 15°C	kg/m^3	900	900	876	912,6	12
GrossVärmevärde	MJ/kg	40	39,54	37,81	41,5	14
Net Värmevärde	MJ/kg	38,5	37,11	35,2	39,5	14
Flash point	°C	100	177,5	100	240	14
Vatten	vol-%	0,2	0,3	0,1	0,76	15
Viskositet @ 50°C	mm^2/s	30	17,855	4,46	30	12
Cloud point	°C	0	26	0	150	6
Väte	vikt-%	12,5	12	10	12,6	12
Kol	vikt-%	75	75,75	74,1	80	12
Svavel	vikt-%	0,01	0,01	0,01	0,03	14
Kväve	vikt-%	0,01	0,01	0,01	0,04	12
Klor	ppm	5	5	5	5	7
Tungmetaller	ppm	1	30	1	30	7

3.30.3 Drifterfarenheter [1]

De flesta av pannorna som använder bioolja som standardbränsle används till spetslast och är i drift under vinterhalvåret. Vid ett fall används biooljan som startbränsle till en bäddpanna. De flesta av anläggningarna kräver inga större justeringar under drift. Vad och hur mycket som måste justeras under drift beror till stor del på den använda oljans kvalitet. Effekten från förbränningen varierar från dag till dag. Variationen anses bero på den varierande kvaliteten på oljan

En del anläggningar tömmer systemet på bioolja efter slutförd säsong och rensköljer med t ex Eo1 medan andra har kontinuerlig cirkulation i systemet. Vid revision töms naturligtvis systemen.

Lunds Energi testar nya oljor varje höst, direkt från bil eller från separat tank.

Göteborg Energi använde animalisk olja under ett par år. Driftpersonalen var nöjd med den animaliska oljan, den brann bra, startade bra, och var enkel och homogen. Eldningsmässigt var det en bra olja, men hanteringsmässigt luktade den väldigt illa. Driftpersonalen upplever att den vegetabiliska oljan varierar mer i kvalitet

Gemensamma problem som uppstått vid införandet av bioolja för Lunds Energi och Göteborg Energi är:

- igensättningar
- korrosion
- beläggningar
- emissioner
- koksbildning
- kalla punkter där oljan stelnat

I stort sett all utrustning, som är i direkt kontakt med oljan har bytts till syrafast material. Exempel på detta är rör, pumpar, uppvärmda regulatorer, densitets- och flödesmätare, ventiler, spridarbrickor i brännare, brännarlansar, packningar, värmeväxlare, mm. I de fall där lättolja (som är mindre korrosiv) används har inte t ex rör bytts till syrafasta material, utan bara brännarkomponenter som utsätts för höga tryckfall och liknande.

De flesta har grövre filter vid lastningen och finare filter före brännaren för att förhindra diverse skräp och partiklar från att nå förbränningsutrustningen. Man försöker köpa så bra olja som möjligt och lossningsfiltret ska ta det mesta skräpet. Många har installerat påsfilter vid inlastningen för att rensa bort det mesta skräpet. Två av de intervjuade bolagen nämner att spilloljetråget ofta blir fullt från de automatiska filtrena på grund av dålig kvalitet på den levererade oljan.

Sotningsfrekvensen har ökat för Lunds Energi sedan biooljan togs i bruk. Vattensotning med högt tryck utförs manuellt nu en gång per månad istället för en gång per säsong. Inga problem i samband med sotningen har dock framkommit.

En allvarlig komplikation nämndes av Göteborg Energi. Vid dragning av nya oljerör var dessa inte tätsvetsade och ingen provtryckning gjordes, varpå oljan rann ut på isoleringen på rören och på pannan med efterföljande självantändning. Isoleringen byttes då till madrasserad isolering som inte tar åt sig olja och man monterade skyddsplåtar på pannan för att förebygga eventuella nya bränder.

På Göteborg Energi har man slutat med den tjockare oljan på de ställen där man inte har filter, dvs. oljekvaliteten har anpassats för att uppnå emissionskraven. För höga stofthalter ledde till att man inte klarade av kraven på stoft på hetvattenpannorna och på dessa pannor används idag istället gas. Dyrare olja av bättre kvalitet valdes för att stora investeringar som elfilter inte lönar sig på anläggningar som går korta perioder på varierande laster. Inget filter behövs där lättolja används för att klara villkoren. Elfilter och slangfilter används där tjockoljan används som startbränsle. Inga ändringar behövdes i miljötillståndet vid införandet av bioolja, däremot har tillstånden blivit striktare under tiden de kört med bioolja.

Fortum eldar bioolja i ett antal anläggningar och på alla de anläggningar där högaskiga biooljor eldas finns elfilter. På ett fåtal pannor eldas bioolja med låg askhalt varför elfilter inte behövs.

3.30.4 Referenser

1 Annamaria Sandgren, Emma Ekdahl, Kerstin Sernhed, Erica Lindström, Flytande biobränslen för el- och värmeproduktion. Värmeforskrapport nr 1132, 2011

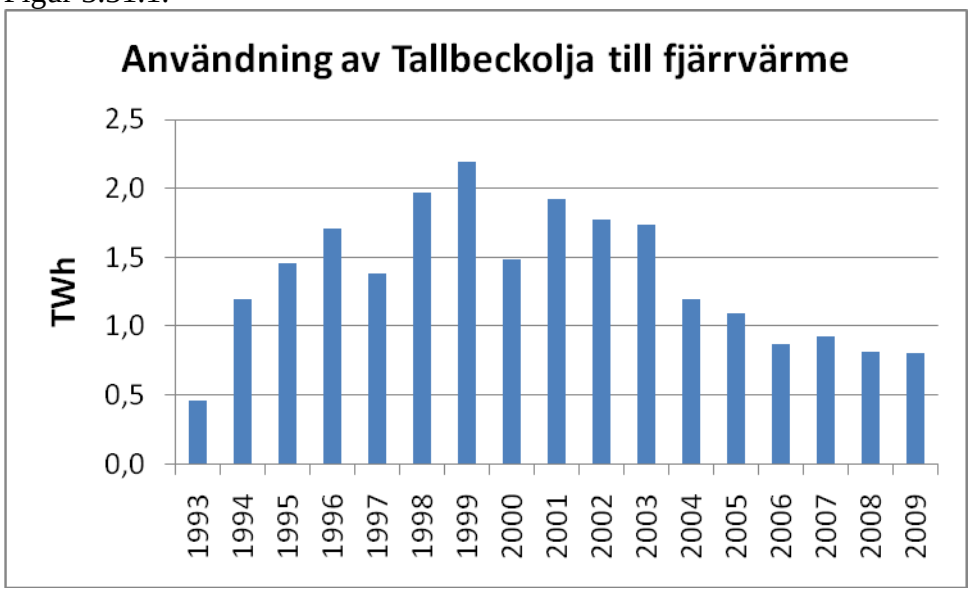
2 Statistik från Svensk Fjärrvärme: www.svenskfjarrvarme.se

3 Från Energimyndighetens hemsida: http://energimyndigheten.se/Foretag/hallbarhetskriterier

3.31 Tallbecksolja

Tallbeckolja utvinns ur råtallolja, som är en biprodukt vid papperstillverkning. Råtallolja är skyddad som råvara för kemiindustrin genom beskattning om den används som energivara i obearbetad form. Råtalloljan förädlas till tre huvudprodukter. Värdefullast är hartssyran (Tall Oil Resin, TOR) som används som råvara för bl.a. tryckpapper, bindemedel i tryckfärg och tejp. Mellanprodukten är tallfettsyra (Tall Oil Fatty Acid, TOFA) med många avsättningsområden som t.ex. färger och tryckpapper. Cirka 40 % av råtalloljan förädlas till tallbecksolja (Tall Oil Pitch) och används som ersättning för tung eldningsolja.

Användningen av Tallbecksolja i fjärrvärmeproduktion har minskat sedan toppnoteringar i slutet av 1990-talet och stabiliserat sig på en nivå strax under 1 TWh. Figur 3.31.1.



Figur 3.31.1 Användning av Tallbecksolja i fjärrvärmeproduktion i Sverige.[1]
Use of Tall Oil Pitch for district heating i Sweden.

Tallbecksolja är en brun trögflytande vätska, som är korrosiv vid förhöjd temperatur. Vid leverans är produkten varm (50-120°C). Tallbecksolja har en stark och stickande lukt.

Tallbecksolja är klassad som hälsovådlig med beteckning Xi, (irriterande) och kan förorsaka allergi vid långvarig hudkontakt.

3.31.1 Lagar

Förbränningen av tallbecksolja regleras och påverkas av följande lagar:

Lag om skatt på energi SFS 1994:1776
Skattemässigt är användningen av tallbecksolja speciell, då råtallolja idag är belagd med en punktskatt i form av en energiskatt. Den energiskatt som tas ut på råtallolja motsvarar den sammanlagda energi- och koldioxidskatt som tas ut på den lågbeskattade eldningsoljan. Energiskatten på råtallolja infördes den 1 januari 1999 och syftet med bestämmelsen är att motverka användningen av råtallolja som bränsle [2]. När det gäller tallbecksolja är även minskad tillgång en viktig orsak till den minskade användningen på senare tid. Den minskade tillgången beror bland annat på ett vikande konjunkturläge för den gran- och tallbaserade pappersmassaindustrin och att ett högt oljepris leder till att en intern användning av oljan i pappersmassaprocessen blir mer lönsam.

Lag om elcertifikat SFS 2003:113
Tallbecksolja berättigar till elcertifikat.

3.31.2 Analys

Tallbecksolja analyseras på en del parametrar som vanligen inte analyseras när det gäller fasta bränslen. De vanligaste analyserna som utförs presenteras i Tabell 3.31.1.

Tabell 3.31.1 Speciella egenskaper hos Tallbecksolja./ Characteristics of Tall oil pitch.

Analys	Enhet	Exempel	Median	Spann		Antal analyser
Aska	Vikts %	0,4	0,26	0,21	0,4	3
Densitet 15°C	kg/m^3	961,5	964,7	961,5	980,5	3
Densitet 50°C	kg/m^3	970	956,7	940,7	970	3
GrossVärmevärde	MJ/kg	39,8	39,8	39,72	40,14	3
Net Värmevärde	MJ/kg	38	37,6	37,26	38	3
Flash pointPensky martens	°C	> 100	130	100	174,5	3
Pour point	°C	- 12	9	-12	21	3
Svavel	Vikts %	0,27	0,27	0,23	0,334	3
Vatten	Vol%	0,2	0,2	0,1	0,3	3
Viskositet @ 50°C	mm^2/s	100	110,5	100	302,4	3
Viskositet @ 80°C	mm^2/s		49,72	31,65	67,78	2
Väte	Vikts%	10,6	11,6	10,6	11,9	3

3.31.3 Driftserfarenheter

Göteborg Energi AB [4]
Göteborg eldar Tallbecksolja i en 110 MW hetvattenpanna med Petros rotations-brännare. Pannan är utrustad med el- och textilfilter och man använder bikarbonat-insprutning för SO_2-reduktion. Pannan är utrustad med ångsotning.

Rotationskoppar, spridare och bränsleslangar är utbytt mot syrafast material. Bikarbonatinsprutningens placering är viktig för SO_2-reduceringens effektivitet. Tallbeckseldning ger påslag i eldstad och konvektionspaket.

Sundsvall. Korsta [5]
I Sundsvall har man under några år blandat in tallbeckolja i eldningsoljan till kraftverks-pannan. Det fungerar bra upp till 25 % inblandning. Mer än 25 % ger för höga stoftmängder.

En liten 5 MW oljepanna i Matfors körs med 100 % tallbeckolja. Den är anpassad för tallbeckolja och det går bra.

Vattenfall. Bollmora [6]
2 st likadana 20 MW Högfors vattenrörspanna. hetvatten (ca 180°C). Utgående rökgas 150°C. Toppmonterad brännare: Petrokraft rotations. Ombyggd från Eo5 till Tallbeck (Eo5 nu reserv, dvs. Tallbeck normal).

Ombyggnader från Eo5:

- Renovering oljecistern, epoxylack nedersta metern. I år upptäcktes att delar av cisternen korroderat bort – ombyggd. Man skulle nog ha lackat mera från början.
- Spaltfilter i oljeledningen (tallbeck innehåller en hel del fibrer och aska).
- Nya förvärmare, tallbeck till brännarna nu 105°C.
- Oljeberörda rörkomponenter och delar i brännare utbytta till rostfritt syrafast stål (på förvärmda delen).

Ombyggnader styr & regler:

- Pannan har fått rejält med sotblåsare.
- Elfilter har installerats.

Drifterfarenhet: Efter ombyggnaden har det gått bra, effekten har bara sänkts från 20 till 18 MW. I början problem med materialval i rotationsbrännare men detta är nu löst. Problem med påslag fruktades men sotningen klarar det. Nu senast korroderade oljecisternen.

3.31.4 Rekommendationer

Vid hantering och förbränning av tallbecksolja bör en del försiktighetsåtgärder vidtas:

- Oljeberörda rörkomponenter och delar i brännare måste vara av rostfritt syrafast material (på förvärmda delen).
- Oljecisterner behöver korrosionskydd.
- Tallbecksoljan måste förvärmas (50-120°C).
- Tallbecksolja måste förvaras och hanteras i slutna system.
- Sotningsfrekvens måste ökas jämfört med EO.
- Tallbecksolja kan ge hudirritationer vid kontakt samt lungirritationer vid inandning.

3.31.5 Referenser

1 ”Energiläget i siffror 2010”. www.energimyndigheten.se

2 Handledning för punktskatter 2007, 2007, SKV 504 utgåva 10

3 Standard Talloil Blend #5

4 Per Gustavsson. Göteborg Energi AB Personlig kommunikation. (2004)

5 Ingmar Agrell. Sundsvall Energi AB, Korstaverket Personlig kommunikation. (2004)

6 Per Kallner, Vattenfall, Bollmora. Personlig kommunikation. (2004)

4 Åtgärder för att minimera bränslerelaterade driftsproblem

4.1 Inledning

Vid förbränning av biobränslen och olika typer av returbränslen/avfallsbränseln finns det risk för att det uppstår driftstekniska problem på grund av bränsleaskans kemiska innehåll eller föroreningar i form av metaller, stenar etc. Många av returbränslena innehåller höga halter av alkalimetaller som kalium (K) och natrium (Na) samt höga halter av klor (Cl). Biobränslen är dessutom ofta svavelfattiga.
Den huvudsakliga orsaken till agglomerering/sintring av bädden i en fluidbäddpanna samt beläggningar och korrosion vid förbränning av avfalls- och biobränslen är förekomsten av höga halter av alkali och klor samt lågt svavelinnehåll i bränslet. För att undvika alkalirelaterade driftproblem så gäller det oftast att förändra de kemiska förutsättningarna vid förbränningen och därmed också rökgaskemin123:

1. **Binda/adsorbera alkali**
   Genom att samförbränna med ett bränsle som innehåller en aska som kan binda alkali t.ex. torv, kol, rötslam etc. Man kan också tillföra ett additiv som lermineralet kaolin. Bäddmaterialet i en bubblande fluidbädd kan binda mer alkali om bäddtemperaturen sänks ner mot 750°C.

2. **Tillföra svavel så att alkaliklorider inte bildas eller att de omvandlas till alkalisulfater.**
   Svavel kan tillföras genom samförbränning med bränslen som innehåller svavel t.ex. torv, rötslam, gummidäck, kol etc. Man kan också spraya in sulfater eller svavelsyra i eldstad/rökgas eller dosera elementärt svavel tillsammans med bränslet.

3. **Tillföra fosfor så att alkaliklorider inte bildas eller att de omvandlas till alkalifosfater.**
   Fosfor har en liknande effekt som svavel och kan tillföras t.ex. genom samförbränning med kommunalt rötslam.

4. **Minska anrikningen av alkali i bädden på en fluidbäddpanna**
   Genom regenerering av bädden d.v.s. tillsats av tillräcklig mängd ny sand.

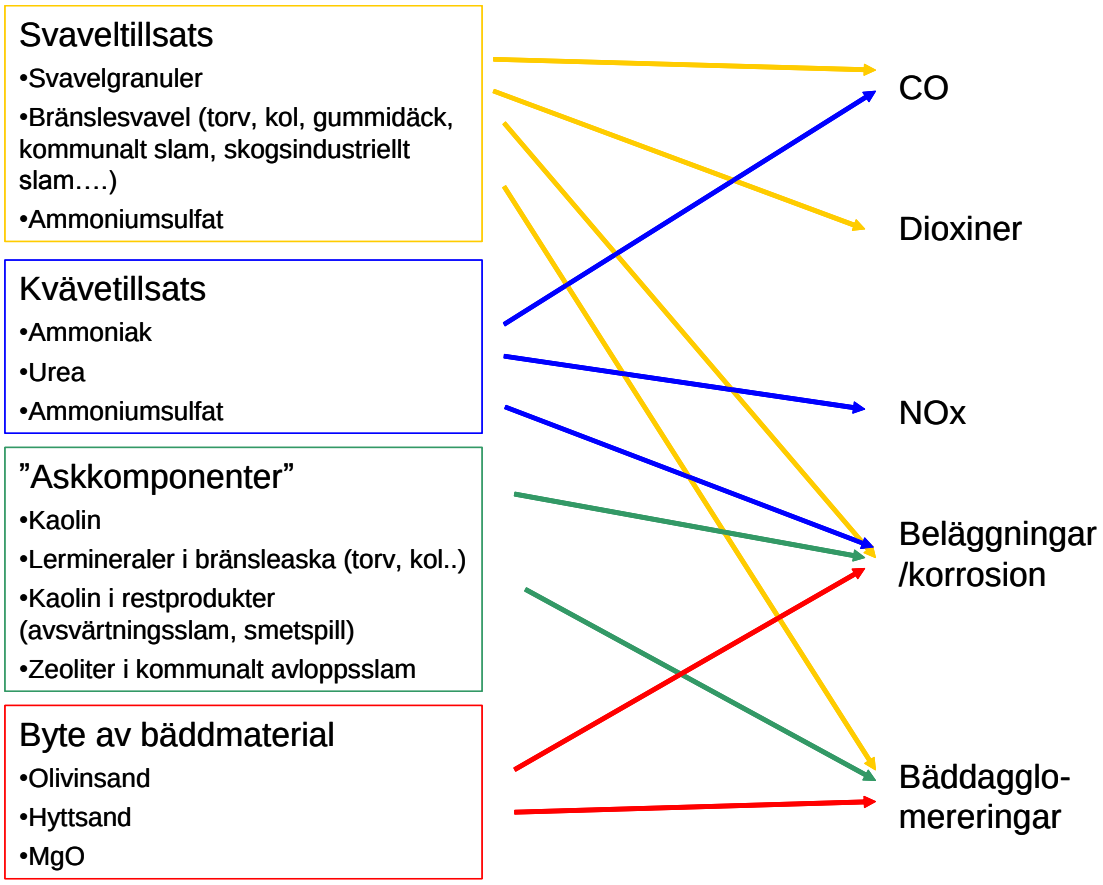
5. **Minska bildningen av klibbiga lager av alkalisilikater rund bäddkorn**
   Genom att byta bäddmaterial från vanlig kvartsrik sand till ett alternativt bäddmaterial med mindre reaktiv sammansättning kan bildningen av klibbiga alkalisilikater minimeras. (Här riskerar man dock att öka mängden alkali i rökgasen och därmed risken för beläggningar och korrosion.)

Det är viktigt att vara på det klara med vilket/vilka problem man vill åtgärda och ha en god bild av effekten av en åtgärd i hela anläggningen. Vissa åtgärder kan ha positiva effekter både i eldstad och bakre drag medan andra kanske minskar risken med bäddagglomerering men ökar risken för korrosion. T.ex. kan man öka risken för korrosion och beläggningar om man binder mindre mängd alkali i bädden.

De olika åtgärderna som tillgrips för att förändra kemin består därmed av:

- Samförbränning och ”smart” bränslemix
- Tillsats av olika additiv
- Byte av bäddmaterial
- Regenerering av bäddmaterial
- Förändra temperaturprofilen i pannan

De olika angreppssätten kan ge olika synergieffekter, inte bara konsekvenser för bäddagglomerering, beläggningsbildning och korrosion, utan även för emissioner av andra ämnen som CO, TOC, dioxiner, SO_2 och NO_x. Nedanstående figur illustrerar att olika åtgärder kan påverka olika parametrar.



Figur 4.1.1 Schematisk bild över hur olika åtgärder kan påverka olika parametrar/ Schematic diagram showing how various actions affect different parameters.

4.2 Tillförsel av additiv

Syftet med tillförande av olika former av additiv är att påverka de kemiska processer som äger rum vid förbränningen så att tendenser till agglomerering av bäddmaterial och risk för beläggningsbildning på konvektionsytor minimeras. De additiv som kommer att tas upp nedan är kaolin, svavel och fosfor.

- Kaolin har förmåga att binda kaliumsalter i bädden och på så vis höja den temperatur då bäddagglomerering börjar uppstå
- Svavel har förmåga att påverka de kemiska processerna så att korrosiva och lågsmältande klorider kan omvandlas till sulfatföreningar.
- Fosfor har förmåga att reducera beläggningsbildning och högtemperaturkorrosion.

4.2.1 Kaolin

Kaolin är namnet på vit porslinslera och är ett av de huvudsakliga råmaterialen vid tillverkning av keramiska material såsom porslin. Det består till största delen av ett mineral som heter kaolinit och har den kemiska formeln $Al_2Si_2O_5(OH)_4$.

Laboratoriestudier såväl som försök i Nässjö samt vid Chalmers CFB-panna har visat att kaolin är effektivt när det gäller att ta upp kaliumsalter vid de temperaturer som förekommer vid förbränning i fluidiserad bädd, 750-950°C456. Kaolinet tar upp kalium både från fasta kaliumföreningar som blandats med kaolinet och från kaliumföreningar i gasfas.

Försök vid Chalmers har även visat att kaolin verkar ha en dubbel effekt genom att:

- binda kalium så att mindre mängd kalium finns tillgängligt att reagera med i bäddmaterialet.
- lägga sig som ett lager kring kladdande askpartiklar/agglomerat (halmstenar) såväl som bäddmaterialpartiklar med kladdande lager.
- Tillsätts en hög dosering kaolin så ser man även effekt på mängd och kemisk sammansättning på beläggningar

Kaolin binder kalium framförallt om det förekommer som klorid eller hydroxid. Reducerande förhållanden och närvaro av vattenånga är en fördel för absorptionen. Produkten är i huvudsak svårlösliga och svårförångade silikater. Kadmium absorberas av kaolin på liknande sätt.

Resultat från försök vid Chalmers forskningspanna inom ramen för Värmeforsks projekt A5-509 1 har visat att redan vid en låg dosering av kaolin, ca 2 kg/MWh (kaolin/alkali=2) ökar agglomereringstemperaturen på bäddmaterialet markant. Försök med en högre dosering, 7-13 kg/MWh) visar att kaolin samtidigt kan ge minskade problem med beläggningar i pannans bakre drag . Genomförda mätningar har visat på lägre halt kaliumklorid (KCl) i rökgasen och lägre halt av KCl i beläggningar på provsond och i submikrona partiklar.

4.2.2 Svavel

Att ersätta klor med t.ex. svavel i en alkaliförening är ett sätt att undvika beläggnings-benägna och korrosiva alkaliklorider. Det finns kunskap som visar att ett ökat molförhållande mellan svavel och klor i bränslemixen tenderar att minska överhettarkorrosionen vid bio- och avfallseldning. Det är dock viktigt att påpeka att man inte enbart kan utgå från molförhållandet S/Cl i bränslet för att exempelvis bedöma risk för korrosion. Om bränslet innehåller kalk och man eldar bränslet i en fluidbäddspanna sker en reaktion mellan kalcium och svavel, vilket medför att mängden svavel i rökgaserna minskas.

Svaveltillförsel till förbränningsanläggningar kan göras på ett flertal sätt. Svavlet kan:

- tillföras med ett samförbränningsbränsle som innehåller svavel, exempelvis kol, torv, slam eller gummi. Mer om detta under rubrik ”Samförbränning” nedan.
- tillsättas med bränslet som elementärt svavel till förbränningen
- tillföras som ammoniumsulfat eller andra sulfater genom insprutning i rökgasen i SNCR-zonen.
- Tillföras som svavelsyra i eldstaden
- eventuellt tillföras som SO_2 i förbränningsluft

I oxiderande atmosfär binder sulfat snabbare till alkali än vad klor gör. Klor förenar sig med väte som väteklorid (HCl) i rökgasen enligt den förenklade reaktionen nedan:

$$4\ KCl(s) + 2\ SO_2\ (g) + 2\ H_2O(g) \leftrightarrow 2\ K_2SO_4(s) + 4\ HCl\ (g)$$

Teoretiskt är ett S/Cl-molförhållande på 0,5 tillräckligt för att alkalikloriderna skall sulfateras. Hur stort överskottet av svavel behöver vara beror bl.a. på hur svavlet tillförs, om det tillförs som sulfat och om bränslet innehåller kalcium. Om svavel tillsätts i form av ammoniumsulfat efter förbränningen räcker det oftast med ett molförhållande på mellan 0,5-1. Erfarenheter från fullskaliga försök visar att kvoten oftast måste vara betydligt högre för att svavlet skall sulfateras om svavlet tillförs med bränslet, t.ex. med torv, kol, slam, eller som elementärt svavel. Detta beror bl.a. på att reaktionsvägen går via SO_3 och det bildas lättare SO_3 från sulfat som doseras i pannan övre del än från svavel som tillförs med bränslet. En annan orsak är också och om finns svavelabsorberande ämnen i bränsleaskan, exempelvis kalcium, som konkurrerar om svavlet.

Svavlets effekt på agglomereringstendenser är temperaturberoende. Försök med tillförsel av SO_2 vid eldning av halm har visat märkbar effekt under 800°C. Vid högre temperatur syntes ingen effekt.

Positiva effekter vid tillsats av svavel i olika form har också noterats på halterna av CO i rökgaserna. Effekterna av svavel på CO gäller inte generellt utan är mycket beroende av förbränningsanläggningens utformning, bränslets sammansättning och sättet att tillföra svavel. Mekanismerna bakom svavlets reducerande effekter på CO är i dagsläget inte klarställda. En hypotes är att förklaringen till de sänkta halterna skulle vara att svaveltillsatsen ger upphov till en katalytiskt aktiv finpartilkelmod av K_2SO_4 som oxiderar CO och kolväten.

Vid dosering av ammoniumsulfat kan även en reducering av NO_x i rökgaserna erhållas.

4.2.3 Fosfor

Resultat från försök genomförda under ledning av Marcus Öhman (Luleå Tekniska Universitet) visar att additiv som är rika på fosfor kan vara intressanta för att reducera beläggningsbildning och högtemperaturkorrosion utan att i någon större omfattning öka slaggnings- och bäddagglomereringstendensen hos typiska biobränslen7.

Försök med dosering av rötslam vid Chalmers CFB-panna har visat att fosfor liksom svavel kan reagera med alkali och minska mängden alkaliklorid i rökgasen. Även dosering av fosfater i rökgasen minskade alkalikloridhalten i rökgasen. 3

Vid förbränning av fosforrika bränslen som inte innehåller kalcium måste man vara vaksam på risken för bildning av rena alkalifosfater som har låga smältpunkter och kan orsaka sintringar och bäddagglomereringar.

4.2.4 Samförbränning av biobränsle och avfall med exempelvis rötslam, gummidäck eller torv

Genom att samförbränna ett besvärligt bränsle med ett bränsle som har en ”gynnsam asksammansättning” kan man minska både risken för bäddagglomerering i fluidbäddar och korrosiva beläggningar. Ett askrikt bränsle ger dessutom en utspädningseffekt.
Försök med samförbränning med rötslam från kommunalt avloppsreningsverk har bl.a. genomförts i etapp två och tre av Värmeforsks ramprogram för minimering av alkalirelaterade problem[2,3]. Resultat från dessa försök visar att samförbränning med rötslam har en positiv inverkan på bäddens agglomereringstemperatur, en höjning från 900-950 till 1060 °C har noterats. Samförbränning med rötslam minskar dessutom risken för korrosion. Försök med tillsats av rötslam vid Händelö avfallseldade Compact panna visade att materialavverkningen på testringar minskade avsevärt. [3]

Även samförbränning med torv har positiva effekter både när det gäller att minska risken för sintringsproblem och risken för korrosiva beläggningar. Det är också vanligt att värmeverken blandar in en 10-15 % torv för att minska alkalirelaterade problem.

Samförbränning med gummi har främst effekt i bakre drag och då genom att öka svavelhalten i bränsleblandningen och minska risken för korrosiva beläggningar.

4.3 Regenerering av bädd och byte av bäddmaterial

Natursand används normalt som bäddmaterial i fluidbäddspannor i huvudsak för att det är lättillgängligt över hela världen. Det har dock visat sig att kvartsen i natursand kan samverka med alkali i bränsleaska och bilda lager av alkalisilikater runt bäddkornen som har låg smältpunkt. Om dessa klibbiga lager tillväxer så kan sanden baka ihop och agglomerera. För att undvika ökad risk för att bädden bakar ihop eller sintrar t.ex. vid en lokal temperaturökning så byter man kontinuerligt ut en del av sanden mot färsk sand. För att kontrollera att man har en bra bäddkvalitet så rekommenderas att man tar ut prov på bottenbädden dagligen och tittar på sanden gärna med ett enkelt förstoringsglas.

Ett sätt att undvika bäddagglomerering orsakad av interaktion mellan bränsleaska och bäddmaterialet är att byta till ett bäddmaterial med annan sammansättning.

Det har genomförts ett stort antal försök med olika bäddmaterial, såväl i labbskala som i fullskala. Slutsatsen av genomförda försök är att man inte skall generalisera och säga att ett visst bäddmaterial är det bästa för alla bränslen. Det är snarare så att ett visst bäddmaterial kan vara bra för ett kaliumrikt bränsle medan skillnaden mellan olika bäddmaterial för ett kalciumrikt bränsle är betydligt mindre. Detta enligt Geyter et. al10. Bäddmaterial med låga kvartshalter är därmed bra vid förbränning av kaliumrika bränslen. Exempel på sådana bäddmaterial är Hyttsand, GR-Granule, AggloStop^{TM} och olivinsand. Med dessa bäddmaterial bildas inte alkalisilikater i det inre skalet på partiklarna, då kvartshalten är mycket låg i bäddkornet.

Byte av bäddmaterial är en åtgärd att ta till för att minska risken för sintringar och bäddagglomereringar. Man bör dock tänka på att detta kan leda till ökade alkalihalter i rökgasen.

4.4 Bränslerelaterade driftsproblem-Åtgärder

Exempel på driftproblem relaterade till bränslet är t.ex.

- Ansamling av skrot i botten på en fluidbäddpanna
- Delvis eller hel sintring/agglomerering av sanden/bäddmaterialet i fluidbäddspannor
- Påslag och korrosion i eldstaden
- Beläggningar av bäddmaterial/bäddaska på värmeöverförande ytor
- Korrosion av eldstadstuber, överhettare och ekonomiser
- Igensatta värmeytor

4.4.1 Ansamling av skrot i botten på en fluidbäddpanna

I samband med att man eldar alltmer retur- och avfallsbränslen i samförbränningsanläggningar, som inte från början är designade för dessa bränslen, ökar risken för att överstort material som stenar, spikar, metallbitar etc. ansamlas i bottenbädden på fluidbäddpannor. Konsekvensen kan bli att man får ofullständig fluidisering av bädden med risk för:

- Stråkbildning och ofullständig förbränning
- Partier där bädden inte fluidiserar varvid risken för agglomerering av bäddmaterialet ökar

<u>Åtgärder</u>

Den viktigaste och svåraste åtgärden är att ha god kontroll på bränslet och krav på bränsleleverantörerna så att man minskar risken för föroreningar i bränslet. Utforma bränslesystemet så att man har någon form av metallvakt.

Se till att omsätta bädden d.v.s. mata ut bäddmaterialet och (om man har någon typ av bäddsikt) sikta bort överstort material.

Stoppa pannan och rensa ut skrotet innan bädden sintrar.

4.4.2 Agglomerering av bäddmaterialet i fluidbäddpannor

Innan en fullständig agglomerering/sintring av bädden i en fluidbäddpanna sker, uppstår oftast en lokal agglomerering eller delvis agglomererad bädd. Agglomererar bädden delvis, eller att det blir dålig fluidisering i vissa delar av bädden, kan det bli stråkbildning i bädden med lokalt höga temperaturer och ofullständig förbränning som följd. Som en konsekvens av förhöjda temperaturer och/eller ofullständig förbränning så ökar, förutom risken för ytterligare agglomerering, även risken för beläggningar samt korrosion av värmeöverförande ytor. Samtidigt ökar också emissionerna av framförallt CO och TOC. Har en agglomerering väl börjat är risken stor för att den sprider sig i hela bädden.

Agglomerering/sintring av bäddmaterial kan ha flera olika orsaker, såsom:

1. *Sänkt agglomererings/sintringstemperatur på bäddmaterialet-*
   Reaktion/samverkan mellan bäddmaterial och bränsleaska
   Alkali (kalium och natrium) från bränslet ansamlas i lager på ytan av sandkornen i bädden. Genom att alkalit reagerar med kvartsen i bäddsanden bildas det lager av alkalisilikater med låg smältpunkt. Om dessa lager blir för tjocka riskerar sandpartiklarna att agglomerera.

2. *Anrikning av bränsleaska med låg smältpunkt.*
   Man kan även få en sänkt agglomereringstemperatur och därmed ökad risk för att bädden agglomererar/sintrar genom att bränsleaskan i sig själv har en låg smältpunkt t.ex. vid förbränning av agrara bränslen som halm.

3. *Otillräcklig fluidisering* beroende på exempelvis:
   - Igensatta primärluftdysor för fluidisering av bädden
   - Överstort material som skrot eller stenar i bädden som ansamlats i botten på pannan vilket påverkar luftfördelningen
   - För lågt fluidiseringsflöde (luft och/eller rökgasrecirkulation) i förhållande till det material som skall fluidiseras

4. *Lokalt förhöjd temperatur.*
   Vid ojämn fördelning mellan luft och bränsle kan det bli förhöjd temperatur i någon del av bädden, vilket gör att sand/askpartiklar kan klibba ihop lokalt.
   Lokalt förhöjd temperatur kan bero på:
   - Ojämn bränsleinmatning
   - Att styrsystemet inte kan kompensera för svängningar i tillförsel av luft och bränsle.

5. *Tillfällig temperaturökning i bädden*
   En tillfällig temperaturökning kan uppstå vid felaktig reglering av bädden, vilket är vanligt i samband med start/stopp eller sameldning med lastolja. Detta kan i sin tur leda till att de asklager som ansamlats på sandkornen delvis smälter och sanden bakas ihop.

<u>Åtgärder</u>

Partiell agglomerering

- Säkerställ god fluidisering genom t.ex. tillräcklig mängd primärluft och jämn bränslematning.
- Öka askutmatningen-öka siktning av bäddmaterialet.
- Tillför nytt bäddmaterial
- Kontrollera reglersystemet så att en jämn luft/bränslekvot erhålls.

Total agglomerering eller då pannan måste stoppas

- Rensa bädden (spetta loss igensättningar och rensa bort metaller och överstort material)
- Se till att inga luftdysor i bädden är igensatta
- Starta upp med ny bädd och se till att flödet av fluidiseringsluft är tillräckligt
- Ha god askutmatning och bäddmaterialtillförsel under drift

Har man frekventa problem med sintringar/agglomereringar så finns det mer långsiktiga lösningar som kan ta till t.ex.

- Byte av bränsle/ändring av bränslemix
- Sänkt bäddtemperatur
- Tillförsel av additiv
- Byte av bäddmaterial

Byte ändring av bränsle mix

För att minska risken för bäddagglomereringar kan man påverka den kemiska sammansättningen på bränsleblandningens aska så att asklagren runt bäddkornen eller askan i bädden får en högre smältpunkt. Exempel på bränslen som har den effekten är:

- Torv
- Kommunalt rötslam
- Vissa slam från skogsindustrin t.ex. avsvärtningsslam

Sänkt bäddtemperatur

Speciellt för bubblande fluidbäddpannor kan man sänka temperaturen i botten på pannan. Försök har bl.a. genomförts i Borås Energis avfallseldade BFB-pannor. När man sänkte bottenbäddtemperaturen till 700-750 °C så minskade mängden av små agglomerat av partiklar i bottenbädden. Man fick också en viss minskning av beläggningar på beläggningsringar. Obs det är viktigt att för avfalls- och samförbränningsanläggningar upprätthålla 850 °C under 2 s.

Tillförsel av additiv

Lermineralet kaolin har förmågan att binda alkalimetaller och därmed minska risken för bäddagglomerering. Vid försök i Chalmers CFB-panna fick man markant minskad sintringsrisk vid en dosering motsvarande 2 kg/MWh eller molförhållande kaolin/alkali=2. (Med högre doseringar minskades även mängden klor och alkali i beläggningar.)1456

Andra additiv som minskar risken för bäddagglomerering är t.ex. kalk och dolomit. Här bör dock påpekas att risken för klorinnehållande beläggningar i bakre drag kan öka då kalk och dolomit adsorberar svavel.

Byte av bäddmaterial

Genom att byta bäddmaterial från kvartssand till ett bäddmaterial, som inte lika lätt reagerar med alkali och bildar alkalisilikater, så kan man minska risken för bäddagglomereringar. Byte av bäddmaterial har dock mindre effekt om man eldar bränslen där askan i sig har låg smältpunkt som agrara bränslen t.ex. halm, olivkärnekross m.m.

Exempel på alternativa bäddmaterial är:

- Olivinsand (natursand som innehåller mycket magnesiumoxid)
- Hyttsand, GR-granul (masugnsslagg som krossats och siktats till lämplig storleksfördelning. Masugnsslagg består av främst av oxider av kalcium, magnesium, kisel och aluminium)
- Dolomit
- Diabas (Är en bergart och saluförs bl.a. av Metso Power i Finland under namnet AGGLOSTOP™)
- Bäddaska från PFBC-pannan i Värtan (består i huvudsak av dolomit och kolaska)
- Gjuterisand

Försök med alternativa bäddmaterial har genomförts inom många projekt. I dagsläget använder dock de flesta vanlig natursand som bäddmaterial.

Vid försök i Chalmers CFB-panna har Olivinsand, Hyttsand och bäddaska från PFBC-pannorna i Värtan testas som alternativa bäddmaterial. Resultaten visade att för vanlig träflis så ökade bäddagglomereringstemperaturen markant. Eftersom mindre alkali bands i bädden ökade dock halten alkaliklorid i rökgasen vilket ökar risken för korrosiva beläggningar.

4.5 Beläggningar på värmeöverförande ytor som kvarstår efter sotning

Beläggningar på värmeöverförande ytor försämrar värmeöverföringen genom att tuberna isoleras vilket medför att värmebalansen påverkas.

Får man mycket beläggningar på eldstadstuberna ökar rökgastemperaturen in till överhettaren i en ångpanna. Konsekvensen blir då att överhettarna tar upp mer energi och ångtemperaturen får justeras genom insprutning av matarvatten. Blir försmutsningen av eldstaden alltför stor kan man hamna i en situation då ångtemperaturen inte kan regleras till avsedd sluttemperatur.

Beläggningar på överhettare medför försämrat upptag av energi, vilket kan leda till att ångtemperaturen in till turbinen inte kan upprätthållas. Den praktiska konsekvensen av ovan nämnda effekter blir vanligen lastbegränsning på pannan.

Beläggningar innebär också att tryckfallet över värmeöverförande ytor ökar. Får man en partiell igensättning av tubpaketen i bakre drag så ökar rökgashastigheten på vissa ställen, vilket kan orsaka erosion. Beroende på beläggningarnas kemiska sammansättning kan beläggningar på tubytor även orsaka korrosion.

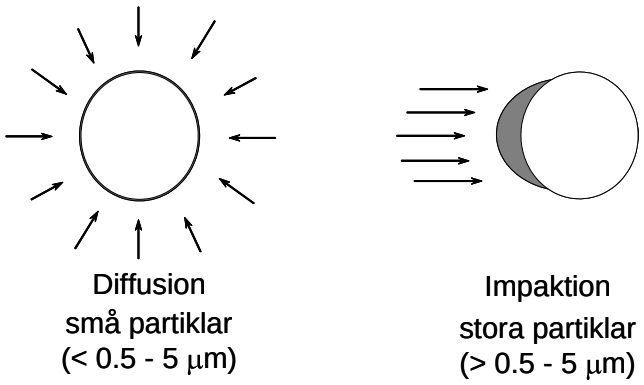
Beläggningar kan bildas på olika skilda sätt. Föreningar i gasfas kan kondensera och bilda partiklar när temperaturen sjunker. Kladdande partiklar från bädden kan följa med rökgaserna och fastna på kallare ytor. Beroende på bränsle och temperatur så får vi varierande andel i de olika processerna och därmed även skilda partikelfraktioner. De från gasfas kondenserade ämnena bildar alltid en fraktion av små partiklar, s.k. submikrona partiklar.

Askpartiklarna har således olika faser - gasformiga komponenter och partiklar som transporteras mot de kallare värmeöverförande ytorna. Under denna transport hinner mängder med reaktioner ske. De gasformiga komponenterna kan kondensera på askpartiklar och bilda en vätskeyta, askpartiklarna kan genomgå olika viskösa faser som en följd av temperaturreducering, partiklar kan slå sig samman och bilda större partiklar etc.

Beroende på askans form kommer olika mekanismer att vara avgörande för hur de dras mot en värmeöverförande yta och eventuellt stannar kvar. Små partiklar beter sig dock fysiskt som gasformiga ämnen. Beroende på askans sammansättning får vi ibland en avlagring på värmeöverförande ytor och ibland inte. Ofta används en klibbighetsbild för att generalisera beskrivningen. Om ”askan” är gasformig, eller delvis smält (mer än 15 % smälta), kan den stanna på ytan och utgöra fotfäste för ytterligare avlagringar. Detta är en förenklad bild men kan ändå användas för att illustrera delar av de biobränslerelaterade problemen. Avlagringen kan sedan börja växa på olika sätt och eftersom dess yttemperatur ökar med tjockleken kan andra (nya) ämnen stanna i den. Vid analys av avlagringar hittar man ofta helt skilda komponenter i de inre respektive

de yttre delarna. En bulkanalys ger ofta en flygaskliknande sammansättning, medan en mer detaljerad analys kan ge en bild av hur beläggningen uppstår.

Partikelns storlek har betydelse för hur den fastnar på tuben. Små partiklar sugs in mot tuben jämt fördelade över ytan (diffusion) medan stora partiklar ofta fastnar genom att de direkt krockar med tubytan (impaktion), se Figur.4.5.1.



Figur 4.5.1 Transport av askpartiklar till en yta (Hedley et al., Samms et al.1966)/Transportation of ash particles to a surface (Hedley et al., Samms et al. 1966)

Åtgärder

Ha en god förbränningskontroll så att förbränningen sker i eldstaden och inte fortsätter in i bakre drag så att överbäring av glödande partiklar undviks.

Utforma pannan så att rökgastemperaturen sänks innan första överhettaren t.ex. tomdrag i en avfallspanna. Se till att partiklarna inte träffar väggen/kylytorna genom att hålla låga hastigheter. En anläggning som dimensioneras för ett askrikt alkalihaltigt bränsle bör ha låga hastigheter i rökgaskanalerna, ha parallellställda tuber och helst inte kamflänsekonomiser. Om man i en anläggning byggd för ett ”snällare” bränsle eldar ett askrikt alkalihaltigt bränsle bör lastreduktion övervägas för att undvika beläggningsproblem.

Höga halter av klor i bränslet medför ökade risker för beläggningar. Beläggningsproblemen kan då minskas genom att välja bränslen med lägre klorinnehåll.

Minimera risken för att partiklar med låg smältpunkt bildas:

- *bind alkali*
  T.ex. genom samförbränning med torv eller genom med tillsats av kaolin eller annat lermineral. Sänk bottenbäddtemperaturen i en BFB så att mer alkali binds i bäddmaterialet.

- *sulfatering av alkaliklorider*
  T.ex. med tillsats sulfat som ersätter klorider i föreningen med alkali och bildar alkalisulfater. Alkalisulfater har en högre asksmältpunkt än alkaliklorider och fastnar inte lika lätt på tuberna utan återfinns i flygaskan.

- (En hypotes som inte är verifierad ännu är att ett partikelrikt (askrikt) bränsle kunna hjälpa till att transportera undan alkaliföreningarna till stoftavskiljningsutrustningen genom att flyktiga askkomponenter kondenserar ut på askpartiklar istället för på tuberna.)

Ha en väl fungerande och tillräckligt frekvent sotblåsning.

4.5.1 Korrosion på överhettare

Stål som utsätts för höga temperaturer i oxiderande atmosfär bildar ett termodynamiskt stabilt oxidskikt. Har man ett höglegerat kromstål blir oxidskiktet tätt och skyddande.
Vid förbränning av bränslen med höga halter av alkalimetaller såsom kalium (K) och natrium (Na) samt höga halter av klor (Cl) bildas klorinnehållande salter i form av KCl och NaCl. Dessa salter kan bryta ned det skyddande oxidskiktet och man riskerar korrosionsangrepp.

Konsekvensen av korrosion på överhettare är att tubtjockleken minskar genom materialavverkning. Vid för små marginaler enligt säkerhetsnormer måste tuberna bytas för att undvika tubläckage med kostsamma driftstopp som följd.

Korrosion på överhettare uppstår ofta som en kombination av höga materialtemperaturer, beläggningar som innehåller alkalikloridföreningar och reducerande atmosfär.

Korrosionsangreppen kan ha följande fem huvudförklaringar:
- Askans alkali och kloridinnehåll
- Askans smältpunkt
- Slutförbränningens effektivitet d.v.s. risk för reducerande förhållande eller överbäring av oförbrända partiklar.
- Yttemperaturen på överhettartuberna
- Obalanser på ång- och rökgassidan

Biobränsle innehåller alkali och klor men lite svavel jämfört med t.ex. kol och torv. Det innebär att det bildas korrosiva beläggningar av kaliumklorid som oftast är en orsak till överhettarkorrosion i biobränsleeldade anläggningar.

Materialtemperaturen är av avgörande betydelse för överhettarkorrosionen. Detta beror på att materialtemperaturen till stor del styr vilka komponenter som får möjlighet att kondensera/falla ut mot ytan samt att hastigheten för korrosionen ökar med ökande

temperatur. I vissa fall kan dock en ökad temperatur hindra alkaliklorider att kondensera ut på tuberna vilket minskar korrosionsangreppet.
Rökgastemperaturen har också inverkan på korrosionsrisken, då en hög temperatur kan få askpartiklarna att delvis smälta och fastna på det kallare tubmaterialet. Bildas det en smälta så ökar rörligheten för jonerna i beläggningen och korrosionshastigheten ökar. Smälta är dock inte nödvändig för att korrosion skall uppstå. Överbäring av brännbart material som ger slutförbränning vid överhettaren kan också ge denna negativa effekt.

Åtgärder

Klor och alkali innehållande beläggningar och hög materialtemperatur utgör själva förutsättningen för ett antal olika korrosionsreaktioner. I understökiometrisk miljö är dessutom risken stor att tubytans skyddande oxidskikt bryts ner. Kombinationen av hög materialtemperatur och understökiometrisk miljö kan ur korrosionssynpunkt vara helt förödande.

Det finns olika sätt att undvika för höga materialtemperaturer.[13] Med en anpassad konstruktion kan ångtemperaturen höjas utan att materialtemperaturen stiger. Följande åtgärder kan t.ex. göras vid konstruktion av nya pannor:

- Anpassning av den maximala ångtemperaturen.
- Placera den varmaste överhettaren så långt nedströms som möjligt eller använd medströms värmeväxling.
- Placera den varmaste överhettaren i sandlåset (om det är en CFB).
- Förstora eldstaden.
- Externa slutöverhettare som eldas med ett annat bränsle t.ex. naturgas, biogas …

I en befintlig panna kan följande göras för att minska risken för höga materialtemperaturer:

- Sänka rökgastemperaturen genom att:
  - sänka lasten (vilket sällan kan accepteras)
  - trimma luft-, rökgasrecirkulations- och bränsletillförsel
- Att modifiera överhettaren på en befintlig panna så att tuberna kyls bättre leder i regel till ökat tryckfall och är i många fall därför inte möjligt.

Om man vill minska överhettarkorrosionen genom att förändra de kemiska betingelserna, finns det några olika sätt att angripa problemet.

- Förändra rökgasen och/eller bäddmaterialets kemiska sammansättning för att minska effekten av alkalimetaller och klor (till exempel med additiv, samförbränning)
- Sulfatera bildade alkaliklorider eller undvik bildandet av alkaliklorider genom att tillsätta svavelgranuler, ammoniumsulfat eller samförbränna med svavelhaltigt bränsle.
- Transportera ut alkaliföreningarna genom att samförbränna med ett partikelrikt bränsle såsom slam eller torv.

- Välja överhettare i en annan ståltyp som bildar skyddande oxidskikt även i rökgasmiljöer med höga halter av alkali och klorider. Det innebär att man använder ståltyper med högre krom- och nickelhalter. I praktiken talar vi om högkromhaltiga ferritiska och austenitiska rostfria stål. Nickel och krom bildar salter med högre smältpunkter än järnsalter. Dessutom bildar krom ett tätare och mer skyddande oxidskikt än järn på tubens yta. Nya tubmaterial utvecklas kontinuerligt. Nackdelen med de nyare materialen är att de tenderar att vara dyra samt att de ofta är svårare att bearbeta (svetsa) än de konventionella [12]

4.5.2 Erosionsskador i eldstad och bakre drag

Erosionsskador uppstår genom för höga gashastigheter mot en viss yta och/eller för höga stofthalter i gasen som träffar ytan. Erosion orsakar materialförluster som kan leda till tubläckage.

För hög gashastighet kan tillfälligt uppstå genom igensättningar av värmeytor, vilket medför att gasen leds en annan väg än den avsedda. Passagen blir trängre med ökad gashastighet som följd.

För att förhindra uppkomst av erosion bör följande betänkas:

- Pannan skall konstrueras så att lämpliga rökgashastigheter erhålls.
- Varje förändring i pannkonstruktionen som stör strömningsbilden, exempelvis undanbockning av tuber, bör genomföras så att ut utsatta områden skyddas från erosionsskador, exempelvis genom keramisk infodring eller metallsprutning.
- Tuber bör hållas rena genom tillräckligt frekvent sotning för att förhindra bildande av beläggningar som kan orsaka igensättningar.

4.6 Rekommendationer till anläggningar

Det har i ovanstående text beskrivits hur bränslen som är rika på alkali kan orsaka problem i form av agglomerering av bädd och beläggningar på konvektionsytor. Det har även beskrivits metoder för att undvika alternativt att minimera dessa problem. Som råd till anläggningsägare ges här nedan ges en kortfattad sammanfattning av tidigare nämnda åtgärder.

Några rekommendationer för anläggningar som eldar alkalirika bränslen och har problem med bäddagglomerering och högtemperaturkorrosion är att:

- tillsätta aluminiuminnehållande additiv (förslagsvis kaolin) till bädden för att undvika agglomerering och sulfatinnehållande additiv (förslagsvis ammoniumsulfat) till rökgasen för att undvika korrosion på konvektionsytor.

- Samelda med rötslam för att undvika agglomerering och beläggningar/korrosion på konvektionsytor.
- Samelda med torv för att undvika agglomerering och beläggningar/korrosion på konvektionsytor. Det är dock viktigt att välja en torv med gynnsam sammansättning (svavelrik torv med hög askhalt men låg kalciumhalt).
- Om torv med kalciumrik aska förbränns så använd sulfatinnehållande additiv i rökgasen för att undvika korrosion.
- Om alternativa bäddmaterial används som minskar anrikningen av alkali i bädden och därmed ökar avgången av alkali från bädden (t.ex. Olivinsand, Hyttsand) så tillsätt sulfatinnehållande additiv i rökgasen för att undvika korrosion.
- Samförbränns avsvärtningsslam, eller annan restprodukt/bränsle med hög kalciumhalt, så kan sulfatinnehållande additiv i rökgasen behöva användas för att undvika korrosion.

4.7 Referenser

1 Davidsson K., Eskilsson D., Gyllenhammar M., Herstad Svärd S., Kassman H., Steenari B-M., Åmand L-E., *”Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem” etapp 1,* Värmeforsk rapport 997, 2006

2 Gyllenhammar M., Herstad Svärd S., Davidsson K., Åmand L-E., Steenari B-M.,Folkeson N., Pettersson J., Svensson J-E., Boss A., Johansson L., Kassman H., ”*Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem” etapp 2”,* Värmeforsk rapport1037, 2007

3 Herstad Svärd S, Åmand L-E, Bowalli J, Öhlin J, Steenari B-M, Pettersson J, Svensson J-E, Karlsson S, Larsson E, Johansson L-G, Davidsson K, Bäfver L , Almark M., ”*Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftsproblem” etapp 3”,* Värmeforsk rapport 1167, 2011

4 Steenari, B-M and Lindqvist, O,; *”High Temperature Reactions of Straw Ash and the Antisintering Additives Kaolin and Dolomite”*, Biomass and Bioenergy, 14, 67-68, 1998.

5 Tran K-Q., Steenari B-M, Iisa K., Lindqvist O.; *”Capture of Potassium and Cadmium by Kaolin in Oxidising and Reducing Atmospheres”*, Energy & Fuels, 18, 1870-1876, 2004

6 Tran K-Q., Iisa K.; Steenari B-M., Lindqvist O; *”A kinetic study of gaseous alkali capture by kaolin in the fixed bed reactor equipped with an alkali detector”* , Fuel, 84 (2-3), 169- 175, 2005

7 Grimm A., Skoglund N., Eriksson G., Boström D., Boman C., Öhman M. *”Effekter av fosfortillsats vid förbränning av biomassa”, Värmeforskrapport 1157, 2010*

8 Silvennoinen, J; ”*A new method to inhibit bed agglomeration problems in fluidised bed boilers”*, 17th International FBC Conference May 18-21 2003, Jacksonville, Florida USA

9 Zintl, F.; *”Sintring av bäddmaterial vid biobränsleeldning i CFB”,* Värmeforsk nr. 604, Stockholm februari 1997

10 De Geyter S., Eriksson M., Öhman M., Nordin A., Boström D., Berg M.; *”Skillnader i bäddagglomereringstendens mellan alternativa bäddmaterial och olika mineraler i natursand”*, Värmeforsk nr.920, Stockholm april 2005

11 Eklund A., Öhman M.; *”Fullskaleförsök med Hyttsand som bäddmaterial i en 12 MW avfallseldad BFB-panna”* Värmeforsk nr. 888, Stockholm augusti 2004.

12 Henderson P., Kjörk A., Ljung P., Nyström O., Skoglund E., *”Överhettarkorrosion i bioeldade anläggningar-Status”,* Värmeforskrapport nr.700, Stockholm juni 2000.

13 Thorson O.; *”Moderna panndata inom samförbränning”* Värmeforsk nr.868, Stockholm maj 2004.

5 Lagstiftning och skatter

Sveriges riksdag beslutar om lagar medan förordningar utfärdas av regeringen med stöd av bemyndigande i lag (eller balk). Bemyndigandet innebär att riksdagen med stöd av regeringsformen delegerat normgivningskompetensen inom ett visst område till regeringen. Bemyndigandet kan även innehålla en rätt för regeringen att delegera normgivningskompetensen vidare till en myndighet. I miljöbalken återfinns ett stort antal bemyndiganden som ger regeringen rätt att utfärda förordningar. Förordningar kungörs i svensk författningssamling (SFS). Ändringar förs in i databasen Svensk Lagsamling på Rättsnätet **PUBLIK**.

Olika myndigheter (Naturvårdsverket, Kemikalieinspektionen, Jordbruksverket, Energimyndigheten etc.) utfärdar Föreskrifter och Allmänna råd. För att en myndighet skall få meddela föreskrifter krävs nästan alltid att regeringen har gett myndigheten ett särskilt bemyndigande i en förordning. Rubriken på föreskriften ska innehålla myndighetens namn och ordet "föreskrifter". Inledningen skall innehålla bemyndigandet på vilket myndighetens beslutanderätt grundar sig. På så sätt är det möjligt att hitta den förordning som utgör grunden för en föreskrift.

Allmänna råd är sådana generella rekommendationer om tillämpningen av en författning (lag, förordning eller föreskrift) som anger hur någon kan eller bör handla i ett visst hänseende. De kan antingen sammanföras med en föreskrift eller upprättas fristående. Om de är sammanförda med författning skall det vara klart utmärkt vilka regler som är författningsföreskrifter och vilka som är allmänna råd.

Lagstiftning och skatter är "färskvara" vilket innebär att man alltid måste kontrollera att lagstiftningen (eller skatterna) inte har ändrats utan att de fortfarande gäller. Det är svårt att belysa de förändringar som sker i en handbok som Bränslehandboken. Tillsyns- och föreskriftsrådet har utmärkta sammanställningar för lagstiftning som rör Miljöbalken.
I figur 5.1 redovisas vad som gäller för Förbränning av avfall.

Förbränning av avfall

EU:s rättsakt
Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/76/EG av den 4 december 2000 om förbränning av avfall (upphör att gälla 2014-2016)
Fakta och historik
Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/75/EU av den 24 november 2010 om industriutsläpp (samordnade åtgärder för att förebygga och begränsa föroreningar) (omarbetning)
Fakta och historik
Ansvarigt departement och myndighet
Miljödepartementet
Naturvårdsverket
Svenska bestämmelser enligt miljöbalken
1. Miljöbalk SFS 1998:808
Fakta och historik
2. Förordning om avfallsförbränning SFS 2002:1060
Fakta och historik
3. Avfallsförordning 2011:927
Fakta och historik
4. Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd SFS 1998:899
Fakta och historik
5. Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning NFS 2002:28

Figur 5.1 Lagstiftning om förbränning av avfall. Från [1]/ Legislation on Waste Incineration

Nytt direktiv om utsläpp från industrier, IED

Sju direktiv om industriutsläpp slås samman till ett, industriemissionsdirektivet. Direktivet innehåller skärpningar för tillämpningen av bästa tillgängliga teknik och för utsläppsgränsvärdena för stora förbränningsanläggningar. Det nya direktivet, 2010/75/EU, industriemissionsdirektivet (IED), trädde i kraft den 6 januari 2011 och ska börja gälla för både nya och befintliga anläggningar 7 januari 2014

De sju direktiv som slås samman till IED är:

- IPPC-direktivet (2008/1/EG)
- Direktivet för stora förbränningsanläggningar (2001/80/EG)
- Direktivet för avfallsförbränning (2000/76/EG)
- Lösningsmedelsdirektivet (1999/13/EG)

samt (Tre direktiv för tillverkning av titandioxid (som inte finns i Sverige))

I väntan på att ny lagstiftning ska börja gälla inom hela EU så finns lagstiftning för förbränning av avfall, utsläpp från stora förbränningsanläggningar samt om animaliska biprodukter som inte är avsedda för livsmedel.

Aktuell Lagstiftning om Avfall

Europaparlamentet och rådet beslutade under hösten 2008 om ett nytt avfallsdirektiv (2008/98/EG). Reglerna införs i svensk lagstiftning under sommaren 2011. Det nya avfallsdirektivet innebär flera viktiga förändringar som nu har införts i femtonde kapitlet i miljöbalken och den nya avfallsförordningen.

Aktuell Lagstiftning om förbränning av avfall.

Kraven finns i en förordning (2002:1060) och i en föreskrift från Naturvårdsverket. Kraven gäller vid förbränning av de flesta sorters avfall, men vissa avfall är undantagna. Bland annat undantas rent träavfall och vegetabiliskt jordbruksavfall.
Kraven på förbränning av avfall är i korthet:

- Pannan måste vara specialbyggd för att förbränna avfall, med en lägsta temperatur på 850 C i minst 2 sekunder.
- Stränga utsläppskrav för en lång rad föroreningar. Detta innebär att högeffektiv reningsutrustning måste finnas.
- Utsläppen av många av föroreningarna måste mätas kontinuerligt, det vill säga hela tiden.
- Dessutom måste mätinstrumenten kontrolleras minst en gång per år av en oberoende kontrollant.

Aktuell Lagstiftning om stora förbränningsanläggningar

Dessa föreskrifter omfattar förbränning av fasta, flytande och gasformiga bränslen i förbränningsanläggningar med en installerad tillförd effekt på 50 MW eller mer. Förbränningsanläggningar där förbränningsprodukterna används direkt i tillverknings-processer omfattas inte. Bland annat omfattas inte skogsindustrins lutpannor.

Förordning om animaliska biprodukter som inte är avsedda som livsmedel

EU:s lagstiftning om animaliska biprodukter och framställda produkter består av två förordningar som ofta kallas för ABP-förordningarna. Förordningarna är direkt tillämpliga i Sverige och i hela övriga EU.

KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) nr 142/2011 av den 25 februari 2011 om genomförande av Europaparlamentets och rådet förordning (EG) nr 1069/2009 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter och därav framställda produkter som inte är avsedda att användas som livsmedel

Denna lag ställer upp speciella regler för förbränning av djurkroppar, som bland annat innebär att hantering av produkterna måste ske på ett sådant sätt att inget kan läcka ut till mark och vatten. Bestämmelser för förbränning liknar förbränning av avfall med uppehållstid vid 850°C i 2 sekunder.

IPPC Integrated Pollution Prevention and Control
För industrier inom EU gäller det så kallade IPPC-direktivet. Det har införts i Sverige genom miljöbalken. IPPC-direktivet gäller dock bara för stora och medelstora industrier. Miljöbalken gäller för alla industrier i Sverige.

Lag 2003:113 om elcertifikat
Lagen om elcertifikat innebär att för varje MWh el producerad med biobränslen erhålls ett elcertifikat. Detta kan säljas och ge en inkomst till anläggningsägaren. Lagen innehåller bestämmelser om dels en rätt för producenter av förnybar el att bli tilldelade elcertifikat av staten, dels en skyldighet för elanvändare att inneha elcertifikat i förhållande till sin förbrukning av el.

Lag 2004:1199 om utsläppsrätter
EU införde 2005 ett system för handel med utsläppsrätter som omfattar utsläpp av koldioxid från fossila bränslen som kol, olja, naturgas etc. Lagen går ut på att man måste inneha utsläppsrätter som motsvarar den mängd koldioxid som man släpper ut. Om man minskar sina utsläpp kan man sälja sina utsläppsrätter. Priset har varierat mellan 7 och 30 euro/ton.

Lag 1990:613 om NOx-avgifter
NO_x-avgifter betalas för mätta eller beräknade utsläpp från större anläggningar för värme- och kraftproduktion. Den inbetalda avgiften går tillbaka till avgiftskollektivet i proportion till deras andel av den nyttiggjorda energin. Kväveoxidavgiften (avgift 2011 50kr/kg NO_2) tas ut för pannor och gasturbiner med nyttiggjord energi på mer än 25 GWh/år.

Lag 1994:1776 om skatt på energi
Energiskatt och koldioxidskatt betalas för fossila bränslen samt råtallolja om dessa bränslen används för el- och värmeproduktion. Biobränslen och torv beskattas inte. Det finns många undantag som kan ge skattebefrielse. Full koldioxidavgift för 2011 är 110 öre/kg koldioxid. En enhetlig energiskatt på fossila bränslen infördes 1 januari 2011 på 8 öre/KWh.

Svavelskatt tas ut på bränslen med svavelhalter över 0,05 %. Svavelskatten är 2011 30 kr/kg svavel vid förbränning av fasta fossila bränslen och torv. För flytande bränslen gäller 27 kr/m^3 för varje tiondedels viktprocent svavel i bränslet.

Punktskatter
Med punktskatt avses bland annat energiskatt, koldioxidskatt, svavelskatt, naturgrusskatt och avfallsskatt. Skatteverket är beskattningsmyndighet för punktskatter. Aktuella punktskatter finns på Skatteverkets hemsida.

Lag 1999:673 om skatt på avfall
Skatt skall betalas för avfall om mer än 50 ton/år förs in till en avfallsanläggning för att slutligt förvaras (deponeras) eller förvaras under längre tid än tre år. Direktavdrag medges för skatt på avfall som är avsett för sluttäckning inom en avfallsanläggning.

Aktuell skattesats 2011 är 435 kr/ton. Mer information finns på skatteverkets hemsida

Lag 1995:1667 om skatt på naturgrus
Den som exploaterar en täkt som kräver tillstånd enligt naturvårdslagen, vattenlagen eller väglagen är skattskyldig. Aktuell skattesats 2011 är 13 kr/ton. Mer information finns på skatteverkets hemsida

5.1 Referenser

1 Från Tillsyns och föreskriftsrådets hemsida.
http://www.tofr.info/Huvudingangar1/EU-register/Luft/Forbranning-av-avfall/

6 Bakgrund/Teori: Metoder för att bedöma förbränningsegenskaper

Ett bränsles förbränningsegenskaper beror av flera kemiska och fysikaliska förhållanden som är unika eller kopplade. Dessa egenskaper kan också göra bränslet mer eller mindre lämpligt att elda i vissa typer av utrustningar. Tillräcklig information måste finnas tillgänglig för optimal användning av ett bränsle med hänsyn till verkningsgrad, miljöpåverkan och ekonomi.

Om endast ett slags bränsle används räcker det oftast att karakterisera bränslet någon enstaka gång och fortlöpande endast bestämma t.ex. fukthalten. Om däremot olika bränslen används kompliceras bilden avsevärt och fortlöpande karakteriseringar av ingående bränslen kan vara nödvändigt.

För samtliga bestämningar av såväl kemiska som fysikaliska parametrar är det av största betydelse att provtagning och provbehandling är utförd på korrekt sätt innan respektive analys. Gemensamma Europeiska standardiserade metoder för provtagning och provbehandling standarder finns framtagna för både fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. (se kapitel 9). Det ska upprättas både en provtagnings- och en provbehandlingsplan för att säkerställa att varje enskild partikel har lika stor chans att ingå i analysproven. Bränslets ursprung och storlek, samt provtagningsplatsen (lastbil, hög etc.) avgör hur provtagning, neddelning av proverna samt provbehandlingen ska utföras. I Värmeforsk rapport nr 937 Mäthandboken upplaga 3 (2005) ingår ett avsnitt om provtagning av fasta material som bränslen och askor.

Bränslets värmevärde är kanske den mest betydelsefulla parameter som bestämmer hur mycket energi vi kan ta ut men också vilken teoretisk förbränningstemperatur som kan uppnås. Värmevärdet bestäms inte bara av den kemiska uppbyggnaden av bränslet utan också innehållet av värmekrävande ytterligare material till exempel askhalt och fuktighet. Ur praktisk synpunkt är bränslepartiklarnas storlek och storleksfördelning av stor betydelse. Ett bränsle som i sitt normaltillstånd har mycket små partiklar lämpar sig ju dåligt att eldas på en rost, kan eventuellt eldas i en fluidbädd och kan vara mycket lämpligt för pulvereldning.

I detta avsnitt behandlas de olika bränsleparametrarna, hur de kan undersökas och något om de standarder som finns.

6.1 Kemisk karakterisering

Kemisk analys görs rutinmässigt mer eller mindre fullständigt. Det är vanligt att bara fukthalt och askhalt bestäms, ofta infogas värmevärde och kväve- och svavelhalt i analysen. Ibland analyseras även klorhalt och spårämnen.

6.1.1 Fukthalt

Fukthalten är den parameter som mest påverkar värmevärdet hos ett bränsle. Prissättningen på bränslen är därför ofta relaterad till fukthalten. En hög fukthalt kan också medföra att förbränningstemperaturen sjunker men att rökgasvolymen ökar, vilket

förflyttar värmeupptagningen från eldstaden till konvektionsstråket. Den ökade rökgas-volymen kan också medföra att den uttagna panneffekten reduceras på grund av den förändrade värmeupptagningen.

6.1.1.1 Standarder för fukthalt

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för fukthaltsbestämning i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

I enkelhet går metoderna ut på att ett bränsleprov vägs in i en lämplig behållare, utsätts för uppvärmning till en förvald temperatur och en förvald tid och sedan vägs igen. Metoderna måste föregås av en korrekt provtagning, provneddelning och behandling. Var speciellt uppmärksam på att partikelstorleken har avgörande betydelse för resultatet av fukthaltsbestämningen. Avvikelser i partikelstorlek jämfört med standard ska antecknas i analysprotokollet.

6.1.1.2 Fukt i biobränslen

Vatteninnehållet i biobränsle kan delas upp tre kategorier:

1. Bulkvatten
2. Kapillärvatten
3. Absorberat vatten

Bulkvatten är vatten som befinner sig i stora kaviteter i partiklarna eller som väter partiklarnas ytterytor och är inte kemiskt eller på annat sätt bundet till bränslet. Kapillärvatten är vatten som befinner sig i partiklarnas finare porer. Det är något starkare bundet till bränslepartiklarna än bulkvattnet tack vare kapillärkrafter. Absorberat vatten är fukt som är starkt bundet till bränslet tack vare intermolekylära krafter.

6.1.1.3 On-Line fukthaltsbestämning NIR

Fukthaltsmätning på biobränsle sker normalt genom manuell provtagning med efterföljande gravimetrisk bestämning på lab så som beskrivits i6.1.1.1. Den kritiska delen av den gravimetriska metoden är den manuella provtagningen som är behäftad med flertal tänkbara felkällor:

- Heterogent material, vilket gör det svårt att ta representativa prover
- Man tar sällan många prov på varje leverans av bränsle
- Fukthalten i t.ex. ett lastbilslass kan variera mellan yta och bulk.

En ny icke berörande fukthaltsmätning med NIR-spektroskopi har tagits fram inom Värmeforsks fukthaltsprogram se bl.a. 123. Den ickeberörande spektroskopin sker med hjälp av en ljuskälla och en detektor och mäter den andel av ljuset som absorberas i ett prov vid olika våglängder inom NIR-området (nära infrarött). Dessa absorbtionsmönster

kan sedan korreleras till provets egenskaper t.ex. fukthalt m h a multivariata kalibreringsmetoder.

Metoden innebär en on-linemätning av fukthalten och kan användas för att bestämma fukthalten vid bränslemottagning genom att sticka ner lansar på flertalet ställen t.ex. i ett lastbilslass. Metoden kan även användas för kontinuerlig fukthaltsmätning av bränslet på ett ingående transportband. Metoden har följande fördelar:

- Tekniken är ickeberörande och kräver i de flesta fall ingen manuell bearbetning av det material som skall analyseras.
- Metoderna går att automatisera varför det går att undvika manuell bearbetning och tolkning av data.
- Provresultaten erhålls i det närmaste momentant, ofta inom några sekunder, medan manuell karakterisering ibland kräver dygn från provtagning till att ett färdigt mätresultat erhålls.
- Provtagningsfrekvensen kan hållas hög eftersom den rörliga mät- och analyskostnaden är försumbar. Det går att mäta regelbundet på rörliga prov, vilket väsentligt ökar möjligheterna att erhålla representativa prov vid mätning på heterogena material.
- Optiska fibrer kan användas, vilket gör det möjligt att mäta vid positioner med besvärliga förhållanden.

6.1.1.4 Torkning av biobränslen

Torkning av bränsle i ugn vid 105ºC driver av bulkvatten och i viss utsträckning kapillärvatten men absorberat vatten kräver högre temperaturer (120-130ºC). I fuktiga biobränslen med 40-60% fukt dominerar bulkvattnet varför torkning och vägning vid 105ºC ger en god indikation på fuktinnehållet. Undantaget är större vedstycken där bulkvatten kan inneslutas och bygga upp höga tryck i stället för att avges vid strax över 100ºC. Det finns exempel från litteraturen där temperaturer upp till 150ºC uppmätts inne i vedstycken som inte varit färdigtorkade vilket motsvarar ångtryck på ca 5 bar(a).

6.1.2 Askhalt

Askhalten är av stor betydelse för hur väl ett bränsle fungerar i en anläggning. Höga askhalter medför ökade kostnader för askhanteringssystem samt även för deponering av bildade askor.

6.1.2.1 Standarder för aska

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för bestämning av aska i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

Vid askhaltsmätning i fasta mineral bränslen (ISO 1171:2010) används standardmässigt 815ºC.

Biobränslen innehåller dock askbildande ämnen t.ex. alkaliklorider som blir flyktiga redan vid lägre temperaturer. Dessa ämnen är viktiga för askhalten av både viktmässiga och kemiska skäl. 550ºC har valts som en kompromiss då förångningen av sådana ämnen fortfarande är liten samtidigt som en förbränning av bränsleprovet ändå kan säkerställas.

6.1.2.2 Metod för bestämning av askhalt

Metoderna är i grunden desamma som för bestämning av fukthalt. Provet vägs, utsätts för uppvärmning, hålls vid en standardiserad temperatur under en standardiserad tid och vägs sedan igen. Oftast genomförs en fukthaltbestämning på samma prov innan man går vidare med askhaltsbestämningen på det torkade provet. Bestämningarna kan då samordnas i samma arbetsgång. Askhaltsbestämningen är känslig för systematiska fel.

6.1.3 Värmevärde

Värmevärdet bestämmer bränslets användbarhet i olika förbränningssituationer. Pulverpannor kräver som regel ett högre värmevärde medan rost- och FB-pannor också kan använda bränslen med lägre värmevärde. Vid bestämning av värmevärde mäter man det kalorimetriska värmevärdet inklusive vattnets kondensationsvärme under standardiserade former. Det effektiva värmevärdet beräknas.

6.1.3.1 Standarder

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för bestämning av värmevärde i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

6.1.3.2 Teknik för bestämning av värmevärde

Standardmetoden är förbränning av ett bränsleprov i en sluten bombkalorimeter under förhöjt tryck:

- Bombkalorimetern är ett slutet system. Metoden arbetar vid konstant volym, vilket utom temperaturhöjning även innebär en tryckökning under försöket. Detta innebär höga krav på material, konstruktion, täthet och säkerhetsrutiner.
- Referenstemperaturen är 25ºC.
- Kalorimetern kalibreras med bensoesyra.
- Förbränningen sker i syreatmosfär vid ett bestämt initialt minimitryck.
- Höga krav ställs på renhet. Värmeisolering, säkerhet (tryckbehållare) och temperaturmätning.
- Detta krävs för arbete under konstant volym men också för att vätskekondensatet efter försöket kan tas om hand och analyseras fullständigt.

- Själva bomben (förbränningsrummet) placeras i en inneslutning med vatten (vattenmantel, vattenreservoar), som tar upp värmen och vars uppvärmning mäts. Vattnet rörs om väl för ett konstant upptag av reaktionsvärmen.
- Bombkalorimetern innehåll antänds med ett elektriskt system (värmetråd).
- Temperaturökningen i vattnet i inneslutningen mäts och utvärderas. Dynamiska effekter som avsvalning (överlagrar temperaturkurvan) och liknande kalibreras. Alternativt kyls vattnet av en termostat som försöker hålla vattentemperaturen konstant. Istället mäts då kylbehovet.

6.1.4 Flykthalt

Flykthalten har stor betydelse för hur bränslet kommer att bete sig under förbränningen. Ett bränsle med hög flykthalt kommer till exempel att ha förbränningsförlopp som till stor del består av uppvärmning-avgasning och förbränning i gasfas. Å andra sidan sker förbränningen av bränslen med låg flykthalt huvudsakligen i fast fas på själva bränslepartikelns yta eller i bränslebädden. De flesta biobränslen har en hög flykthalt. Exempel på bränslen med låg flykthalt är olika typer av bituminösa och antracitiska kol. Flykthalten har stor betydelse för utformningen av förbränningsutrustningen och hur luften skall tillföras.

6.1.4.1 Standarder

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för bestämning av flyktiga ämnen i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

6.1.4.2 Teknik för bestämning av flykthalt

Flykthalten bestäms som massförlusten av provet när bränslet hettas upp i frånvaro av luft under standardiserade betingelser. Det är viktigt att upphettningshastigheten, sluttemperaturen och övriga betingelser är noggrant kontrollerade. Passningen av locket till degeln är kritisk för att undvika att provet oxideras genom luftkontakt. Metoden går i korthet ut på att provet värms, utan luft närvarande, till 900°C ± 10°C under 7 min. Andelen flyktiga föreningar beräknas ur viktsförlusten av provet när fukthalten är borträknad.

Termogravimetrisk analys (TGA) är en mer raffinerad metod som kan används för bestämning av fukt, flykt och kokshalten i fasta bränslen. Metoden innebär att ett bränsleprov upphettas och vikten av provet under upphettningen registreras som funktion av tiden. Viktsminskning i temperaturer nära 100°C visar fuktinnehållet i provet. Bestämning av flykthalten utförs i en inert atmosfär, vanligen kväve eller helium. Den här metoden ger samtidigt information om bränslets reaktivitet vilket är av stor betydelse i förbränningssammanhang. Återstoden då provet har nått en stabil vikt i hög temperatur består av koks och aska.

6.1.5 Kemisk sammansättning

Den kemiska sammansättningen hos bränslen brukar delas upp i elementaranalys, huvudkomponenter och spårämnen.

6.1.5.1 Standarder

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för bestämning av kemisk sammansättning i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

Metoderna innebär att man gör en uppslutning av provet i ett slutet kärl med hjälp av reagens, temperatur och tryck. Uppslutningen utförs antingen med bränslet eller med aska framställd enligt standardiserad metod vid 550°C.

Analysen av respektive element utförs med standardiserade metoder. Det finns olika metoder men samtliga innebär användning av kvalificerade analysinstrument, vilket innebär att proven inte kan analyseras på plats utan måste skickas till specialiserade laboratorium.

6.1.5.2 Elementaranalys

Med en analys av elementarsammansättningen kan man kontrollera värmevärden, beräkna rökgasflöden, luftmängd och rökgassammansättning. Elementarsammansättning omfattar analys av kol, väte och kväve. Svavel och klor bör också ingå för en fullständig analys. Syrehalten beräknas. De allra flesta biobränslen består av 50 % kol, 6 % väte och ca 40 % syre. De stora variationerna återfinns i kväve-, svavel- och klorhalt. De senare är också de parametrar som kan förorsaka problem både i pannan och med emissioner från anläggningen. Ofta analyseras inte svavel och klor rutinartat. Svavel och i synnerhet klor har dock en viktig roll i askrelaterade problem i anläggningarna, främst påslagsbildning, korrosion och dioxinbildning. Därför bör dessa nyckelkomponenter alltid analyseras så snart det finns skäl att anta att något av dessa problem kan förväntas.

6.1.6 Huvudkomponenter

Som huvudkomponenter betraktas som regel Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na, Ti samt även Mn och Ba. Många av dessa element är problematiska i förbränningssammanhang.

6.1.7 Spårämnen

Som spårämnen betraktas de oorganiska föreningar som ingår i låga halter. Många av tungmetallerna ingår i denna grupp. I vanliga biobränslen är halterna oftast låga, men för vissa returbränslen kan halterna vara höga. De vanligaste spårämnena som analyseras i bränslen/bränsleaskor är Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Voch Zn.

6.1.8 Bestämning av andelen biomassa i bränsle

För avfallsbränslen (återvunna bränslen) är det viktigt att andelen biomassa i bränslet är känd för beräkning av elcertifikat. SS-EN 15440:2011 är gällande Europastandard som anger hur andelen biomassa i återvunna bränslen bestäms efter vikt, energiinnehåll eller kolinnehåll. Tabell 9.1.1. Det finns även en teknisk rapport om skillnaden mellan den bionedbrytbara och den biogena fraktionen. (SIS-CEN/TR 14980:2006)

6.2 Fysikaliska bestämningar

Exempel på fysikaliska egenskaper hos bränslen är partikelstorlek och partikelform, matningsegenskaper och hållbarhet, malbarhet (Hardgrove index), densitet, damning och reaktivitet.

6.2.1 Partikelstorlek och partikelform

Partikelstorlek och partikelform beror av beredningsmetod och bränslets morfologi innan beredning. Bränsle som ursprungligen härrör från biomassa har ofta en utpräglat anisotrop struktur (dvs. materialet har olika egenskaper i olika riktningar) som har sitt ursprung i att växter och träds sätt att bygga upp långsmala celler som är orienterade i stammens längdriktning.

6.2.1.1 Partikelstorlekens betydelse på förbränningsbilden

I rostpannor har man visat att en ökad andel finfraktion i bränslet ökar risken för medryckning och därmed också risken för påslag. Samtidigt finns det stora variationer mellan olika eldstäder vilket gör att det under vissa driftfall finns risk för kraftig medryckning även för större partiklar.

I pulvereldade pannor är partikelstorlekens betydelse på förbränningsbilden något osäker. Experimentella undersökningar visar att en minskning av pulverstorleken från 1 mm till 0,5 mm endast har en marginell effekt på förbränningen. Men erfarenheter från anläggningar där man själv kan styra partikelstorleken genom malning är att minskad partikelstorlek ger en stabilare flamma och bättre utbränning. När det gäller förändringar i finfraktion (< 100 μm) är det mycket troligt att detta påverkar resultaten. En för stor andel fint material kan dock påverka och försämra matningsegenskaperna vilket kan motverka de positiva effekterna, vilket kan vara en orsak till motsägelsefulla resultat från olika undersökningar.

6.2.1.2 Standarder

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för bestämning av partikelstorlek i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

6.2.1.3 Metoder för bestämning av partikelstorlek

När storleksfördelningen i ett biopulverbränsle skall analyseras måste det baseras på mätning av egenskaper hos partiklarna. Egenskaper som kan påverka mätningen på ett eller annat sätt är:

- Längdmått - största/minsta tvärsnitt.
- Formen – sfär, kub, sticka, flak, etc.
- Materialegenskaper – färg, ytstruktur, densitet, "kladdighet" vid lagring & matning
- Effektiv yta - t.ex. porositet

Partikelstorleken mäts med ett flertal olika metoder skaksiktar, laserdiffraktion, bildanalys och aerodynamiska mätmetoder.

Siktanalys
Vanligast och enklast är siktanalys med skaksiktar. Konventionell analys med skaksiktar innebär att partiklarna jämförs med en geometrisk referens; fyrkantsmaskor, slitsar eller runda hål. Metoden är relativt billig och snabb. Sikttiden är vanligen 20 minuter.

Denna metod är endast helt rättvisande för helt sfäriska partiklar och acceptabel för kubiska. Metoden är mindre lämplig för material med avlånga korn som torv och träflis.

Torrsiktning används ned till ca 44 μm, därunder används våtsiktning. Siktningstiden är avgörande för resultatet när avlånga partiklar siktas. Inom energisektorn är skaksiktning vanligast oavsett bränsleslag.

Laserdiffraktion
Laserdiffraktion som metod för att bestämma partikelstorlek började användas i mitten av 1970-talet. Tekniken baseras på att laserljusets diffraktion är omvänt proportionell mot partikelstorleken. Utrustning för laserdiffraktion består av en laserkälla, en detektionsenhet och en matningsanordning för pulver. Partikelstorlekar mellan 0,1-2000 μm kan mätas.

Laserdiffraktion är lämpligast för sfäriska och kubiska partiklar. För långsträckta partiklar behöver man känna till någon erfarenhetsmässig formfaktor.

Bildanalys
Bildanalys är en metod att från en två-dimensionell bild tolka en tredimensionell partikelsamlings storleksfördelning. Mikroskopering har länge använts för att bedöma kornstorlek, fibrers längd mm. Ett tidsödande arbete där den stora felkällan har varit att endast några få bilder kunnat undersökas, vilket har inneburit en stor risk att man missat partiklar eller att man sett tvärsnitt så att cylindriska partiklar tolkats som sfäriska.

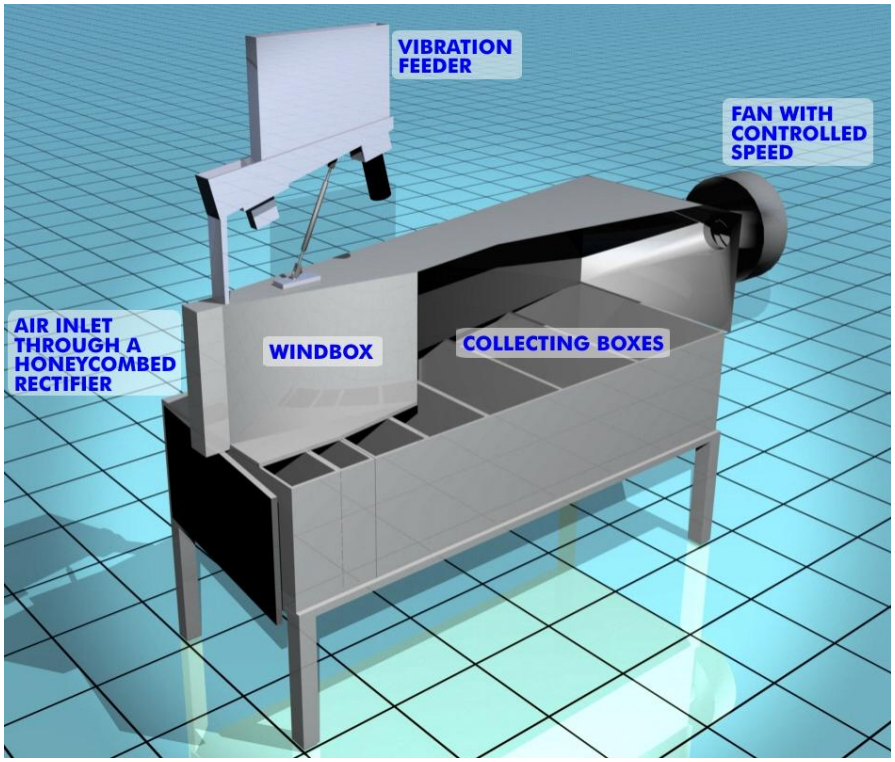
Numera finns automatiska bildanalyssystem som använder digital bildbehandling, som med hjälp av datorer kan analysera och tolka ett stort antal bilder. 20 bilder bör

användas för att få tillräcklig säkerhetsmarginal. Bilderna kan komma direkt från en videokamera eller från mikroskop. Analysen är snabb och resultaten presenteras i form av siffervärden eller tabeller.

Metoden är lämplig för trädbränslen, som tack vare sin färg ger bra kontraster vid bildanalysen. Kol och kalk/dolomit fungerar sämre då färgen gör att det är svårt att få bra kontrast.

Aerodynamiska metoder

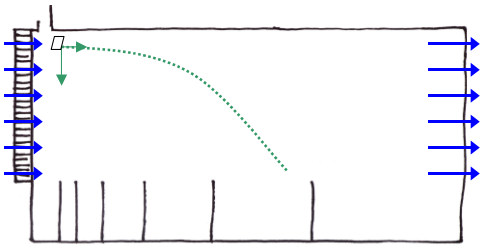
Aeroklass-siktning innebär att man bestämmer pulvrets aerodynamiska storleksfördelning vilket har större betydelse för förbränningen än den ”geometriska” storleksfördelning som bestäms med skaksikt. I *Figur 6.2.1* syns TPS Aeroklasser med den vibrerande partikelmatningen ovanpå vindlådan, och fläkten monterad vid utloppet på högersidan. Fläkten kontrollerar flödet genom vindlådan ovanpå de sju insamlingslådorna där partiklarna samlas beroende på densitet och partikelform. Insamlingslådorna vägs före och efter testet och innehållet i varje låda bestäms. De aerodynamiska egenskaperna för de testade proven blir karakteriserade i åtta fraktioner, en för varje låda samt en åttonde (dammfraktionen) som skillnaden mellan ursprungsmängden och summan av innehållet i de sju lådorna.



Figur 6.2.1 TPS Aeroklasser.
The TPS Aeroklass.

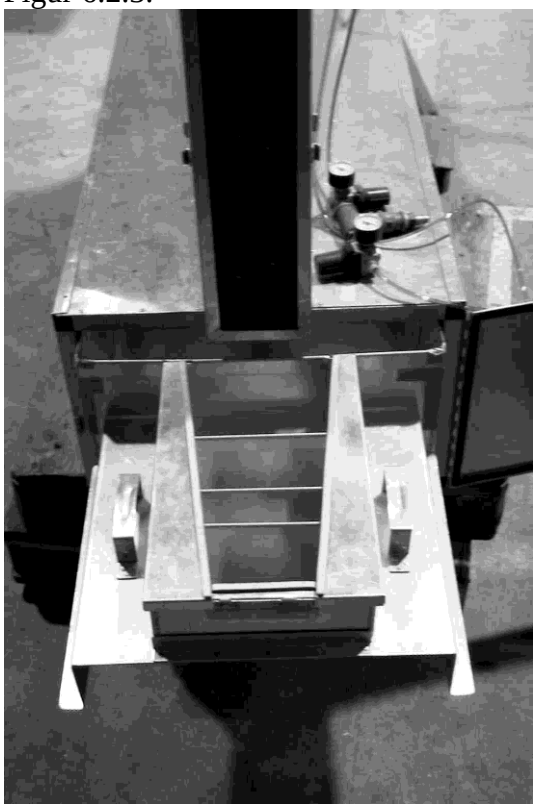
Principen för TPS Aeroklasser visas i Figur 6.2.2. Den horisontella luftströmmen i vindlådan (blå pilar) separerar de fallande partiklarna. Den horisontella sträckan som

partiklarna transporteras (gröna pilar) bestäms av ingångshastighet hos partiklarna, lufthastigheten samt av partikeldensiteten.



Figur 6.2.2 Princip för TPS Aeroklasser. Blå pilar visar strömningen för luften. Gröna pilar visar partiklarnas rörelse.
Principle for TPS Aeroklasser. Blue arrows indicate the air flow. Green arrows show the movement of the particles.

Insamlingslådorna för de finaste fraktionerna (låda 1-4) är delvis försedda med täckplåtar för att undvika störande strömning och förlust av material i de dessa lådor, se Figur 6.2.3.



Figur 6.2.3 Insamlingslådor nr 1-4 i TPS Aeroklasser.
Collecting boxes no 1-4, TPS Aeroklasser.

6.2.2 Matningsegenskaper och hållbarhet

Ett bränsles matningsegenskaper och hållbarhet beror främst av beredningssätt och fukthalt. Hög fukthalt (>30% fukt) skapar förutsättning för mikrobiell nedbrytning orsakad av bakterier och mögelsvampar. Mikrobiell nedbrytning förbrukar brännbar

substans, kan ge arbetsmiljöproblem och orsakar värmeutveckling som kan leda till självantändning. Som exempel kan nämnas att fuktig bark normalt bör förbrukas inom en månad eller två efter att det lagts på hög för att inte riskera problem med självantändning och arbetsmiljö. Torkade bränslen som pellets och bränsle berett av torkat virke har generellt betydligt bättre lagringsbeständighet. Lagring kan dock påverka exempelvis pellets malbarhet.

Bränslematning med blåsledning lämpar sig främst för torra finfördelade bränslen som pulver och krossade pellets. Att mata och transportera fuktigt och grovt bränsle med blåsledning är betydligt mer energikrävande än att använda sig transportband, skruvmatning och stoker-matning. Generellt skapar blåsledningar betydligt större bullerproblem än transportband, skruvmatning och stoker-matning.

Hög fukthalt ger i allmänhet ”kladdigare” och mera kompakt bränsle vilket kan vara svårare att mata jämnt in till pannan. Inblandning av ett torrare bränsle kan då ge en jämnare bränsleinmatning.

Själva blandningen av olika bränsleslag är dock inte alltid oproblematisk. Generellt vill man helst ha någorlunda lika partikelstorlek och form. Att exempelvis blanda ett stickigt bränsle som krossat returträ med grovrivet papper kan ge upphov till skiktningar svåra matningsproblem från bränslefickan.

6.2.2.1 Hållfasthet hos pellets och briketter

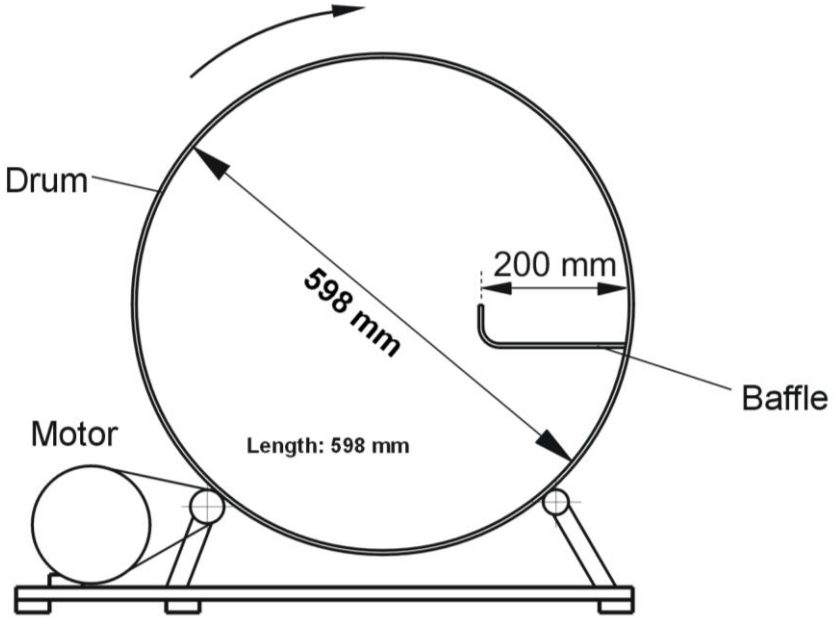
Hållfastheten hos pellets och briketter är viktig för både bränslets förbrännings-egenskaper som för arbetsmiljön. Vid dålig hållfasthet ökar andelen fina partiklar in till pannan vilket kan ge problem med medryckning och dålig utbränning/förbränning för högt upp i pannan. Damning kan också orsaka problem för de arbetare som ska hantera pellets och briketter.

6.2.2.2 Standarder

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för bestämning av hållfasthet och densitet i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

6.2.2.3 Metoder för bestämning av hållfasthet

Metoderna bygger på att bränslet placeras i en standardiserad behållare som roteras med en bestämd hastighet och bestämt antal varv, varefter andelen material fint material siktas och vägs, se Figur 6.2.4.



Figur 6.2.4 Exempel på utrustning för bestämning av hållfasthet hos briketter. Principle of the durability drum.

Det är viktigt för metodernas reproducerbarhet att provtagning, provbehandling, fukthalt samt siktning av proven sker enligt standardiserade metoder.

6.2.3 Flytbarhet

Flytbarheten hos ett bränsle påverkar matningsegenskaperna och därmed även förbränningen. Bränslematningssystemen måste anpassas till olika bränslens flytegenskaper för att få god förbränning.

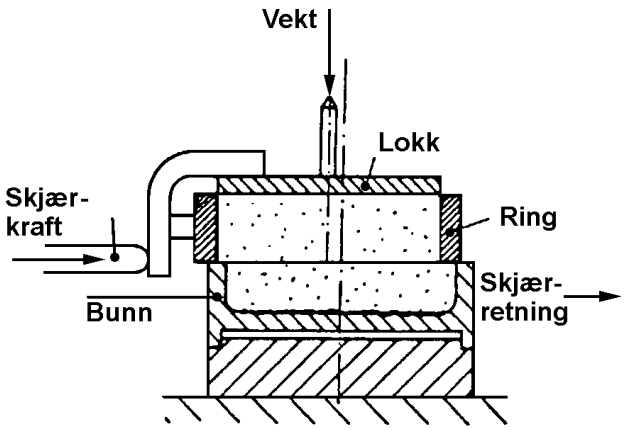
6.2.3.1 Standarder

Det finns i dagsläget (2011) inga officiella standarder för bestämning av flytegenskaper. Standardisering pågår inom EU för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Det finns en teknisk specifikation SIS-CEN/TS 15406:2008 Fasta återvunna bränslen-Metoder för bestämning av valvbildningsegenskaper i bulkmaterial. (se kapitel 8.1).

6.2.3.2 Metoder för bestämning av flytbarhet

Janikes skjuvcell

Denna test ger ett värde på friktionen mellan pulver och väggmaterial, något som kommersiellt används vid bland annat silodimensionering. Pulvrets matningsegenskaper beror till stor del på detta. Figur 6.2.5 nedan visar en schematisk bild av Janikes skjuvcell.



Figur 6.2.5 Janikes skjuvcell, en metod att bedöma friktion mellan pulver och väggmaterial. [4].Janikes test, a method to predict the friction between powder and the wall.

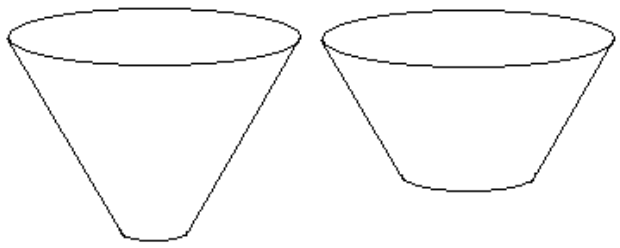
Förenklat fungerar denna metod på följande sätt:

- Provet packas under kontrollerade former i skjuvcellen, vilken består av två ringar som kan skjutas i förhållande till varandra.
- En vertikal last läggs på locket.
- En horisontell kraft läggs sedan på den övre delen av cellen och den maximala skjuvkraften som krävs för att få ringen att röra sig mäts.
- Försöket upprepas som ovan, men med en annan vertikal last.

Denna metod bör i ett förenklat utförande kunna användas i fält. POSTEC [4] utför försök med denna typ av skjuvcell.

SLUs "trattmetod"

På SLU utvecklar man en metod för testning av bränslepulver [3] som baserar sig på trattar med varierande utloppsöppning, se Figur 6.2.6. Detta är en enkel och billig metod för att testa pulvrens flyt- och valvningsegenskaper i praktisk drift. Ett förfarande av den här typen rekommenderas också av POSTEC.



Figur 6.2.6 SLUs trattar, en metod att undersöka pulvrens flyt- och valvningsegenskaper. SLUs method for determination of bridging properties of bio powder.

Förenklat så fungerar denna metod på följande sätt:

- Provet packas på ett kontrollerbart och repeterbart sätt i trattarna med utloppsöppningen stängd.
- Trattarnas öppning öppnas och den minsta öppningen som pulvret rinner ut genom noteras.
- Försöket upprepas tre gånger med varje pulver.

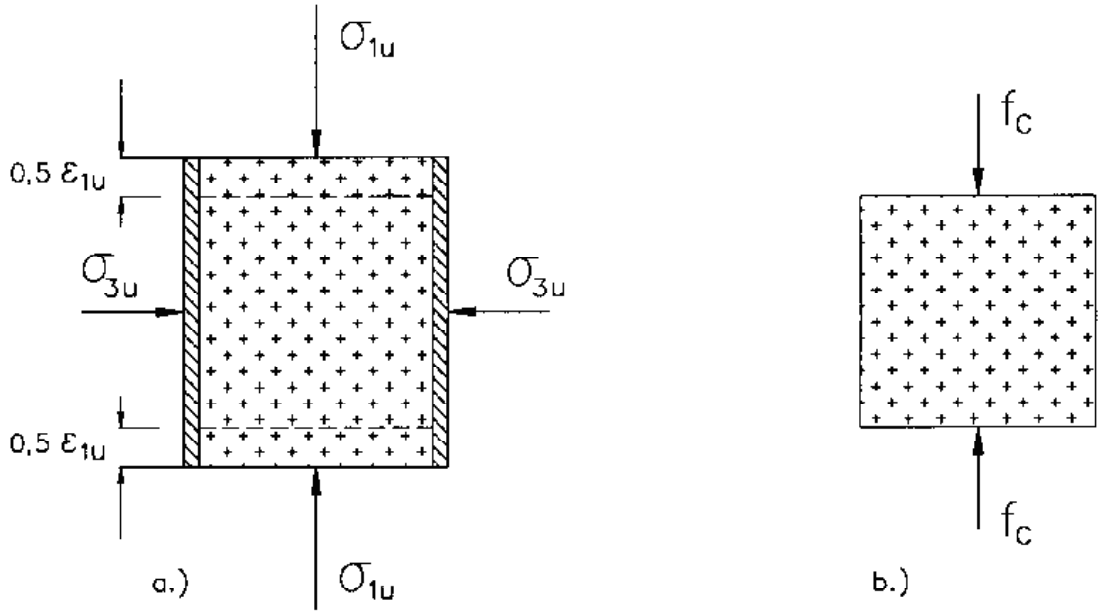
Uniaxialtestet

Uniaxialtestet, Figur 6.2.7 används för att bedöma pulvrens flytegenskaper och benägenhet att klumpa ihop och packa sig [2, 4]. Metoden baseras på att ett cylindriskt prov trycks ihop uniaxiellt. Den tryckkraft som sedan behövs för att provkroppen ska falla sönder visar pulvrets egenskaper.

Förenklat fungerar metoden som följer:

- Provet packas till en cylinder under kontrollerade former.
- En spänning läggs på provcylindern i en riktning (vanligtvis vertikalt).
- Provets förmåga att motstå tryck mäts.

Denna metod kräver att materialet har tillräcklig kohesion (förmåga att hålla ihop) för att kunna packas till en fristående cylinder.



Figur 6.2.7 Uniaxialtestet, en metod att bedöma ett pulvers flytegenskaper samt benägenhet att bilda klumpar och packa sig [4].
Uniaxial test, a method for predicting bridging properties of bio powder.

6.2.4 Malbarhet

Malbarhet hos bränslen är av störst betydelse för pulvereldade anläggningar då partikelstorleken måste vara mindre än 1 mm. I FB-pannor måste bränslet som regel kunna matas med cellmatare, vilket innebär att stora bränslestycken måste kunna krossas.

6.2.4.1 Standarder

De flesta av de standardiserade metoder som finns är framtagna för kol. Ingen standard är planerad för biobränslen inom EU. I tabell 6.2.X finns standarder för malbarhet.

Hardgrove index
Hardgrove index är en standardiserad metod, (ASTM D 409/D409M-11 Grindability of coal by the Hardgrove machine method), och är framtagen för stenkol. Principen är att 50 gram kol, som förbehandlats till en definierad partikelstorleksfördelning, placeras i en speciell kvarn med 8 stålkulor. Efter 60 varv, siktas provet och andelen material mindre än 75 microns mäts. Denna siffra omvandlas till ett Hardgrove index (HGI) med hjälp av en kalibreringskurva. Testresultatet för HGI är vanligen mellan 30-100. Hårdheten ger information om energiförbrukningen vid malning av kol. Lågt HGI-värde innebär ett hårt kol som kräver mer energi att mala ned än ett kol med högt HGI-värde.

Tabell 6.2.1 Standarder för bestämning av malbarhet hos fasta bränslen. Standards for determination of grindability.

Standard	Titel	Senast reviderad
Malbarhet		
SS-ISO 5074	Fasta bränslen - Stenkol - Bestämning av malbarhetsvärde enligt Hardgrove	1996
ASTM D409 / D409M - 11	Standard Test Method for Grindability of Coal by the Hardgrove-Machine Method	2011

6.2.5 Densitet

Densiteten hos bränslen kan ha stor betydelse för utformning av transportsystem för bränslen samt kan ha stor betydelse för hur bränslet brinner i en speciell förbränningsutrustning.

6.2.5.1 Standarder

Gemensamma Europeiska standardiserade metoder finns för bestämning av densitet i biobränslen och fasta återvunna bränslen. I tabell 9.1.1 finns sammanställning av standarder för fasta biobränslen och fasta återvunna bränslen. Mer om standarder finns i kapitel 9.1.

6.2.5.2 Metoder för bestämning av densitet

Partikeldensitet
Metoder för mätning av densitet hos enskilda eller en grupp av partiklar bygger på principen att man sänker ner partiklen/partiklarna, där vikten är känd, i en vätska och volymen av den undanträngda vätskan mäts.

Bulkdensitet
Bulkdensitet använd ofta i samband med bränslen. Metoder för bestämning av bulkdensiteten bygger på principen att ett kärl, med känd volym och vikt, fylls med bränslet, varefter kärlet ”tappas” från en bestämd höjd mot ett plant underlag ett standardiserat antal gånger. Bränsle fylls på i kärlet mellan ”skakningarna”. Proceduren upprepas ett standardiserat antal gånger och vikten av behållare med bränsle bestäms när kärlet åter är fyllt till bredden med bränsle efter behandlingen.

Det finns även instrument som är godkända för bestämning av bulkdensitet enligt ASTM och BS metoder. Provvolymer på mellan 10-1000 ml kan testas i apparaturen.

6.2.6 Reaktivitet

Ett bränsles reaktivitet har framför allt betydelse i förbränningsutrustningar där bränslepartikelns uppehållstid är begränsad som till exempel i en pulverflamma där hela förbränningsförloppet måste var avklarat under bränslepartikelns transport genom flamman. Även i reaktionströga system som förgasare har bränslets reaktivitet en förhållandevis stor betydelse för designen av utrustningen.

6.3 Referenser

1 Berg M., Wiklund S.E., et.al. Automatisk fukthaltsbestämning av biobränslen med NIR metoden Värmeforskrapport 935, 2005.

2 Aulin R., et.al. Automatiserad fukthaltsbestämning vid bränslemottagning Värmeforskrapport 1058, 2008

3 Aulin R., Karlsson M., Standardisering av fukthaltsmätning med NIR vid bränslemottagning, Värmeforskrapport 1072, 2008

4 http://eng.tel-tek.no/Powder-Technology/Silo-design-and-powder-mechanics/Research-activities/Powder-mechanics

5 Kastberg, S., Nilsson, C. Partikelformens betydelse för förbränningsegenskaper och utsläpp av kväveoxider (NO_x) vid användning av biobränslepulver (STEM delrapport). SLU. Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap. Umeå (1999).

6 Svarovsky, L. Powder Testing Guide: Methods of measuring the Physical Properties of Bulk Powders. ISBN 1-85166-137-9 (1987).

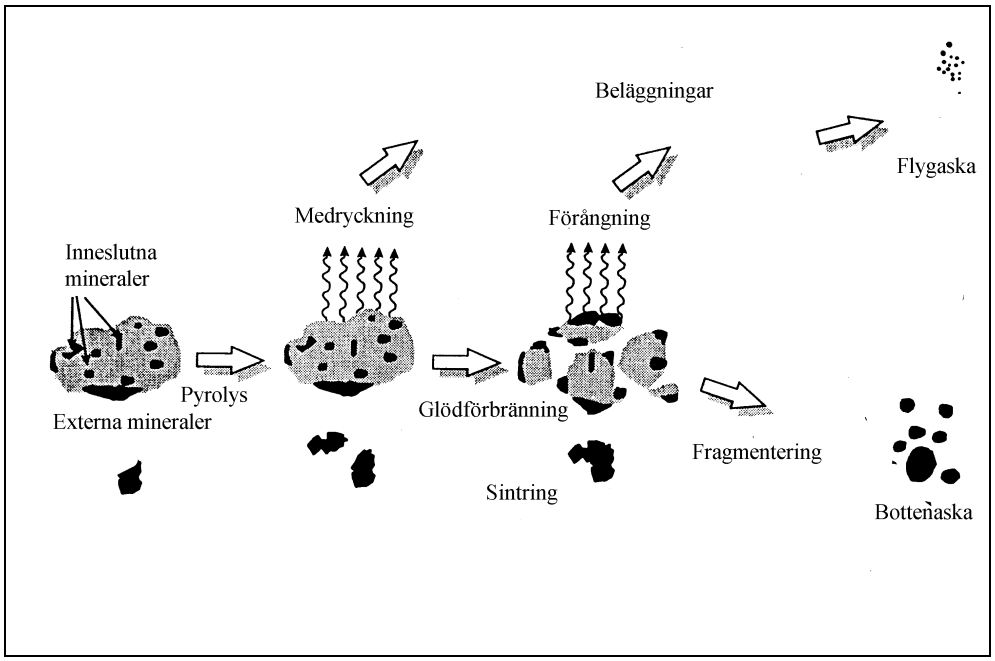
Läs mer om förbränningsegenskaper

- Lennart Ryk. Jämförelse mellan olika metoder att karakterisera partikelegenskaper hos bränslepulver av trä, torv, olivkärnor och kol. Värmeforskrapport 530, 1995
- Sven-Erik Wiklund, Per Levén, Lars Eriksson, Terese Lundin. Malningsteknik för biopulver. Värmeforskrapport 650, 1998
- Lars-Åke Cronholm, Charlotte Dejfors, Sven-Erik Wiklund. Bindemedel i pellets-Påverkan på kvarnar och beläggning i eldstäder. Värmeforskrapport 569, 1999
- Shen Kecheng, Anders Knudsen, Hans Persson. Riskanalys för torkning av biobränslen. Värmeforskrapport 633, 1998.
- Anna-Karin Hjalmarsson. Kornstorlekens betydelse för verkningsgrad och utsläpp av NO_x vid pulvereldning - en sammanfattning av teknikläget. Värmeforskrapport 468, 1993
- Christian Fredriksson, Nader Padban och Frank Zintl. Breddning av bränslebasen för pellets och pulverbrännare. TPS rapport TPS 03-19, 2003
- Paulrud. S., Mattsson. J.E. and Nilsson. C.,”Particle and handling characteristics of wood fuel powder: effects of different mills”. Fuel Processing Technology. 76. pp.23-49 (2002).
- Marc Landtblom, Maria Wennström, Lars Croon. Malning och dosering av biopulver. TPS-rapport TPS 00/32, 2000
- Jenny Larfeldt och Lixin Tao. Inverkan av bränslets finandel på förbränningsbilden i rostpannor. TPS-rapport 00/31, 2000
- Per Kallner. Förbränningskaraktärisering av biopulver. TPS rapport TPS-96/43, 1996
- A Malmgren, L Tao och M Wennström. Konvertering av befintliga oljepannor till pulvereldning för spetslast Värmeforsk rapportnummer 686, (2000).
- Coulson J.M and Richardson J.F. Chemical Engineering – particle technology and separation processes. (1993).
- Shamlou P.A. Handling of bulk solids – theory and practice, (1990).
- Nilsson, A-K. Vad orsakar höga CO-halter i en träpulvereldad anläggning? Examensarbete på Mälardalens Högskola genomfört vid AB Enköpings Energiverk. (1999).
- A. Malmgren och C. Fredriksson. Pulverstorlekens inverkan på utbrännings-egenskaperna vid dellast. TPS Branschforskningsprogram för Energiverk 99/00. TPS-00/26. TPS Termiska Processer AB (2000).
- Bengt-Göran Espenäs, Jenny Larfeldt and Maria Rensfelt. Aerodynamic Size Classification of Wood Powder Using TPS Aeroklass. TPS rapport. TPS-03/17, 2003.

7 Bakgrund/Teori aska

7.1 Vad är aska?

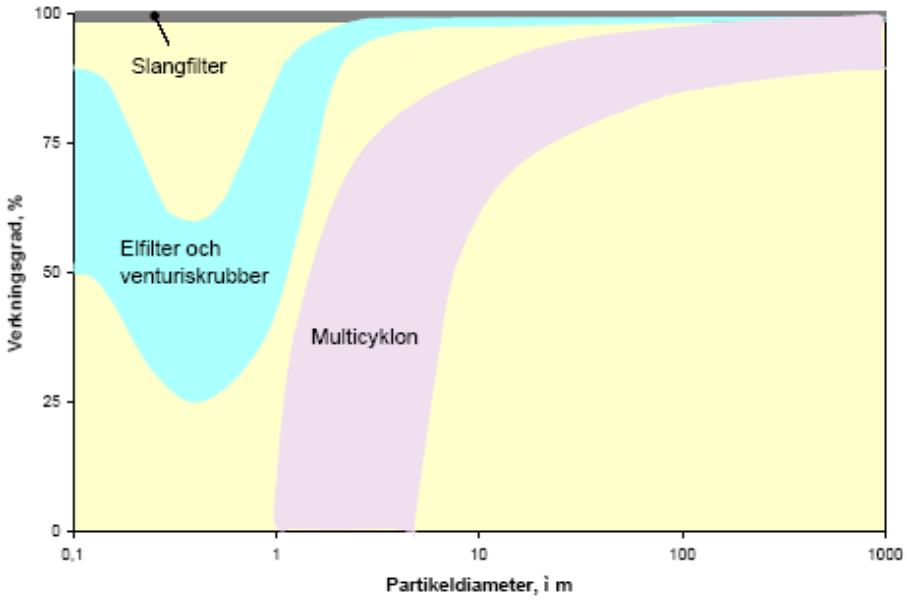
De flesta bränslen innehåller mer eller mindre stora andelar av askbildande ämnen, d.v.s. ämnen som bildar restprodukter som vid rumstemperatur föreligger i fast form. Vilka är då dessa ämnen? Analyserar man de vanligaste fasta bränslena återfinner man över hälften av grundämnena i det periodiska systemet! Dock är halterna för de flesta mycket låga, något mg per kg torrt bränsle. I Figur 7.1.1 visas hur de mineraler som bildar aska avgår under olika stadier av förbränningsprocessen.



Figur 7.1.1 Avgång av mineraler från bränsle vid förbränning. [1]
Release of minerals from a fuel during combustion.

7.2 Askfraktioner vid förbränning

Vid förbränning av bränslen fås ett antal olika fraktioner av aska. Man talar om bottenaska/slagg, cyklonaska, filteraska, flygaska och rökgasreningsrester. Vilka fraktioner och mängder som bildas beror på bränslet och förbrännings- och reningstekniken. I Figur 7.2.1 illustreras avskiljningsgraden för olika reningsteknik.



Figur 7.2.1 Jämförelse mellan olika partikelsepareringsteknik. [2]
Comparsion of different techniques for particle separation.

7.2.1 Bottenaska/slagg

Bottenaska eller slagg är, som det låter, det som matas ut från botten av pannan, dvs. det som faller av rosten när bränslet brunnit ut eller det som matas ut från botten av fluidbäddpannor. Bottenaska är normalt den största askfraktionen, men i pulverpannor är det en mindre del då dessa typer av pannor eldar ett bränsle som oftast är förädlat med låg askhalt och fram för allt är finmalt vilket medför att askpartiklarna blir så små att de följer med rökgasen.

7.2.1.1 Egenskaper hos bottenaska

Bottenaska innehåller som regel låga halter oförbränt material och den största andelen av stenar, sand och ”skrot” som följer med bränslet.

Bottenaska från rost med höga förbränningstemperaturer består ofta av sintrade klumpar, medan rostpannor med högre bränsleflöden och lägre temperaturer ger en bottenaska som är mer pulverliknande.

I FB-pannor strävar man i allmänhet att ta tappa av det överstora materialet som kan bildas av bäddmaterial och aska som sintrat samman. För att transportera ut det sintrade materialet måste man även tappa en del extra sand vilken hanteras tillsammans med det sintrade materialet. En betydande del av bottenaskan består av bäddmaterial förorenat av aska.

7.2.2 Flygaska

Flygaska är samlingsbegreppet för all aska som lämnar eldstaden med rökgaserna. Den kan till sin grund ha mineraler som finns i askan men den kan dessutom beläggas med flyktiga mineraler (alkali) under nedkylningen. Flygaskan kan dessutom bestå av icke slutförbrända bränslefragment och av sot som bildas vid ofullständig förbränning. Även dessa brännbara partiklar kan under nedkylningen fungera som kondensationskärnor för flyktiga askkomponenter. Vid sidan av fasta kolrester och sot kan, vid dålig förbränning även tunga kolväteföreningar kondensera på flygaskan. Om man tittar på askpartiklarnas sammansättning visar det sig att partiklar större än några µm har en sammansättning som huvudsakligen återspeglar bränsleaskans, vilket indikerar att den i huvudsak bildats genom utbränning av bränslet. Om man däremot tittar på de submikrona partiklarnas sammansättning visar det sig att de huvudsakligen består av kondenserade komponenter från rökgasen.

7.2.3 Cyklonaska

Cyklonaska är, som framgår av namnet, den aska som avskiljs i cykloner i anläggningen. Andelen aska och storleksfraktionerna beror på cyklonernas utformning. I många typer av anläggningar återförs askan till förbränningen. Gäller speciellt för fluidbäddar där även sanden/bäddmaterialet återförs, eventuellt efter siktning för att ta bort överstort material. En del anläggningar, gäller speciellt små biopannor, har enbart cyklon som rening av rökgaserna.

7.2.3.1 Egenskaper hos cyklonaska

I cyklonaskan återfinns som regel de högsta halterna oförbränt material. I vissa anläggningar kan oförbränthalterna vara mycket höga.

Cyklonaskan från en **FB-panna** är i regel en blandning av: a) finfraktionen av bäddmaterial, b) oförbränt kol och c) ganska grova askfragment från bränslet. Andelen av bäddmaterialrester i cyklonaskan är beroende av materialets hårdhet och fluidiseringshastigheten i bädden. I fallet med ”mjuka” bäddmaterial och med höga fluidiseringshastigheter kan bäddmaterialfraktionen utgöra mer än 90 % av den totala mängden i cyklonaskan. Andelen oförbränt i cyklonaskan från FB kan vara så hög som 10 % vikt.

I en **pulverbrännare** används vanligen bränsle med låg askhalt. I cyklonen avskiljs den grova fraktionen av bränsleaskan samt oförbrända bränslepartiklar. Den senare fraktionen kan utgöra en betydande del i cyklonaska från pulverbrännaren. Mängden av cyklonaska i en pulverbrännare är snarare beroende av en effektiv slutförbränning än den initiala askhalten i bränslet.

Mellan 10 och 30 % av den totala askmängden i **rostpannor** avskiljs i cykloner. Som i förra fallen utgörs även här cyklonaskan av grovfraktionen av askpartiklar och oförbränt. Andelen oförbränt kan vara högre än 10 %.

Kalcium, aluminium och kisel och kalium är de dominerande oorganiska elementen i cyklonaskan. Cyklonaskan är vanligen fattig när det gäller mängden av spårämnen. Dessa kondenserar ut på ytan av flygaskepartiklar medströms och påträffas i filteraska (elfilter eller slangfilter) och i slam från rökgaskondensering.

7.2.4 Filteraska/flygaska/rökgasreningsrester

De askfraktioner som passerar genom cyklonerna fångas in i någon form av filter, (elfilter, slangfilter) eventuellt tillsammans med additiv som tillsätts för att rena rökgaserna från speciella komponenter. Som additiv används ofta kalk eller aktivt kol.

7.2.4.1 Egenskaper hos filteraska/flygaska/rökgasreningsrester

Flygaskan innehåller de finaste partiklarna och innehåller oftast de högsta halterna av föroreningar som kan kräva speciell hantering. Flygaskan kan, beroende på additiv, vara starkt alkalisk och frätande. Ammoniaktillsats kan göra att halterna av ammoniak i flygaskan är höga och orsaka arbetsmiljöproblem vid askhanteringen.

Mängden av flygaskan från el- eller slangfilter är beroende på utformning av de primära reningsstegen, till exempel om det finns någon form av föravskiljning i cykloner eller multicykloner, före filtren. Effekten av förbränningsteknik är oftast försumbar i sammanhanget, med undantag av låglastkörningar som kan resultera i varierande grader av slutförbränning och sotbildning vilket påverkar den totala askbelastningen efter cykloner. Generellt sett påträffas ungefär 5 % (baserad på den initiala askhalten i bränslet) i filtret. Filteraskor består vanligen av partiklar med diameter mindre än 5 µm. Dessa partiklar är rika på oorganiska salter med högt ångtryck, där kaliumklorid är den mest dominerande i flygaskor från biobränsle. Den största andelen av bränslets ursprungliga innehåll av lättflyktiga spårämnen hamnar i filteraskan.

7.2.5 Askbildande icke-metaller: Klor och svavel

Klor kan bilda HCl och lämna en förbränningsanläggning i gasform, men den kan även bindas i askor under saltbildning, särskilt i alkaliska askor. Klor är därför en askbildande komponent, även om inte alltid allt klor binds i askan. Det är inte ovanligt att Cl ”pendlar” mellan gasform (som HCl eller som en förångad klorid) och askbunden form (som salt). Kloromsättningen i en anläggning är även starkt beroende av bindningsformen i bränslet. Vidare kan klor i vissa fall bilda toxiska klorerade organiska ämnen, t.ex. små klorkolväten, klorerade dibensodioxiner och dibensofuraner, klorerad fenol. Då flera av dessa organiska ämnen är svårflyktiga samlas de gärna på askan (främst flygaskan) och blir därmed askkomponenter.

Svavel kan bilda H_2S (vid understökiometrisk förbränning), SO_2 och SO_3 samt ”följdprodukter”. I anläggningar med hög risk av omfattande emission av SO_2 (+ SO_3) finns i regel extra avsvavlingssteg, som i regel också binder HCl.

I reducerande miljö bildar svavel främst svavelväte, som kan bindas till alkaliska askor under sulfidbildning. Då svavelväte är en svag syra behövs antingen en stark alkalisk

aska eller metalljoner i askan med särskilt hög bindningstendens för sulfidsvavel. Sådana metaller är t.ex. Cd, Hg, Pb och Zn.

I oxiderande miljö bildas främst SO_2 jämte lägre mängder SO_3 (i regel < 5 %). Båda kan bindas till alkaliska askor, dock är SO_2 en svagare syra än SO_3 och binds därför lösare. Huvudprodukten SO_2 kan dock fångas under inbindning till alkaliska askor om den samtidigt med avsvavlingssteget oxideras upp till SO_3. Produkten är då en sulfat istället för den instabilare sulfiten. Svavel har dock låg tendens att i eller efter förbränningsmiljön bilda toxiska organiska ämnen.

Förutom klor och svavel kan, av icke-metallerna, även väte, syre och kol bindas till askan i form av vatten och koldioxid. Vatten binds i form av kristallvatten eller genom kemisk reaktion. t.ex. ”släckning” av kalk. Mycket lite vatten från förbränningen binds dock normalt i askan, däremot är det vanligt att askor matas ut under vattentillsats varigenom askan kan komma att innehålla vatten. Koldioxid och CO_2 kan bindas till askor när dessa är tillräckligt alkaliska och tillåts stå i kontakt med rökgas under längre tid. Den kan också bindas in i askan i form av lättmetallkarbonat, ($CaCO_3$, K_2CO_3 eller Na_2CO_3). Dock handlar det om små mängder och vatten och koldioxid betecknas därför inte som askbildande ämnen.

7.2.6 Askbildande lätt-metaller: Al. Ca. K. Mg och Na

De flesta bränslena innehåller lättmetaller i någon form. Dessa är askbildande och några av dem (alkalimetallerna K och Na) kan dessutom bilda flyktiga former (t.ex. klorider) som tidvis kan förångas för att i ett senare skede återkondensera.

Normalt förekommer lättmetallerna i bränslet i någon kemiskt bunden form t.ex. som organiska (kalciumoxalat, kalciumtartrat), oorganiska (KCl) salter eller upplösta i cellvätska. Lättmetallföreningarna kan komma från själva bränslematerialet men även från medföljande föroreningar t.ex. jord (fältspater), byggdelar (gipsskivor), färg och lim etc. Kalcium och kalium är de lättmetaller som förekommer i de högsta halterna i biobränslen. Bindningsformer, förekomst och egenskaper för kalcium sammanfattas i Tabell 7.2.1 och motsvarande data för kalium finns i Tabell 7.2.2. Natrium förekommer generellt i mycket lägre halter för kalcium och kalium men har stor påverkan för askrelaterade problem i förbränningsanläggningar, se Tabell 7.2.3. Aluminium är en viktig lättmetall som kan ingå i den askbildande fraktionen i ett flertal former, se Tabell 7.2.4.

Tabell 7.2.1 Kalcium i bränslen, bindningsformer, förekomst och egenskaper.
Calcium in fuels, form, occurrence and properties.

Bindningsform	**Förekomst**	**Egenskaper**
Metallisk	Förekommer inte	
Sulfat	I rivningsvirke och i vissa sorter av returpapper.	Beter sig mest inert förutom när andra sulfatbildare (K, Na eller andra) tillkommer. I senare fallet kan det bildas lägresmältande sulfateutektika. Ännu värre är det när även klorider spelar in.
Organbundet som salter av organiska syror som t.ex. oxalsyra eller vinsyra	Förekommer rikligt i biobränslen från både växter och djur	Denna kalciumform bildar i regel CaO som sedan kan reagera vidare t.ex. med kiselsyra (bildning av Ca-haltiga silikater) eller med S eller Cl eller andra saltbildare.
Kalksten	Från medryckta kalkjordar eller från kalktillsatser till eldstaden.	Leder till fullständig eller delvis kalcinering beroende av eldstads-temperatur. Bildar CaO som sedan kan reagera vidare precis som biobränslebundet kalcium. Icke sönderdelat eller återbildat kalciumkarbonat kan ibland fungera som smältpunkts-sänkare. Vanliga mineraliska former är kalcit och kalciumfältspat.
Kalciumfältspat	I regel från medryckta silikatrika jordar. Ingår även i många bäddsander.	Är högsmältande, oreaktiv och ofarlig.
Kalciumfosfater	Förekommer i slam efter kemisk fosfatfällning med kalciumreagens. Finns även rikligt i biobränslen från djur främst i benmassan.	Kan leda till sänkta smältpunkter i saltblandningar.

Tabell 7.2.2 Kalium i bränslen, bindningsformer, förekomst och egenskaper.
Potassium in fuels, form, occurrence and properties.

Bindningsform	**Förekomst**	**Egenskaper**
Metallisk	Förekommer inte	
Klorid	Ofta i halm och andra grödor efter gödsling med KCl-haltigt gödsel.	Är lättflyktig och orsakar gärna påslagsproblem på värmeöver-föringsytor. Fungerar som smält-punktssänkare i saltblandningar.
Organbundet som salter av organiska syror eller anjoniska makromolekyler.	Förekommer alltid i biobränslen från både växter och djur (slaktavfall). I biologiskt material från djur t.ex. rikligt i nervvävnad.	Denna kaliumform bildar i regel K_2O eller KOH som sedan kan reagera vidare t.ex. med kiselsyra (bildning av K-haltiga silikater) eller med S eller Cl eller andra saltbildare. Den andel som reagerar med Cl bildar lättflyktigt KCl. Den andel som reagerar med SiO_2 kan bilda lågsmältande kaliumsilikat eller blandsilikat med t.ex. Ca och Na. Det kan ske genom reaktion med SiO_2 från bränsleaskan eller – vid FB-eldning – i bäddmaterial.
Kaliumfältspat	I regel från medryckta silikatrika jordar. Ingår även i många bäddsandskvaliteter.	Är normalt högsmältande, oreaktiv och ofarlig.

Tabell 7.2.3 Natrium i bränslen, bindningsformer, förekomst och egenskaper.
Sodium in fuels, form, occurrence and properties.

Bindningsform	**Förekomst**	**Egenskaper**
Metallisk	Förekommer inte	
Klorid	Främst i hushållsavfall (bordssalt) vid dålig sortering av komposterbart. Kan även ingå i bränslen som varit i kontakt med havsvatten eller kustnära atmosfär, eller tagits upp nära saltade vintervägar.	Är lättflyktig och orsakar gärna påslagsproblem på värmeöverföringsytor. Fungerar som smältpunktssänkare i saltblandningar.
Organbundet som salter av organiska syror eller anjoniska makromolekyler.	Förekommer sällan i biobränslen från växter men alltid i bio-bränslen från djur (slaktavfall).	Denna natriumform bildar i regel Na_2O eller NaOH som sedan kan reagera vidare t.ex. med kiselsyra (bildning av Na-haltiga silikater) eller med S eller Cl eller andra saltbildare. Den andel som reagerar med Cl bildar lättflyktigt NaCl. Den andel som reagerar med SiO_2 kan bilda lågsmältande kaliumsilikat eller blandsilikat med t.ex. Ca och K. Det kan ske genom reaktion med SiO_2 från bränsle-askan eller – vid FB-eldning – i bäddmaterial. Smältpunkten i silikater är som lägst när Na och K ingår tillsammans.
Natriumfältspat	I regel från medryckta silikatrika jordar. Ingår även i många bäddsandskvaliteter.	Är normalt högsmältande, oreaktiv och ofarlig.

Tabell 7.2.4 Aluminium i bränslen, bindningsformer, förekomst och egenskaper. Aluminum in fuels, form, occurrence and properties.

Bindningsform	**Förekomst**	**Egenskaper**
Metallisk	Vanlig i återvinningsbränslen. särskilt i rivningsvirke	Aluminiummetall t.ex. oxideras normalt inte eller bara till en mycket liten andel på ytan. Däremot bildar den en metallsmälta, då aluminium har en smälttemperatur på ca. 660 ºC. I aluminiumlegeringar ligger smälttemperaturen ofta ännu lägre. Aluminiummetallen kan sätta igen bottendysor, kladda ner roster eller klibba ihop bäddmaterialpartiklar.
Mineralbunden	Vanlig som ”medryckt” jord (aluminosilikater) eller mineraliska additiv (t.ex. kaolin) Det mesta som redovisas som aluminiumhalt i bränsle härstammar dock ofta från föroreningar (fyllmedel, medryckt jord, aluminiumdelar, pigment, fällningsmedel etc.).	Aluminium i förbrännings-processer bildar normalt inga flyktiga ämnen. Den förekommer därför i bottenaskor eller någor-lunda jämt fördelat mellan botten- och flygaskor. Finfördelade aluminiumformer, t.ex. mycket fina lerjordar och kaolin, kan dock ryckas med i rökgas utan någon förångning och på så sätt ”anrikas” till flygaska och stoft på ett rent fysikaliskt sätt.
Biobränslen	Förekommer i låga halter. Bindningsform är oklar. Mycket av redovisat aluminium i biobränsleaskor torde dock från början härstamma från medryckta lerjordar.	Se ovan
Fri saltform	Aluminium är en utpräglad syra-bas-amfoter och kan reagera med syror eller baser under aluminiumsaltbildning eller under bildning av aluminater eller av aluminiumsalter.	
Fosfat	Vanlig i slam som fällts ut under tillsats av en löslig aluminiumsalt. Aluminium fäller då fosfat som $AlPO_4$	Aluminium i fosfatform (från fosfatfällning i slam) är mer eller mindre inert.
Organbundet eller finfördelat bränslealuminium (reaktivt aluminium)	kan binda reaktivt alkali – ensamt (aluminatbildning) eller tillsammans med kiselsyra (aluminosilikatbildning).	Kan leda till höjda smältpunkter och därmed motverka problem som orsakas av asksmältor.

7.2.7 Tungmetaller i aska

I avfallsbränslen och returbränslen (t.ex. rivningsvirke) kan även andra metaller ingå i påtagliga halter, ofta från pigment eller metalldelar. Metaller som då kan ge upphov till problem med silikatsmälta eller lågsmältande saltblandningar är främst koppar, bly och zink. Både bly och zink förekom t.ex. rikligt som färgpigment i gamla målarfärger. Zn användes även som korrosionsskydd på järnföremål. Bly förekom ibland som mönja för tungt korrosionsskydd koppar ingick främst i koppartråd, koppar och zink tillsammans i mässingsföremål.
Koppar är främst ett problem i saltblandningar, samt eventuellt i klorrika miljöer som katalysator för in-situ-syntes av klorerade toxiska aromater (PCDD, PCDF). Bly och zink är smältpunktssänkare i saltblandningar och även under vissa omständigheter i blandsilikater. Bly är dessutom ett sanitärt problem p.g.a. sin giftighet.

7.3 Metoder för karakterisering av askans smältbeteende

Ovan konstateras att aska kan bestå av många ämnen som kan föreligga i många olika kemiska former. Det är för en kraft- och värmeproducent angeläget att veta om askan kommer att ställa till problem i anläggningen. Askans smältbeteende kopplar till driftrelaterade problem som att askan bildar beläggningar på värmeöverförande ytor i konvektionstråk. Dock är det inte enkelt att hitta en metod för askan som ger ett entydigt svar. De standardiserade metoder som används för askanalyser är utvecklade för fossila bränslen som generellt sett har lägre andel flyktiga beståndsdelar och lägre halter av de reaktiva lättmetallerna än yngre, förnybara bränslen. För biobränslen och fasta återvunna bränslen finns tekniska specifikationer för bestämning av askans smältförlopp. I tabell 7.3.1 finns sammanställning över standarder och tekniska specifikationer för bestämning av askans smältförlopp.

De standardiserade metoderna beskrivs övergripande nedan i avsnittet 7.3.1. De flyktiga beståndsdelarna i de förnybara bränslena gör att beredningen av prov enligt de äldre ”kol”-standarderna, det vill säga inaskningen, till testmetoderna blir kritisk för metodernas reproducerbarhet. Redan vid förhållandevis låga temperaturer avgår flyktiga beståndsdelar, beståndsdelar som vi vet spelar stor roll för askans smältbeteende. Provberedningen kompliceras dessutom av att proceduren för inaskning ej liknar de förhållanden som bränslet utsätts för i exempelvis en förbränningsanläggning. Den aska som används i testmetoden riskerar därför att skilja sig i sammansättning från den aska som ställer till besvär i anläggningar. Utöver de standardiserade metoderna finns det därför en rad kompletterande metoder utvecklade eller under utveckling. Några av dessa beskrivs i efterföljande avsnitt.

För samtliga metoder där aska används som startmaterial är det viktigt att inaskning sker på ett reproducerbart sätt. Inaskningstemperatur för biobränslen ska enligt standard vara 550°C, se kapitel 9.1.

Tabell 7.3.1 Standarder och tekniska specifikationer för bestämning av askans smältförlopp. Standards and technical specifications for determination of ash fusibility.

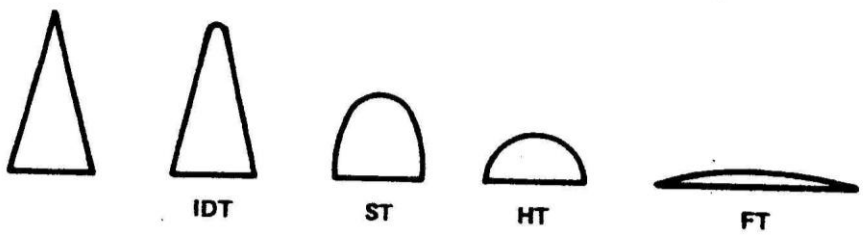
Standard	Titel	Senast reviderad
Bestämning av askans smältförlopp		
ISO 540:2008	Hard coal and coke - Determination of ash fusibility	2008
ASTM D1857 / D1857M - 04(2010)	Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash	2010
DIN 51730:2007	Testing of solid fuels- Determination of fusibility of fuel ash	2007
Tekniska specifikationer	**Titel**	**Senast reviderad**
SIS-CEN/TS 15370-1:2007	Fasta biobränslen - Metod för bestämning av askans smältförlopp - Del 1: Karakteristisk temperaturmetod	2007
SIS-CEN/TS 15404:2007	Fasta återvunna bränslen - Metoder för bestämning av askans smältförlopp med karakteristiska temperaturmetoder	2007

7.3.1 Internationellt standardiserade metoder (ASTM/DIN/ISO)

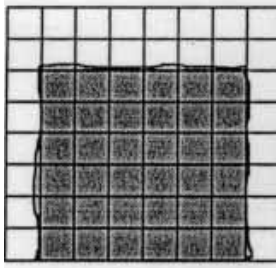
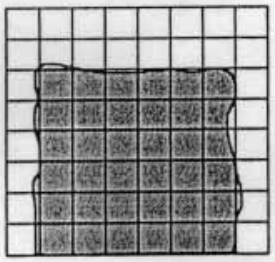
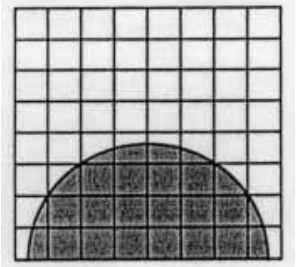
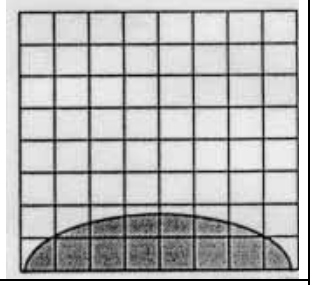
Det finns nio internationella, standardiserade metoder för bestämning av askans smältförlopp [3]. De har använts kommersiellt runt om i världen sedan 1924. Här beskrivs principen för de i Europa valigast förkommande standardiserade metoderna (ISO 540, ASTM D 1857, DIN 51 730). Metoderna går i korthet ut på att aska från bränslet formas till en cylinder, kon, kub eller pyramid som sedan sätts in i en ugn. Provet observeras sedan samtidigt som temperaturen i ugnen ökas. Deformationsstadierna bestäms sedan som en funktion av temperaturen antingen visuellt eller genom att filma konen och sedan utvärdera automatiskt, se Figur 7.3.1 och Figur 7.3.2. Fyra stadier av asksmältning noteras normalt, exempelvis som:

1. Initial deformation (IDT), första tecken på härdning av toppen
2. Mjukningstemperatur (ST), sfärisk massa. höjden = bredden
3. Hemisfärisk temperatur (HT), höjden = ½ bredden
4. Fluidtemperatur (FT), höjden < 1,6 mm

En variant på denna metod är dilatometri, längdutvidgning eller krympning, det vill säga att enbart mäta höjden på ett prov under uppvärmning. Dilatometrimetoden är mindre subjektiv än ASTM-metoden och fungerar för de flesta kolaskor.



Figur 7.3.1 Initial konform och de olika deformationsstadierna i ASTM D 1857. Initial shape and points of deformation of ASTM D 1857.

SIT Begynnande sintring	**SOT** Mjukningstemperatur	**HT** Hemisfärisk temperatur	**FT** Flyt temperatur
			
Hörnen börjar rundas.	Hörnen är helt rundade och ytan har mjuknat.	Höjden = ½ bredden	Höjden är 1/3 av begynnelse höjden

Figur 7.3.2 Olika deformationsstadier enligt DIN 51 730.
Points of deformation according to DIN 51 730.

7.3.1.1 Metodernas användbarhet

När observationen sker enbart visuellt är bestämning av de olika deformationsstadierna subjektiv och resultatet beror följaktligen på vem som avläser provet. Både repeterbarhet och reproducerbarheten har ökat med den digitala avläsningstekniken som är standardmetod inom EU.

Ett problem med metoden är att askor tenderar vara mycket inhomogena i sin sammansättning och består av flera olika material med vitt skilda smältpunkter. Resultatet kan bli att en andel av askan smälter och ”rinner” ur provbiten som inte ser ut att ha deformerats.

7.3.2 Degelmetod

Bränsle inaskas vid olika temperaturnivå i porslinsdeglar i ugn.[4] Provet studeras efter avsvalning i ljusmikroskop där eventuella agglomerat eller andra tecken på smälta noteras enligt i olika kategorier:

Kategori 0: Ingen sintrad aska enbart enskilda korn.
Kategori 1: Mycket lätt sintrad aska som faller sönder vid beröring.
Kategori 2: Något sintrad aska som håller ihop vid beröring men bryts mycket enkelt isär. Det går fortfarande att enkelt urskilja en kornstruktur i materialet.
Kategori 3: Sintrad aska som fortfarande går att bryta isär. Man kan visuellt urskilja enskild kornstruktur men askan har dock börjat få en slaggliknande struktur där smält material (glas) kan urskiljas visuellt.
Kategori 4: Totalt sintrad aska. Askan går inte att bryta isär för hand. Askan är sammansmält till större block (slagg). Ingen enskild kornstruktur går att urskilja visuellt.

7.3.2.1 Metodens användbarhet

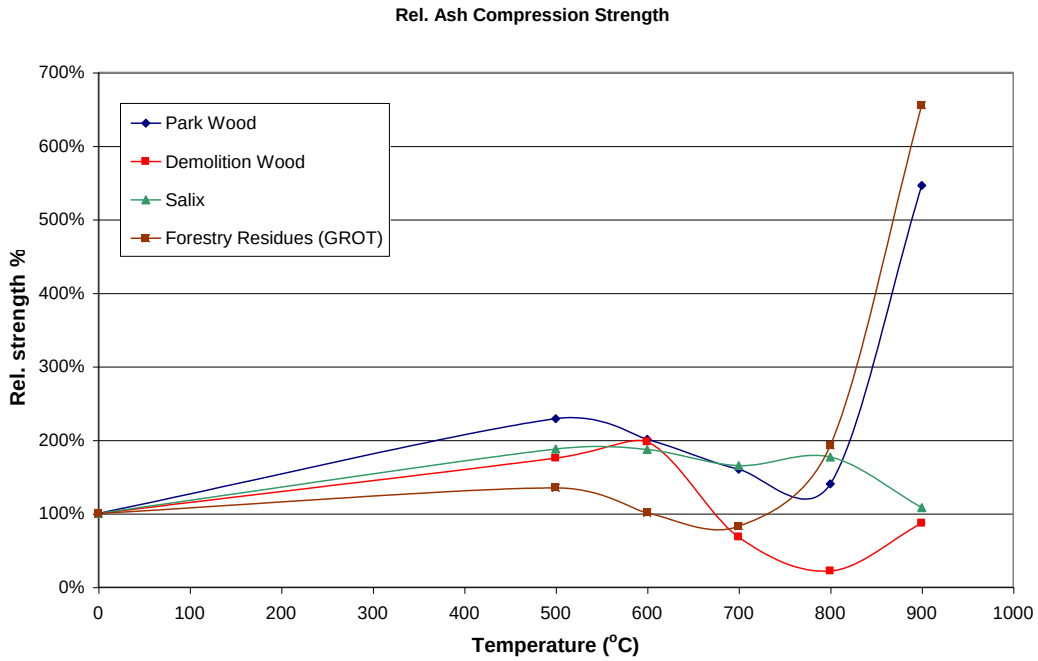
Metoden är enkel och billig varför även bränsleblandningar, additiv och bäddmaterial kan blandas i degeln för att efterlikna förhållandena vid exempelvis förbränning i fluidiserad bädd. För försöken med inblandning av bäddmaterial har även andra bedömningskriterier utarbetats som tar större hänsyn till växelverkan mellan askan och bäddmaterialet kategorier.

Ett alternativ eller komplement till ljusmikroskopi är en siktning av askan före och efter uppvärmning i degel. Andelen partiklar som är större än 150 µm kan då tas som ett mått på sintring i askprovet.

Tiden för inaskning är relativt lång. omkring 12 h vid försök med 10 grams bränsle-prover vilket rekommenderas för bränslen med låg askhalt (< 1 %). Utvärderingen i kategorier är subjektiv och delvis smälta partiklar kan vara svåra att se.

7.3.3 Test av tryckhållfasthet

Aska finfördelas och pressas till pellets som upphettas i ugn 4 h vid olika temperatur (500 till 1100°C). Proverna kyls sedan till rumstemperatur och utsätts sedan för ökande tryck tills pelleten deformeras. Den tryckhållfasthet som på detta sätt erhålls tas som ett mått på andelen smälta (grad av sintring) i askprovet [5]. Värmebehandling vid olika temperaturer ger tryckhållfastheten som funktion av temperatur (se Figur 7.3.3).



Figur 7.3.3 Tryckhållfasthet för askpellet från trä, RT-flis, salix och GROT.
Relative ash compression strenght determined for ash pellets of park wood, demolition wood, salix and forest residues.

7.3.3.1 Metodens användbarhet

Metoden är relativt enkel och har visat god reproducerbarhet utan subjektiva bedömningar. Minst 1 g aska per pellet måste produceras. För bränslen med låg askhalt kan det vara tidskrävande. Även här kan man tänka sig en partiell smälta av provet som inte påverkar tryckhållfastheten för askprovet (skelett).

7.3.4 Roterugn

Ett askprov placeras i en degel som värms i en roterande ugn. Provet videofilmas under uppvärmning och dess temperatur mäts med en beröringsfri temperaturgivare (IR-sensor). Ur filmen kan sedan den temperatur då provet börjar klibba fast vid degelväggar utvärderas. Test kan utföras på rena askmaterial men dokumenterade erfarenheter av metoden rör tester av använda bäddmaterial från förbränning i fluidbädd [6].

7.3.4.1 Metodens användbarhet

Även med denna metod måste först en aska produceras. Relativt sett stora mängder aska behövs till metoden för att smältning tydligt ska urskiljas vilket kräver mycket arbete med inaskning av bränslen med lågt askinnehåll.

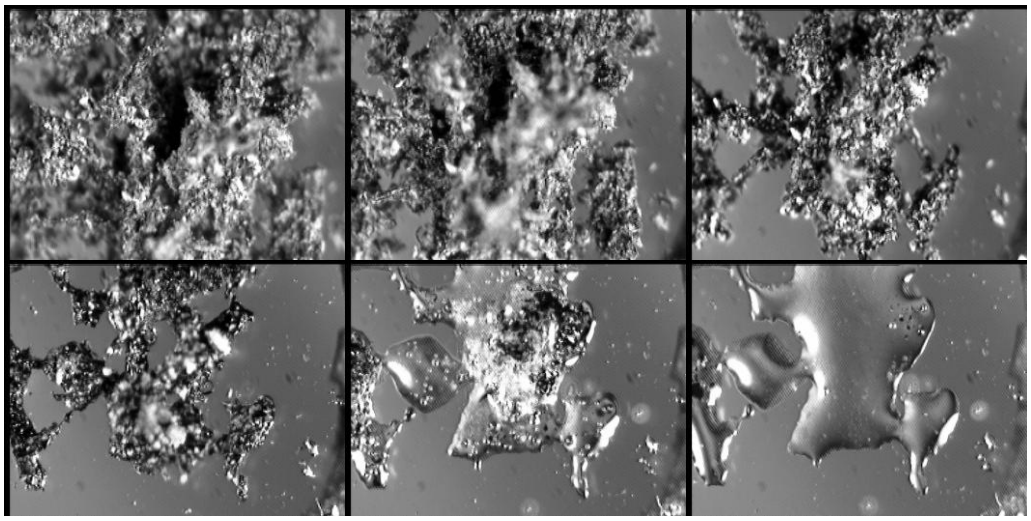
Tester har visat att utvärdering av askans smältbeteende är enklare då ”sand” finns närvarande i provet (i form av bäddmaterial). En ren aska från biobränsle kan vara alltifrån fluffig och lätt till kornig och klumpig och kan därför bete sig mycket olika i degeln. Metoden är mest lämplig för FB-förbränningstester.

7.3.5 MAF (melt area fraction) eller Högtemperaturmikroskopi

Högtemperaturmikroskopi har använts länge inom metallurgi och oorganisk kemi. En vidareutveckling av metoden för biobränsleaskor bygger på bildanalys av foton tagna under upphettning av aska i högtemperaturmikroskop [7]. Andelen smälta i provet utvärderas som den smälta arean relaterat till provets initiala area, exempel på bilder tagna vid olika temperaturer visas i Figur 7.3.4.

7.3.5.1 Metodens användbarhet

Metoden är väl beprövad inom metallurgin. Men då man tittar på en relativt sett liten del av provet kan metoden ge problem med repeterbarheten för askor med mycket inhomogen sammansättning. Dessutom kan utvärderingen av den smälta arean i bilden påverkas av att provet krymper eller spricker.



Figur 7.3.4 Smältprocess för halmaska. Bild från vänster till höger 550, 850 och 950 ℃ (överst) och 1000, 1050 och 1100 ℃ (underst).
Melting of the 550 ℃ Straw ash. Image from left to right; 550, 850 and 950 ℃ (top) and 1000, 1050 and 1100 ℃ (bottom).

7.3.6 Lakning

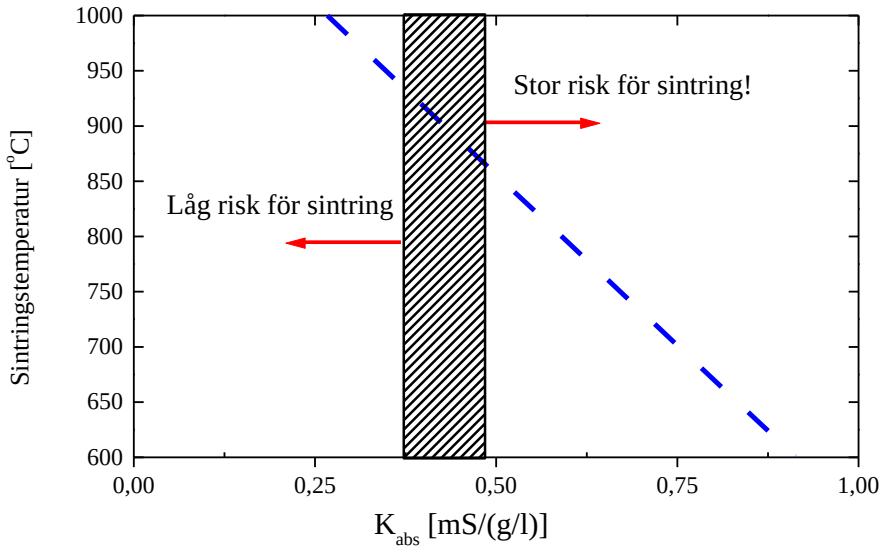
Erfarenheter från litteraturen visar att för natrium, kalium, fosfor, kisel, klor och i viss mån svavel ger lakning med vatten en god bild av bränslets innehåll av dessa ämnen [8]. Försök i experimentanläggningar har visat att mer än 80 % av bränslenas halt av alkalimetaller (K och Na) och över 90 % av klorinnehållet kan lakas bort innan förbränning varvid man undviker att dessa ämnen avgår vid förbränningen.[9].

Det saknas i litteraturen studier på typiska nordiska trädslag och dess egenskaper vid lakning. En studie från Göteborg kan nämnas där returträ och två halmtyper lakades med vatten och med syra och sedan förbrändes. Lakningen skedde här med rinnande vatten då tillämpningen var lakning i stor skala i anslutning till energianläggningen. För returträ lyckades man trots den korta laktiden reducera alkali med omkring 30 %.[10]

7.3.6.1 Direkt lakning

Alla joner som lakas till vattenlösningen bidrar till vattnets ledningsförmåga genom att minska vattnets elektriska motstånd. Genom att mäta vattnets konduktivitet, dvs. ledningsförmåga, erhålls ett kvalitativt mått på den totala jonhalten i lakvattnet och därmed indirekt ett mått på andelen lättlösliga ämnen i bränslet. Praktiska prov med ett antal bränslen visar att bränslet bör finfördelas och blandas i proportionen 25-50 g fuktigt bränsle per liter destillerat vatten för att ge ett utslag i området 0-19,9 ± 0,1 mS efter 30 minuters lakning under omrörning[11]. Om det uppmätta värdet korrigeras för bränsledoseringen vid lakningen samt för bränslets askhalt och fukthalt erhålls en absolut konduktivitet. En utvärdering av den absoluta konduktiviteten för lakningar med kända bränslen ger en korrelation mellan uppmätt konduktivitet vid lakning och asksintringstemperatur. I Figur 7.3.5 har ett område markerats som en gråzon där området till höger har höga tendenser till sintring, dvs. sintringstemperaturerna är låga.

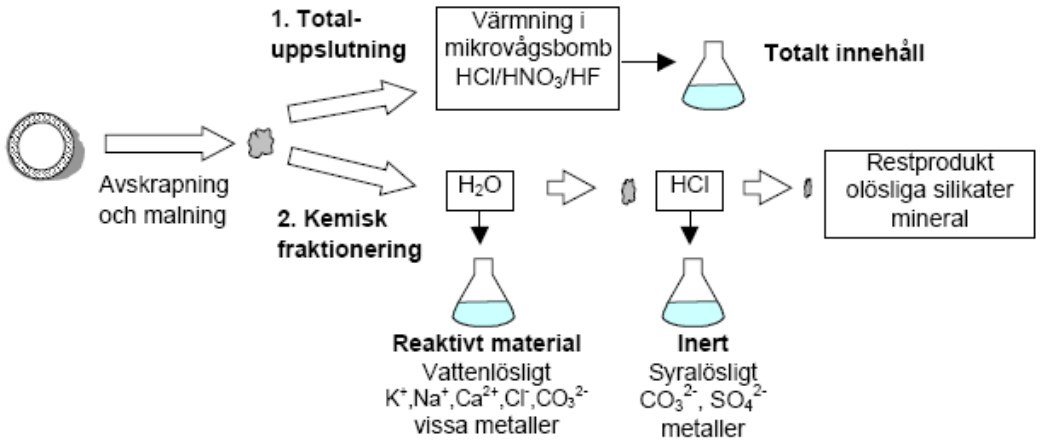
Erfarenhetsmässigt vet vi att risk för sintring föreligger när askan har en sintrings-temperatur omkring 900°C, vilket motsvarar en uppmätt absolut konduktivitet av 0,3–0,5 mS/(g/l) eller däröver ger en förvarning om sintringsproblem.[5,12]



Figur 7.3.5 Korrelation mellan absolut konduktivitet och asksintringstemperaturer [6].
Correlation between conductivity and ash sintering temperature.

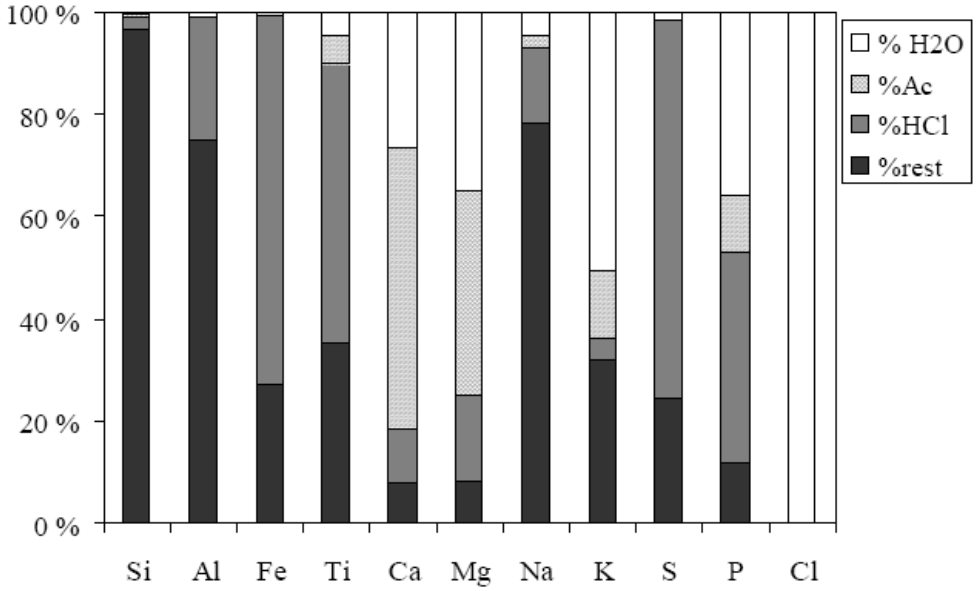
7.3.6.2 Kemisk fraktionering (våt inaskning)

En annan metod för kemisk fraktionering, eller våt inaskning, är en metod där elementen i bränslet lakas ut successivt med hjälp av olika starka lösningsmedel finns beskriven i litteraturen.[8] I Figur 7.3.6 illustreras principen för hur kemisk fraktionering utförs. Figuren visar även skillnaden mot en total uppslutning av fasta material, vilket måste utföras före bestämning av huvudkomponenter och spårämnen med t.ex. jonkromatografi.



Figur 7.3.6 Principer för provberedning innan våtkemisk analys enligt Värmeforsk Mäthandbok och Skrifvars [13,14]
Liquid sample preparation before analysis and according to Värmeforsk Mäthandbok and Skrifvars.

Bränslet lakas först med vatten, därefter med ammonium acetat och sist med saltsyra. Den fasta återstoden efter varje lakningssteg analyseras med avseende på Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg, Na, K, S och P. Om till exempel stora mängder alkali lakas med de svagaste lösningsmedlen anses det betyda att stora mängder alkali lätt frigörs (förångas) under förbränningen. I Figur 7.3.7 visas resultatet av en fraktionerad lakning av bark.



Figur 7.3.7 Den procentuella fördelningen av askbildande element i bark. distribuerade i de fyra olika fraktionerna.[15]
The distribution of ash forming elements in the four different fractions of bark. on a percentage base.

7.3.6.3 Metodernas användbarhet

Den direkta lakningen är snabb och enkel. Utrustningen som används är billig och finns tillgänglig som standard. Närvaro av hydroxidjoner eller protoner i lakvätskan ger ett högt värde på den uppmätta konduktiviteten utan att halten av de metalljoner vi är intresserade av är hög. Det här kan man enkelt komma till rätta med genom att mäta lakvattnets pH-värde. Vanligtvis har lakvatten pH-värden inom 5-7, (avjonat vatten har ett pH ≅ 6-7). Metoden ger ingen information om vilka föreningar som ingår och inte heller i vilka halter som de förekommer.

Kemisk fraktionering är ganska tidskrävande då varje lakningssteg pågår ”över natten” dessutom tillkommer tid för provberedning, torkning och analys. Utrustningen för fraktioneringen är standard utrustning på vanliga laboratorier. Analyserna kräver special instrument. Metoden är mest användbar för torv och kontaminerade biobränslen.

För rena biobränslen är metoden av tveksamt intresse då det är tämligen känt hur elementen förekommer i dessa bränslen. [3] Metoden ger information om vilka föreningar som ingår samt halter av dessa föreningar.

7.3.7 Fluidiserade bädd reaktorer

I CFBA-metoden eldas det bränsle man vill testa i en liten fluid bädd (omkring 5 kW) vid en låg temperatur tills tillräcklig mängd aska samlats i bädden. Därefter värms bädden elektriskt med konstant hastighet med kontrollerad gasatmosfär. Temperaturen när bädden sintrar registreras utgående ifrån tryckfallsmätning över fluidbädden. Agglomereringstemperaturen kan bestämmas med en reproducerbarhet på +/- 5°C med en noggrannhet på +/- 30°C.[5]

I en alternativ metod tillförs bränsle kontinuerligt till bädden under försökets gång[6]. Förbränningen sker vid en konstant temperatur till vilken bäddmaterialet förvärmts innan försök startas. Under försökets gång ökar koncentrationen av aska i bädden. Askans tendens att sintra mäts som tiden till tryckfallsändring över bädden.

7.3.7.1 Metodernas användbarhet

CFBA-metoden ger en kritisk temperatur för sintring av fluidbädden medan den kontinuerligt matade metoden ger information om lämplig omsättning av bäddmaterial i en fluidbädd. Används ett ”inert” bäddmaterial (inert i den meningen att det inte förväntas reagera med bränslets aska och generera lågsmältande föreningar, exempelvis masugnsslagg eller Olivinsand) ger CFBA-metoden information om bränslets askegenskaper.

Den kontinuerligt matade sintringsreaktorn kräver större bränslemängder än CFBA-metoden. Båda metoderna kräver ett förbehandlat bränsle, helst i form av pellets, för att kunna matas in i utrustningen.

Resultaten från metoderna (agglomereringstemperaturerna) skiljer ibland kraftigt mellan metoderna. Orsaken är inte klarlagd. Båda metoderna kräver specialutrustning som finns endast på några få platser, därför blir de förhållandevis dyra att utföra.

7.3.8 TGA och DTA

TGA står för termogravimetrisk analys och innebär kontinuerlig viktmätning av ett prov som funktion av temperaturen och ger s.k. TG-kurvor. På så sätt kan man till exempel registrera vid vilka temperaturer som ämnen avgår i gasfas. Vid TGA mäts temperaturen under tiden ett prov värms upp med konstant hastighet, medan skillnaden mellan ett inert referensprov och det aktuella provet bestäms med differentiell termisk analys (DTA).

7.3.8.1 Metodernas användbarhet

TGA ger en bra kvantifiering av upptagen eller avgiven massa, men är relativt oexakt vad gäller temperaturen. DTA kan med fördel användas till att bestämma relativt exakta solidus- och ofta även liqvidustemperaturer. [3]

7.4 Empiriska index och nyckeltal

Tanken med att använda index och nyckeltal är att på ett enkelt sätt, utan djupare kännedom i ask- och högtemperaturkemi, kunna prediktera och förklara varför ett visst bränsle ger eller förväntas ge upphov till askor som innehåller salter eller mineraler som har kladdande och korrosiva egenskaper. Den främsta nyttan med nyckeltal ligger i att kunna använda dem vid exempelvis kvalitetsjämförelse mellan bränsleleverantörer och i utformningen av mätbara bränslekvalitetsspecifikationer. Nyckeltal kan också vara ett användbart verktyg i processtekniskt utvecklingsarbete men denna tillämpning kräver att man också har förståelse för varför nyckeltalen är formulerade som de är.

Nyckeltal är ofta empiriska i den meningen att de är erfarenhetsmässigt framtagna för ett speciellt bränsle och är inte sällan begränsade i sin tillämpning till en typ utav panna. Av denna anledning skall man alltid vara försiktig vid användning av index och nyckeltal så att man inte feltolkar askegenskaperna. Detta avsnitt beskriver den gemensamma teoretiska grunden för de flesta askkemiska nyckeltalen och inkluderar även kortare beskrivningar av de vanligast förekommande metoderna för bedömning av bränsleaskor. Vissa av nyckeltalen har främst sin grund i erfarenheter från koleldning. Även om relevansen för biobränsletillämpningar i många fall är begränsad eller oprövad finns de redovisade eftersom flera av metoderna utförs regelmässigt av de mest etablerade analysföretagen.

Gemensamt för den teoretiska basen för formuleringen och härledningen av de flesta nyckeltal och index är syra-bas-begreppet tillämpat på askor. Det traditionella syra-bas-begreppet med syror definierade som protondonatorer och baser som protonacceptorer förutsätter protonövergång och är beroende av ett transportmedium (solvens). Transportmediumet är normalt vatten. Detta sätt att beskriva syror och baser kan inte användas för att beskriva bildningen av salter och mineraler vid förbränning i en panna. För detta krävs ett syra-bas-begrepp som kan beskriva reaktioner i ask- och glassmältor samt rökgas. Detta kallas för Lewis-konceptet efter den kemist som först formulerade det. Lewis-konceptet bygger på grundtanken att syror är mottagare av koordinerade elektronpar (elektronparacceptorer) och baser delar med sig av kordinerade elektronpar (elektronpardonatorer).

Exempel på vanligt förekommande elektronpardonatorer (bärare av basegenskapen) är:

- Oxidjonen (O^{2-})
- Hydroxidjonen (OH^-)
- Sulfitjonen (SO_3^{2-})
- Sulfatjonen (SO_4^{2-})
- Tiosulfatjonen ($S_2O_3^{2-}$)

De mest typiska basiska askkomponenterna blir då:

- CaO
- MgO
- K_2O eller i förekommande fall KOH
- Na_2O eller i förekommande fall NaOH
- Fe_2O_3

De vanligaste sura askkomponenterna är:

- SiO_2
- Cl i form av HCl
- S och SO_3 (svaveltrioxid)
- P_2O_5
- TiO_2

När en sur och basisk askkomponent reagerar med varandra bildas ett salt eller ett mineral i en neutralisationsreaktion. Salterna och mineralerna har olika kladdande och korrosiva egenskaper. Gemensamt för de flesta nyckeltal är att man tillämpar ett empiriskt eller halvempiriskt sätt att beskriva *sannolikheten* för att salter och mineraler med kladdande och korrosiva egenskaper skall bildas. Det är också detta sätt att analysera askkemin som används då olika typer av additiv tillsätts.

Nyckeltal och index räknas normalt baserat på bränsleanalyser. När det gäller FB-tillämpningar inkluderas i förkommande fall även bäddsanden. Nyckeltal baserat på en kemisk analys av den ingående bränsleströmmen är i första hand prediktion av sannolikhet. Ett nyckeltal eller index baserat på bränsleanalys ger i första hand en indikation på sannolikheten att de från askan bildade salterna och mineralerna skall ha korrosiva eller kladdande egenskaper. Nyckeltal kan även beräknas baserat på en kemisk analys av en askström (flygaska eller bottenaska) men även på påslagsanalys (från en tub, pannvägg eller påslagssond). Nyckeltalsanalys som baseras på enskilda askströmmar eller påslag beskriver snarare sannolikheten för vad som <u>har hänt</u> askkemiskt. Nyckeltalsanalysen ger därför i första hand kvalitativ information om vad som kan förväntas hända eller har hänt samt vilka föreningar som rimligen inte kan eller har bildats. Nyckeltalsberäkningar skall därför första hand användas i kombination med andra analysverktyg.

7.4.1 Alkaliindex enligt Miles

Miles index [16, 17] fokuserar endast på de mest rörliga och lätt förångningsbara alkalimetallerna i askan. Miles index beräknas som askans innehåll av natrium och kalium, räknat som viktandel Na_2O+K_2O räknat på torrt bränsle, dividerat med bränslets

övre värmevärde även detta räknat på torrt bränsle. Beräknade värden relateras till erfarenheter från förbränningsförsök med olika biobränslen. Detta har utmynnat i kriterier redovisade i tabell 7.4.1.

Tabell 7.4.1 Miles index.

Miles index kg alkali/GJ	**Kommentar**
0 – 0,17	Lågslaggande bränslen
0,17 – 0,34	Slaggande bränslen
> 0,34	Kraftigt slaggande bränslen

7.4.2 Fouling index

Fouling index [18], indikerar askans benägenhet att bilda beläggningar och beräknas från kvoten av askans basiska och sura komponenter i oxidform och multipliceras med askans natriuminnehåll i oxidform. Fouling index har, trots kopplingen till kol, visat sig ge en bra indikation vid användning av biobränslen såsom halm. Följande kriterier gäller (Tabell 7.4.2):

Tabell 7.4.2 Fouling index.

Fouling index	**Tolkning**
RF< 0,2	obetydlig beläggning
RF= 0,2-0,5	medelstor beläggning
RF=0,5-1,0	kraftig beläggning
RF> 1	kritisk beläggning

7.4.3 Nyckeltal

Kollitteraturens index har varit utgångspunkten i utvecklingsarbete som framförallt bedrivits inom TPS *Branschforskningsprogram för energiverk* gällande mera generaliserbara nyckeltal. Nyckeltal, baserade på de relativa moltalen, ger en möjlighet att ”vaska fram” kritiska mängdförhållanden mellan olika ämnen, som direkt kan relateras till riskkomponenter eller riskabla blandningar av komponenter. Nyckeltalen med en kortfattad beskrivning av vad de predikterar visas i tabell 7.4.3 på nästa sida och deras bakgrund beskrivs utförligare i [6].

Tabell 7.4.3 Nyckeltal/ Key numbers.

Nyckeltal	Benämning	Predikterar
$\frac{2Ca + 3Fe + Na + 2Mg + K}{2Si + Al + 3P + 2Ti}$	Alkalinitetstal 1a	< 1: Underskott av alkalinitet >1: Överskott av alkalinitet Farligt område vid FB-eldning med kvartssand: > 1 Farligt område vid annan eldning: se sodaglastal
$\frac{Na + K}{2Si + Al + 3P + 2Ti}$	Alkalinitetstal 1b	< 1: Underskott av alkalinitet > 1: Överskott av alkalinitet Mycket farligt område vid FB-eldning med kvartssand: > 1 !! Måttligt farligt i FB även vid > 0,5 Farligt område vid annan eldning: se sodaglastal.
$\frac{2Ca + K + 2Mg + Na}{2Si + Al + 3P + 2Ti}$	Alkalinitetstal 2	< 1: Underskott reaktiv alkalinitet > 1: överskott reaktiv alkalinitet Farliga områden ungefär som alkalinitetstal 1a
$\frac{Na + K}{2Ca + K + 2Mg + Na}$	Alkaliandel	Andel starkt alkaliska ämnen i totalalkalinitet (alltid < 1) Mycket farligt område > 0,5 Farliga områden från > 0,3
$\frac{Cl + 2S}{K + Na}$	Saltkvot 1	> 1: all fri alkalimetall kan bindas som klorid eller sulfat < 1: all klor och svavel kan bindas till alkali (om all alkali är fritt) Värden < 0,7: farligt för alkalisk sintring Värden > 1: farligt för saltklibbning, påslagsbildning och fria korrosiva sura gaser Värden däremellan: måttligt farliga ”Ofarliga” zoner: tyvärr inga
$\frac{Cl + 3P + 2S}{K + Na}$	Saltkvot 2	> 1: all fri alkalimetall kan bindas som vattenlöslig salt Värden < 1: farligt för alkalisk sintring Värden > 1: farligt för påslagsbildning eller sintring genom saltsmälta
$\frac{2S}{Cl}$	Sulfateringstal *	< 1: all klorid kan inte överföras till sulfat > 1: all klorid kan överföras till sulfat Farliga och ofarliga områden kan inte lätt tilldelas. Väldigt processberoende.
$\frac{Cl}{K + Na}$	Förångningskvot	> 1: all fri alkali kan förångas som klorid (Visar andelen alkali som lätt kan förångas som flyktig klorid) > 0,3: stor risk för bildning av korrosiva klorrika påslag > 1: stor risk för bildning av andra flyktiga klorider än med Na och K. Stor risk även för homogen klorinducerad korrosion eller lågtemperaturkorrosion med Cl-inblandning genom överskott av HCl.
$\frac{2Si}{Al}$	Fältspattal 1	< 6: all silikat kan föreligga som eller bilda aluminosilikat eller fältspat > 6: delar av kiselsyra kan bilda lågsmältande alkalisilikat < 6: i regel bra, > 6 ofta dåligt, men inte alltid.
$\frac{Al}{K + Na}$	Fältspattal 2	> 1: All alkali är bunden eller kan bindas till de relativt högsmältande aluminosilikaterna av fältspattyp > 1: ofta bra < 1: ofta dåligt
$\frac{2(K + Na)}{3Si}$	Förglasningstal (sodaglastal)	0,5-1: Stor risk för bildning av lågsmältande glasfaser (smältpunkt kring 750°C) 0,2-0,5 och > 1: mindre risk < 0,2: liten risk (liten andel smälta)
$\frac{Na}{K + Na}$	Eutektikumstal 1	Nära 1 eller nära 0: bra 0,2-0,8: dåligt
$\frac{Ca}{Ca + Mg}$	Eutektikumstal 2	Nära 1 eller nära 0: bra Nära 0,5: mindre bra.

* Kan bara tolkas när mängden fri alkali understiger mängden svavel + klor eller Saltkvot 1 > 1. Fri alkali kan understiga mängden klor + svavel t.ex. i påslag som bildats när flyktiga alkaliklorider kondenserar.

Alkalinitetstal 1a

Alkalinitetstal 1a är kvoten mellan de basiska och sura askkomponenterna. Värt att notera är att man bara räknar in de lågflyktiga sura oxiderna. Klor och svavel har inte räknats med. Skälet till detta är att alkalinitetstal 1a i första hand är avsett att användas för att prediktera riskområde för sintring i FB-pannor. Kvoten visar andelen basiska oxider som kan föreligga bundna till sura föreningar i askan. Stora basiska överskott kan angripa kiseloxiden (SiO_2), som i det här sammanhanget räknas som en sur oxid, och bilda smälta i en FB. Värden >>1 indikerar att en betydande del av de basiska oxiderna potentiellt kan förångas och på sikt reagera med sura gaskomponenter som exempelvis HCl och då bilda exempelvis KCl. Vid värden < 1 är risken mindre att alkalioxider förångas. Däremot kvarstår risken att klibbiga smälta partiklar rycks med. Därför är ett alkalinitetstal 1a <<1 en svag indikation på låg påslagsrisk. Det är också en svag indikation för låg bäddsintringsrisk eftersom kvoten blir ännu lägre om bäddmaterialet inkluderas. Det är dock framförallt värden >>1 som skall tas som ett varningstecken speciellt om det finns mycket klorider i bränslet.

Alkalinitetstal 1b

Alkalinitetstal 1b är samma som Alkalinitetstal 1a förutom att endast alkalimetallerna (Na och K) är inkluderade bland de basiska askkomponenterna i täljaren. Tolkningen av siffervärdena är snarlik den som gäller för Alkalinitetstal 1a med den skillnaden att höga värden (>>1) skall tolkas som en kraftigare varningssignal om att risken för bäddsintring är påtaglig.

Alkalinitetstal 2

Tar man bort järnet från beräkningen av Alkalinitetstal 1a får man Alkalinitetstal 2. Järnoxiderna är inte utpräglat basiska varför Alkalinitetstal 2 kan vara bättre att tolka än Alkalinitetstal 1a. Ur prediktiv synpunkt är dock värdet Alkalinitetstal 2 tveksamt. Däremot kan stora skillnader mellan Alkalinitetstal 1a och 2 indikera att det finns mycket rost i provet.

Alkaliandel

Alkaliandelen uttrycker de lättrörliga (basiska) alkalimetalloxiderna som andel av samtliga basiska metalloxider. En låg alkaliandel är ingen säkerhetsgaranti men åtminstone ett visst skydd. Värden över 0,5 skall tas som ett varningstecken i synnerhet om Alkalinitetstal 1a och 1 b är höga (>>1) eftersom detta indikerar att det finns ett potentiellt överskott av lätt förångningsbara alkalimetaller som potentiellt kan bilda alkaliklorider.

Saltkvot 1

I påslag och även vid saltinducerade bäddagglomereringar kan både klorider och sulfater i blandningen spela en viktig roll. Saltkvot 1 visar hur stor andel av alkalimetallerna som maximalt kan bindas som klorider och sulfater. En Saltkvot 1 som är >1 är ovanligt vid eldning av rena biobränslen eftersom alkalimetallerna, främst kalium, normalt finns i överskott i förhållande till klor och svavel. Typiska värden för skogsflis ligger runt 0,5. RT-flis och klorrika åkerbränslen ligger ofta något högre men

även dessa ligger sällan över 1. När Saltkvot 1 är < 1, vilket alltså är det normala vid biobränsleeldning, finns ett överskott av alkalimetall som kan reagera med andra sura askkomponenter som saltbildaren fosfor (P) eller de sura mineralbildarna aluminium (Al), kisel (Si) och titan (Ti). Saltkvot 1 har nära koppling till Sulfateringstalet och Förångningskvoten.

Sulfateringstal

Sulfateringstalet ger relationen mellan svavlets och klorets förmåga att binda metaller, främst alkali men även kalcium. Ett högt sulfateringstal brukar anses vara bra eftersom detta förväntas gynna sulfatering av alkalimetaller på bekostnad av alkalikloridbildning.

Sulfateringstalet är troligen det nyckeltal som fått störst spridning och vars värde ofta används som intäkt för att kunna dra långtgående slutsatser angående askkemi och korrosion. För att sulfateringstalet skall kunna ges en rimlig tolkning krävs dessutom att svavel och klor har samma väg genom förbränningsprocessen. Dessutom förutsätter sulfateringstalet att svavel och klor konkurrerar om samma (alkali)metalljoner d.v.s. Saltkvot 1 >1. Har man överskott på alkalioxider konkurrerar inte klor och svavel med varandra på samma sätt om alkalit.

För rena biobränslen är Saltkvot 1 sällan >1, varför värdet av höga sulfateringstal vid eldning av rena biobränslen ofta överskattas och övertolkas. Här är det också viktigt att understryka kalciumets roll framförallt vid eldning i fluidbäddpannor som har goda avsvavlingsegenskaper. Har man överskott på kalcium kan svavlet adsorberas och relationer mellan svavel och klor baserat enbart på bränsleanalysen har ingen relevans.

Sulfateringstalets prediktiva värde ligger troligen främst då det är <1. I dessa situationer vet man att svavlet inte ens teoretiskt kan driva ut allt klor. Praktiskt betyder det att väggpåslag i övre delen av eldstaden och överhettare som initieras som kondensation av alkaliklorid visserligen kan sulfateras, men sannolikt bara med den följden att nya klorider bildas nedströms. Sulfateringstal strax över 1 har därför i de flesta rena biobränsletillämpningarna lågt prediktivt värde avseende korrosion och påslag bland annat på grund av att kalcium i många fall ur alkalikloridsynpunkt förbrukar svavel. Mycket tyder på att temperatur- och driftbetingelser som last har en stor inverkan på i vilken utsträckning klor binds till påslag [19].

Förångningskvot

Förångningskvoten är förhållandet klor och alkalimetaller. Förångningskvoten är kopplad till sulfateringstalet och Saltkvot 1. Delar man Saltkvot 1 med förångningskvoten fås:

$$\frac{\frac{Cl+2S}{Na+K}}{\frac{Cl}{Na+K}} = \frac{Cl+2S}{Cl} = 1 + Sulfateringstalet$$

De flyktigaste lättmetallsalterna är alkalikloriderna. Vid FB-förhållanden 800-900°C är dessa de enda riktigt flyktiga bindningsformerna av natrium och kalium. Om förångningskvoten är >1 innebär det sannolikt att en stor del av allt alkali omvandlas till alkaliklorid. Förångningskvoten är dock sällan >1 för biobränslen utan snarare en

tiopotens lägre. Förångningskvoter större än 0,5 skall dock tas som ett varningstecken. Dålig RT-flis kan ligga på denna nivå medan bra RT-flis ofta ligger på nivån 0,2-0,3.

Fältspattal 1

Fältspat är ett silikat av aluminium med natrium, kalium eller kalcium. Ett silikat är en förening av kisel och syre (Si_xO_y) ihop med en flera metaller och ibland väte (H). Fältspattal 1 talar om hur vida reaktiva alkalioxider kan bindas till de relativt högsmältande (högsmältande=med hög smälttemperatur) aluminiumsilikaterna. Ett fältspattal <6 är en indikation på att en betydande del av aluminiumet redan från början föreligger i fältspatliknande mineraliska matriser. Detta är bra eftersom dessa bindningsformer har högre smältpunkter än motsvarande silikatfaser utan aluminium.

Ett fältspattal >6 innebär att all kisel inte kan överföras till aluminiumsilikat. Denna kisel kan då angripas och omvandlas till lågsmältande silikatformer, exempelvis sodaglas. I FB-förbränning fås ofta på grund av bäddmaterialet ett Fältspattal 1 som är större än 6. Om det finns ett stort alkaliöverskott i bränslet (högt alkalinitetstal) är detta nästan en garanti för sintring. Baskarpssand har ett Fältspattal 1 runt 4-5. Denna tål sintring bättre. Det finns också additiv som i regel går ut på att sänka fältspattalet genom att tillföra aluminium. Exempel på sådana additiv är bauxit (AlO(OH), $Al(OH)_3$), kaolin ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$ eller andra lermineral.

RT-flis kan ofta på pappret ha ett lågt Fältspattal 1 men detta beror i de flesta fall på att det finns mycket metalliskt aluminium i bränslet. Metalliskt aluminium är inte tillgängligt för silikatbildning. Har man ett bränsle med lågt Fältspattal 1 bör man fundera över om detta beror på innehåll av metalliskt aluminium.

Fältspattal 2

Fältspattal 2 sätter mängden aluminium i relation till alkalimetallerna. Aluminium i rätt form, exempelvis som kaolin, binda alkalimetaller i silikat. Därmed är alkalimetallen inte längre tillgänglig för exempelvis bildning av alkaliklorid. Ett högt Fältspattal 2 (>1) är normalt bra under förutsättning att bränslets aluminiuminnehåll är i icke-metallisk form.

Sodaglastalet

Sodaglas görs genom att blanda natriumkarbonat, kaliumkarbonat och kvartsand. Vid 850-900°C omvandlas alkalikarbonaterna till sina oxider vilka angriper kiseldioxiden i kvartsanden och bildar ett silikat som stelnar till sodaglas först nedåt 540°C. Detta kan inträffa i rostpannor om man eldar ett biobränsle som är kontaminerat med sand, exempelvis bark, ihop med någon natrium rik restprodukt från kemisk massatillverkning.

Förglasningstalet visar hur mycket alkaliglas som kan bildas av bränsleaskan. Normal skall man inte räkna in bäddsanden i en FB-panna i kvotbildningen. Ett lågt förglasningstal (< 0,25) visar att lite glas kan bildas i askan. Dessutom börjar det bildas vid högre temperaturer än vid höga siffervärden. Ett högt siffervärde (allt över 0,5) visar att mycket glas kan bildas i askan och att askan därmed kan bli klibbig. Typiska temperaturer där denna glasbildning börjar är kring 750ºC eller vid inblandning av

mycket Ca, fr.o.m. 800ºC. Vid ogynnsamma värden för eutektikumtalet kan smälttemperaturen sjunka ned mot lägst ca 550ºC.

Eutektikumtal 1 och 2

En eutektisk blandning av två eller flera likartade ämnen är en blandning som har en lägre smältpunkt än alla delkomponenterna var för sig. Detta är ett vanligt fenomen inom askkemin vilket praktiskt betyder att man nästan alltid får en faktisk smältpunkt eller ett otydligt mjuknings- och smälttemperaturintervall långt under de definierade smältpunkterna för delkomponenterna. De två eutektikumtalen visar hur de två vanligaste alkalimetallerna respektive de två vanligaste alkaliska jordartsmetallerna förhåller sig inbördes till varandra. Generellt sett är det mindre bra att ha likartade proportioner mellan ämnena. Eutektikumtal skall dock användas med försiktighet och dess prediktiva värde får betecknas som relativt lågt eftersom verkliga askblandningar har en betydligt högre grad av komplexitet än de starkt förenklade binära eller tertiära modellblandningarna som ligger till grund för formuleringen av eutektikumtalen.

Det urval av nyckeltal som används övriga i rapporten för att jämföra de olika bränslena redovisas i tabell 7.4.4.

Tabell 7.4.4 Ett urval av nyckeltal med riskområden.
A selection of key numbers with hazardous regions.

Nyckeltal	Tolkning	Risk
Alkalinitetstal	Risk för alkaliska angrepp på silikatiskt bäddmaterial	> 0,8
Alkaliandel	Nivå på smältpunkter i salter och silikater	> 0,3
Saltkvot	Bildning av lågsmältande saltblandningar	0,2–4
Eutektikum	Smältpunktssänkning i salter eller silikater	0,2–0,8
Fältspattal	Förekomst eller bildning av lättmetall-aluminosilikater	> 6
Förglasningstal	Risk för bildning av lågsmältande sodaglas i askan	0,2-1

7.4.3.1 Andra nyckeltal

Molförhållandet kalcium till svavel, **Ca/S,** i bränslet ger en indikation på om man kan förvänta sig en egenadsorption av svavel i eldstaden på en fluidiserad bäddpanna. Vid förbränning av ett bränsle med hög svavelhalt som torv eller kol så är det önskvärt med en viss avsvavling. Man brukar då vara intresserad av ett Ca/S som ligger runt 2 och oftast behöver man då tillsätta kalksten till eldstaden för att uppnå detta. För bränslen med låga svavelhalter är det oftast negativt med höga Ca/S-värden eftersom risken då ökar för bildning av alkaliklorider. Kalciumet reagerar med svavel vilket innebär att kloriderna mister konkurrensen om alkali.

Ca/(S+1,5P) Betydelse för möjligheten/risken till egenadsorption av SO_2 i bränslet i en FB-panna. Visar på överskott av kalcium jämfört med svavel och fosfor. Tar hänsyn till att kalcium även reagerar med fosfor.

P/(K+Na+1,5Ca+1,5Mg) Visar om det finns fosfor tillräckligt för att kunna ersätta klor med fosfor i alkaliföreningar. Har betydelse för korrosion.

Om man önskar att reducera klorhalten i beläggningar t.ex. genom svaveltillsats eller samförbränning med svavelrikt bränsle så kan ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) innebära att effekten av svaveltillsatsen minskar. Med ett högt Ca/S (alt. Ca/(S+1,5P)) i en FB-panna kan därmed en högre S/Cl -kvot krävas för att den positiva effekten av svavel inte ska utebli.

Molförhållandet **S/Cl** används ibland för att ge en uppfattning om det finns tillräckligt med svavel i överskott för att minska korrosionsrisker i samband med bildandet av alkaliklorider. Erfarenhetsmässigt har man funnit att om molförhållandet S/Cl är mellan 2-4 så minskar risken för kloridinducerad korrosion. [20] **Det är dock ytterst vanskligt att enbart använda sig av molförhållande mellan svavel och klor för att göra en sådan bedömning**. Antagandet gäller endast så länge inte det finns alkali i överskott jämfört med svavel och klor och så länge det inte finns kalcium som kan adsorbera svavlet. Man har t.ex. fått korrosionsproblem i en CFB-panna som eldade kalciumrik torv. Molförhållandet S/Cl var så högt som 8 men eftersom kalciumhalten var hög så adsorberades i stort sett allt svavel och det fanns därmed möjlighet för kloret att reagera med tillgängligt alkali.

Hög alkalihalt i ett bränsle innebär risk för problem med beläggningar och sintringar (speciellt för svavelfattiga bränslen med hög kloridhalt). Även ett bränsle med låg alkalihalt kan dock på sikt ge problem om alkalihalten i askan är hög d.v.s. om askhalten samtidigt är låg t.ex. skogsindustriellt fiberslam, träflis. Nyckeltalet **Na+K mg/kg aska** ger ett grovt mått på detta och är speciellt användbart vid jämförelser av bränslen som har olika askhalt.

7.5 Referenser

1 Jenny Larfeldt. Bränsleprovtagning och bränsleanalys. TPS-99/32, 1999

2 Rönnbäck Marie, Gustafsson Lennart, Martinsson Lars, Tullin Claes, Johansson Linda, Stoftreningsteknik för biobränsleanläggningar mindre än 10 MW-teknikläge. Värmeforskrapport 786, 2002.

3 Nordin, A. och Levén, P. ”Askrelaterade driftsproblem i biobränsleeldade anläggningar – sammanställning av svenska driftserfarenheter och internationellt forskningsarbete”. SVF 607, 1997.

4 Zintl, F. ”Sintring av bäddmaterial vid biobränsleeldning i CFB”. Värmeforsk 604, 1997

5 Skrifvars, B.-J., Öhman, M., Nordin, A. and Hupa, M. “Predicting Bed Agglomeration Tendencies for Biomass Fuels Fired in FBC Boilers: A Comparison of Three Different Prediction Methods”. Energy & Fuels. vol. 13. p. 359-363. 1999.

6 Larfeldt, J. och Zintl, F. ”Roterugn för bedömning av sintringsbenägenhet”. Värmeforsk 850, 2004.

7 Hjuler (1999) and 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. 5-9 June 2000.

8 Baxter, L.L., Miles, T.R. Jr., Jenkins, B.M., Dayton, D.C., Milne, A., Bryers, R.W. & Oden, L.L. "The Behaviour of Inorganic Material in Biomass-Fired Power Boilers – Field and Laboratory Experiences: Volume II of Alkali Deposit Found in Biomass Power Plants". NREL/TP-433-8142. SAND96-8225 Vol. II s. 33-34 + App. 6. Sandia National Renewable Energy Laboratory (1996).

9 *Dayton, D.C., Jenkins, B.M., Turns, S.O., Bakker, R.R., Williams, R.B., Bell-Ourdry, D. & Hill, L.M.* Release of Inorganic Constituents from Leached Biomass during Thermal Conversion. Energy & Fuels, 13, 860-970, (1999).

10 *Korsgren, J.G., Davidsson, K.O., Pettersson, J.B.C. & Jäglid, U.* Alkali Release from Biomass: The Effect of Different Washing Techniques. Antagen till Biomass and Energy, (2000).

11 Zintl F. och Larfeldt J. "Lakning av biomassa som metod för bränsleanalys". TPS Branschforskningsprogram för energiverk. TPS-00/11, 2000

12 *Zintl, F. & Ljungdahl, B.* Sintring och påslag i FB/CFB-eldstad – Inverkan av omslag reducerande/oxiderande miljö. TPS-98/22, (1998).

13 Gustavsson, Lennart. Värmeforsks Mäthandbok. Värmeforskrapport 580, 1996

14 Högberg, Jan. Björkman, Petter. Utvärdering av metoder för avlagringsmätningar. Värmeforskrapport 754, 2001

15 Bengt-Johan Skrifvars, Maria Zevenhoven, Rainer Backman, Marcus Öhman, Anders Nordin. Effect of fuel quality on the bed agglomeration tendency in a biomass fired fluidised bed boiler. Värmeforskrapport 684, 2000

16 Miles et al. Alkalis in alternative fuels. FACT-vol 8. Combustion Modelling. ASME 1994

17 Miles et al.; Alkalis in alternative fuels; Bioenergy '94 Proceedings of the Sixth National Bioenergy Conference; Reno/Sparks Nevada October 2-6 1994; Vol 1 pp. 153-160

18 Axbom, Å. Halm som bränsle för framtida elproduktion- en sammanfattning av dagsläget. Vattenfall-LRF/SLR. 1991.

19 Brodén H.; Förbättrad alkali- och kloridkontroll genom SO2-styrning; TPS Branschforskningsprogram För Energiverk 2007/08; TPS-08/03, Nyköping 2008

20 Salmenoja, K., Mäkelä, K. Chlorine-Induced superheater corrosion in boilers fired with biofuels. European Conference on industrial furnaces and boilers. Espinho-Porto 11-14 apr 2000

8 Metoder för bedömning av korrosionsbenägenhet

Med korrosion avses här den korrosion som kan uppstå på ”rökgassidan” i en förbränningsanläggning mellan bränsleinmatningen och skorstenen. I en förbränningsanläggning kan nästan alla metalliska konstruktionsdelar som står i kontakt med bränsle och förbränningsluft eller rökgas och förbränningsrestprodukter drabbas av korrosionsangrepp. Dessa angrepp har i allmänhet med bränslet och dess kemiska sammansättning att göra.

För en del flytande biobränslen förekommer även korrosion i tankar och bränsleledningar innan brännare.

Laboratorieförsök kan göras kontrollerade m.a.p. försökslängd, temperatur, strömning, gassammansättning, stoftlast och sammansättning. En del verklighetsförankring går dock förlorat eftersom även ”ryckigheten” i processmiljön kan vara en viktig orsak till korrosionsangrepp (t.ex. ”pendling” mellan oxiderande och reducerande atmosfär). Laboratorieförsök medger dessutom ”forcerade” tester genom att skapa och upprätthålla försöksvillkor där korrosionen befaras avlöpa fortare än i driftfallen. Fältförsök och driftförsök kräver ofta lång exponeringstid. I många fall kan denna vara oacceptabel varför någon form av accelererad korrosionsprovning måste tillgripas. Provningens accelerering bör då ske genom måttliga förändringar av t.ex. temperatur, exponeringstid eller halt av korrosivt ämne.

8.1 Överhettarkorrosion

Från flera av de ångpannor som eldas med biobränsle har allvarliga korrosionsangrepp på överhettarytorna rapporterats. Korrosionen sätts oftast i samband med bränslets sammansättning och pannans ångdata. Något enhetligt mönster har dock ej framkommit, möjligtvis med undantag av att alla producerar 500-gradig ånga. [1, 6]

Korrosion på överhettare uppstår ofta som en kombination av höga materialtemperaturer i kombination med lågsmältande faser av alkaliföreningar och reducerande atmosfär, vilket kan uppstå om bränslet inte är slutförbränt när det når överhettaren. Fyra huvudförklaringar till korrosionsangreppen har identifierats:

- Askans begynnande smältpunkt
- Slutförbränningens effektivitet
- Yttemperaturen på överhettartuberna
- Obalanser på ång- och rökgassidan

Askans smältpunkt bestäms av asksammansättningen där framförallt anrikningen av kalium och klorid är av betydelse. Överhettartubernas temperatur bestäms förutom av ångtemperaturen också av rökgastemperaturen samt pannans konstruktion [1]. Vid

eldning av returbränslen som exempelvis returträ, tillkommer ofta även andra problematiska föreningar som innehåller till exempel zink, bly och tenn. [16]

En form av överhettarkorrosion som varit känt länge går under namnet kolask korrosion. Namnet härrör från koleldning, men samma typ av korrosion kan även dyka upp vid eldning av andra bränslen [2]. Förutsättning för kolask korrosion är att det finns en betydande svavelhalt i bränslet (även per aska räknat). På ÖH-ytorna kan då bildas ett påslag av lågsmältande sulfater av Na och K. Denna sulfatsmälta angriper det passiverande oxidskikt på metallen (främst Fe) och blottlägger den oskyddade metallytan för korrosionsangrepp. Temperaturområdet för denna sulfatkorrosionstyp är 566-732ºC.

Många nyuppförda och äldre fossileldade anläggningar byggda för respektive konverterade till biobaserad kraft(värme)produktion har kort tid efter driftsättning fått vidkännas problem med överhettarkorrosion. En gemensam nämnare är att anläggningarna har relativt avancerade ångdata, oftast med överhettningstemperaturer på 480-500°C, samt att de utnyttjar biobränslen till 100 %. [17]

Korrosionsläget förvärras när det finns Cl tillgängligt i bränslesystemet. Då börjar bildningen av ÖH-påslag vid lägre temperaturer, och påslagsbildningen inleds ofta med kondensation av lågflyktiga klorider (av K och Na) på ÖH-ytan. Korrosionsmekanismen i denna Cl-inducerade ÖH-korrosion har även med sulfater att göra och är en samverkan av flera reaktioner:

- Bildning av kloridsmältor
- Sulfatering av kloridsmältorna under inverkan av SO_x
- Lokal utveckling av HCl och av Cl_2 nära grundmetallen
- Överföring av grundmetall i metallklorider och -sulfater
- Uppoxidering av dessa primärprodukter till metalloxider (”rost”) under delvis återföring av kloret till korrosionsmekanismen

Denna mekanism där Cl deltar kan börja vid 50ºC lägre temperaturer än den rena sulfatmekanismen vid kolask korrosion.

Ännu värre blir det när smältpunkterna och därmed tröskeln för bildning av saltsmältor på ÖH-ytorna sänks ytterligare. Detta kan ske när övergångsmetaller, som kan bilda flyktiga lågsmältande klorider och sulfater, ingår i bränslesystemet i påtagliga mängder. Exempel på sådana smältpunktssänkare är Cu, Pb och Zn. De är vanligt förekommande i industriavfall och andra industriella returbränslen samt i t.ex. rivningsvirke.

8.2 Lågtemperaturkorrosion

Många anläggningar som använder SNCR har problem med korrosion i lågtemperaturområdet efter pannan. Problem med korrosion i ekonomiser, luftförvärmare, stoftfilter och rökgaskanaler har rapporterats. Pannor som eldar blandbränslen med hög fukthalt och låg förbränningstemperaturer har haft problem, medan anläggningar som eldar rena, torra biobränslen har klarat sig utan problem.

Analys av beläggningar visar att alla innehåller ämnen som är typiska för lågsmältande föreningar som svavel, klor och ammonium.

Utmärkande för anläggningar där man haft problem är också att man får korrosion, också i de fall anläggningarna var utlagda så att materialtemperaturerna i lågtemperaturområdet hamnade över vattendaggpunkten. Ändå förekommer korrosionsproblem, vid köldbryggor i rökgaskanaler och stoftfilter, vid inläckning av kalluft i luftförvärmare eller i ekonomiserns kallaste delar. Anläggningar där man tidigare haft problem, har ofta löst dessa genom att man höjt materialtemperaturen, t.ex. genom att installera ångluftförvärmning före rökgas/luftförvärmaren. I en del fall har man samtidigt bytt material. [3]

8.3 Eldstadskorrosion

Förbränningstekniska åtgärder för NO_x-reduktion, till exempel stegvis förbränning, kan ge lokalt <u>reducerande</u> förhållanden och ökar risken för eldstadskorrosion, som består av olika möjliga mekanismer men gemensamt benämns CO-korrosion. CO-korrosionen har sitt namn eftersom den uppträder vid höga CO-halter i gasen vilka ju är en direkt följd av syreunderskott. Den viktigaste mekanismen vid CO-korrosion är nog en reaktion av kol från t.ex. CO med konstruktionsmetallerna. CO (eller C i någon annan form) kan adsorberas på metallytan och där börja reagera under bildning av C. Denna C diffunderar in i metallerna under bildning av så kallande inlagringskarbider (karbider: föreningar av kol och någon metall). Inlagringskarbider kallas även för interstitiella karbider. Exempel på inlagringskarbider som kan bildas är [4]:

Järn:	Fe_3C	(cementit. järnkarbid)
	Fe_2C	
Krom:	$Cr_{23}C_6$	
	Cr_7C_3	
	Cr_3C_2	
Nickel:	Ni_3C	

Den första av dessa karbider är en vanlig beståndsdel i kolstål. Men det uppstår problem med utkristallisering och kornbildning när dessa karbider bildas i för stor utsträckning. Detta är vad som sker vid CO-korrosion där metallegeringen grusas sönder genom successiv bildning av inlagringskarbider som bildar egna korn i metallstrukturen och efterhand spränger sönder den ännu opåverkade metallmatrisen. Mekanismen är även beskriven i [5].

Som sammanställningen ovan visar kan alla viktiga legeringsmetallerna i högvärdiga konstruktionsstål angripas genom bildning av inlagringskarbider.

När svavel finns närvarande är vätesulfidkorrosion den viktigaste korrosionsmekanismen under reducerande förhållanden. Bildningen av metallsulfider och -oxider bestäms av jämviktssamband. När partialtrycket för svavel är högt och partialtrycket för syre lågt gynnas bildningen av sulfider. Höga klorhalter är en sekundärt bidragande faktor. Även här kan alltså åtgärder för NO_x-reduktion påverka korrosionen. Liksom vid överhettarkorrosion kan smälta askbeståndsdelar lösa upp skyddande oxidskikt och bidra till korrosion. Eftersom materialtemperaturen är lägre på eldstadsväggarna än i överhettaren krävs att delar av askan fortfarande är smält vid den aktuella temperaturen. Vid reducerande förhållanden ändras askans slaggningsegenskaper och smälttemperaturen kan sänkas. Leverantörerna anser att korrosionsproblemen kan undvikas genom att utforma brännare och lufttillförsel på ett sådant sätt att reducerande förhållanden undviks vid väggarna. Man måste vara uppmärksam på fördelningen av bränslet mellan olika brännare och kornstorleksfördelningen hos bränslet. Snedfördelning vid inmatningen av bränslet kan leda till lokalt reducerande förhållanden.

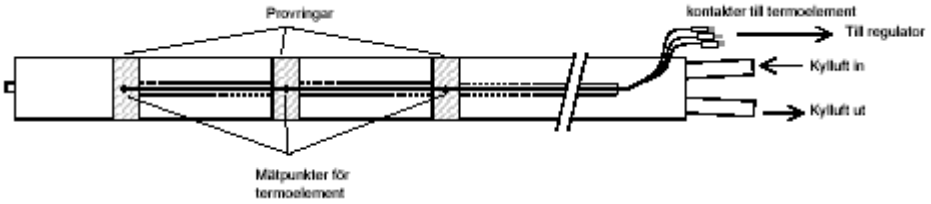
I fluidiserade bäddar varierar korrosionshastigheten lokalt i bädden. Detta hänger samman med varierande syrepartialtryck. Även om bädden körs vid ett luftöverskott globalt förekommer lokalt zoner med understökiometriska förhållanden. Korrosionsrisken ökar när en svavelabsorbent tillsätts. Jämvikten mellan kalciumsulfat och kalciumoxid kan vid lokala låga syrekoncentrationer leda till frigörande av korrosivt svavel, som ger sulfidering av metallkomponenter i bädden. [6] Vid eldning av returbränslen som exempelvis returträ, tillkommer ofta även andra besvärande föreningar som innehåller zink, bly och tenn.

8.4 Metoder för att mäta korrosion

8.4.1 Exponering av provbitar/Korrosionssonder med provbitar

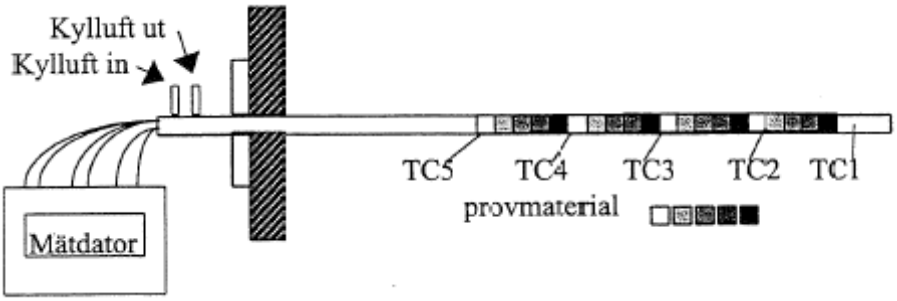
Med hjälp av kylda sonder placeras provbitar i direktkontakt med den miljö vars korroderande inverkan ska studeras. Provbitarna kan med sondens hjälp termostateras till temperaturer som avviker från omgivningens. Oftast exponeras flera provbitar på samma sond vid samma tillfälle varigenom flera materialtyper kan testas samtidigt. Efter exponering av provbitar analyseras dessa varvid den uppkomna korrosionen är en funktion av exponeringstiden.

En beläggningssond med tre luftkylda, ifrån varandra isolerade provringar har använts för detektering av korrosion [7] (se Figur 8.4.1). Vid utvärderingen av de exponerade ringarna får dessa först rengöras från beläggning och sedan etsas för att avgöra eventuell godsförlust för den ursprungliga provringen. Ringarna kan temperaturhållas individuellt, vilket möjliggör test av olika materialtyper likaväl som inverkan av temperatur.



Figur 8.4.1 Skiss över Vattenfalls trippelbeläggningssond (ej skalenlig, ur [7]). Sketch of Vattenfall´s triple deposit probe.

Exempel på sonder med fler provringar finns [8] där temperaturen varierar i fem zoner längs den ringbärande delen. Även denna sond är luftkyld och datorstyrd och den kan täcka in temperaturområdet 430-550°C.

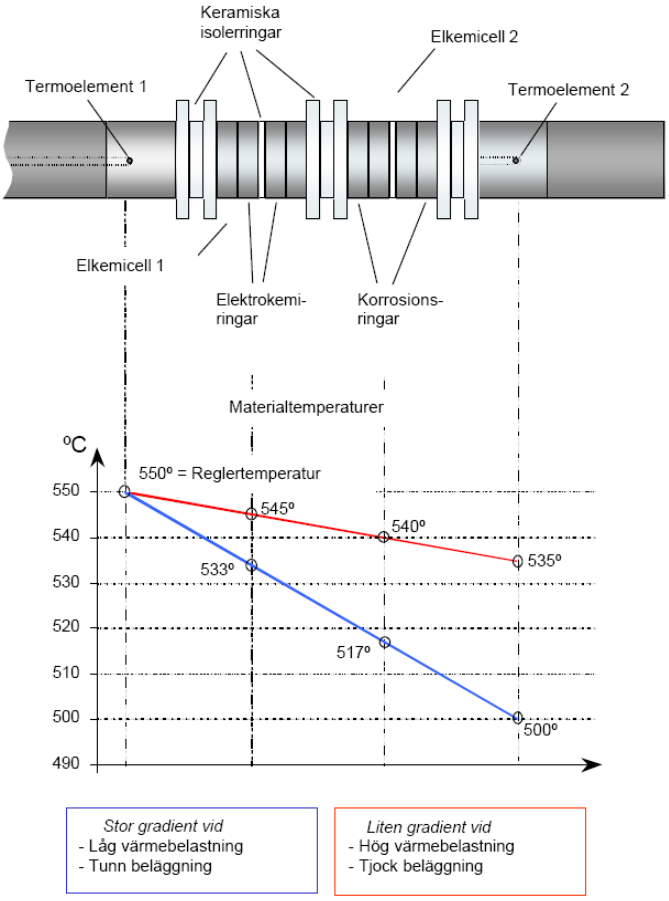


Figur 8.4.2 Principskiss av Studsvik Material AB materialprovningssond och reglersystem [8]. Sketch of the Studsvik Material AB´s corrosion probe and the control unit [8].

8.4.2 ON-line korrosionsmätning

Ett system för mer kontinuerlig mätning av korrosionshastighet benämns MELTGUARD-P-SE [9] Figur 8.4.3. Produkten består av en rörformad och luftkyld sond som exponeras i rökgasen via en befintlig inspektionslucka. Elektroder monterade i sonden reagerar på de reaktiva ämnena i askbeläggningen. Via ett elektroniskt mätsystem omvandlas signalerna ett siffervärde som visar hur snabbt tuben korroderar. Även styr- och reglerfunktioner ingår i systemet. Korrosion kan således mätas vid den aktuella materialtemperatur som råder i tuberna i slutöverhettare. Temperaturen kan även väljas antingen högre eller lägre om man vill undersöka vad som inträffar vid höga ångtemperaturer, eller vill kontrollera vid vilken temperatur som korrosionen är tillfredsställande låg. Korrosion på två olika material kan mätas samtidigt på en MELTGUARD sond. Vid test jämfördes MELTGUARD med en konventionell korrosionssond från Vattenfall. Samma slags korrosion och i samma storleksordning detekterades med de båda sonderna. Däremot kunde ingen klar koppling mellan den elektriska signalens styrka (medelvärde) och godsförlusten påvisas. Försöken utfördes vid ÖH-temperaturer. [10]

Mätkampanjer med systemet i Hässelbyverket [11] och Högdalenverket [12] visar att korrosionshastigheter i lågtemperaturregionen, < 150°C, kan utvärderas.

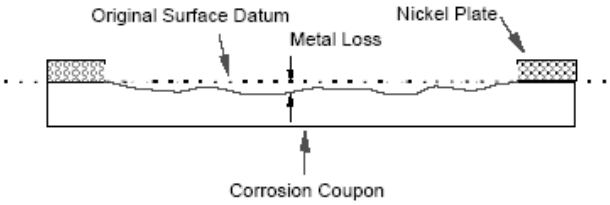


Figur 8.4.3 Schematisk bild över Meltguard sonden och medförande temperaturgradient längs sonden i drift. [10]
Schematic diagram of a Meltguard probe and the resulting temperature gradient along the probe in service. [10]

8.4.3 Eldstadskorrosion

8.4.3.1 PowerGen:s sond

En sond har utvecklats för precisionsmätning av eldstadskorrosion för användning under korta exponeringstider. Sonderna är tillverkade av kolstål och försedda med luftkylning. Provbitar beläggs med en ring av nickel som sätts fast på sonderna. Provbitarna exponeras i 50 timmar. Nickelbeläggningen användes sedan för att definiera den ursprungliga provytan och metallförlusten mättes enligt Figur 8.4.4 [13].



Figur 8.4.4 Noggrann mätning av metallförlust relativt en definierad ursprunglig yta [13].
Accurate Measure of Metal Loss Relative to an Original Surface Datum [13].

8.4.3.2 KEMCOPS-KEMA:s korrosionssonder

Sonderna (Figur 8.4.5) är framtagna i Holland och patentsökta. Sonderna är billiga. Pannan måste förberedas under driftstopp, men när åtgärderna är klara kan sonden tas ut och sättas dit när pannan är i drift. Efter exponering studeras oxidskiktet med avseende på kvalité och tjocklek. [14]

Figur 8.4.5 Prototyp av KEMCOP. Det vita skalstrecket motsvarar 2.5 mm. [14]
Front view of a prototype KEMCOP. Marker bar is 2.5 mm long. [14]

8.4.3.3 Vattenfall Utveckling:s metod

En specialkonstruerad sond som kyls med tryckluft (Figur 8.4.6). Fyra plana provbitar kan placeras på sonden (Figur 8.4.7). Temperaturen mäts med termoelement i varje provbit. Tjockleken mäts i definierade mätpunkter före och efter exponering [7].

Figur 8.4.6 Vattenfalls sond för korrosionsmätning i eldstaden. På bilden syns den lyftkylda fronten sedan de exponerade provbitarna demonterats. [7]
The Vattenfall corrosion probe for measurement in furnace. In the picture the air-cooled front is visible with the test peaces removed. [7]

Figur 8.4.7 Fyra provbitar från sonden. [7]
Four test peaces from the probe. [7]

8.4.4 Mätning av godsförlust

En godsförlust kan se ut på olika sätt beroende på vilken typ av korrosion som förekommer. Fysikaliska metoder är mätning av t.ex. godsförlust genom vägning (viktförlust) eller mätning av materialuttunning. Metoderna kan vara avsyning, mikroskopi efter provpreparering eller mätning av godstjocklek t.ex. med ultraljud. Även elektriska mätmetoder kan räknas dit, t.ex. mätning av ändringar i elektriskt motstånd (impedans) vid tillväxten av påslag på lämpliga provbitar.

Sker korrosion jämnt över en yta kan godsets tjocklek mätas exempelvis med en ultraljudssond. Fördelen med ultraljud är att materialet ej förstörs vid undersökningen och att stora ytor kan undersökas om de bara är åtkomliga. Nackdelen för förbrännings-anläggningar torde vara att metoden endast fungerar vid rumstemperatur varför undersökningar får genomföras vid längre driftsstopp.

Godstjocklek kan naturligtvis också mätas med exempelvis mikrometerskruv. Oftast innebär det en förstörande provning eftersom godset som ska mätas måste bearbetas inför undersökningen (”en representativ provbit från anläggningen tas ut”).

Är det däremot punktkorrosion kan man t.ex. mäta antalet fräthål och deras djup exempelvis i mikroskop vilket också innebär en del provberedning innan undersökningen kan genomföras.

Mätningen av godsförlust hos t.ex. provbitar genom etsning och differensvägning (vägning före/efter exponering) är en kemisk metod med ett fysikaliskt inslag (vägning). Metoden är dessutom väletablerad.

8.5 Hur undviker man korrosion?

8.5.1 Överhettarkorrosion

Några åtgärder för att minska problem med högtemperaturkorrosion har identifierats i [15]:

- Anpassa bränsleblandning eller tillsätta additiv.
- Använda höglegerade material.
- Betrakta slutöverhettaren som en slitagedel.
- Placera slutöverhettaren i sandlås.
- Använda extern överhettare som eldas separat med ett icke korrosivt bränsle.
- Förgasning av det korroderande bränslet och gasrening sedan samförbränning av bränngasen i konventionell befintlig panna.
- Placera överhettaren i en internt cirkulerande fluidiserad bädd.

8.5.2 Lågtemperaturkorrosion

En enkel åtgärd för att minska risken för lågtemperaturkorrosion är att eliminera de kalla punkter som ger upphov till lokal kondensation av sura gaser. Det kan handla om att isolera bort kallbryggor som kan finnas i skal och bärande konstruktioner, att täta panna eller kanalen så att det inte läcker in kall luft. Kanske ändra strömningsriktningen i något av ekonomiserpaketen så att man undviker de kallaste ytorna. Det kanske till och med räcker med att man ökar vattnets inloppstemperatur i pannan till exempel genom shuntning. I luftförvärmare kan det räcka att höja luftens inloppstemperatur något med en ång- eller hetvattendriven förvärmare.

Även för lågtemperaturkorrosionen kan det vara lämpligt att ersätta ett enkelt svart material med ett något mer legerat som har bättre korrosionsegenskaper.

Eftersom lågtemperaturkorrosion ofta är kopplad till svavelföreningar, främst utkondenserad svavelsyra eller en blandning av den med t.ex. ammoniumsulfat kan en motåtgärd vara att minska svavelförekomsten i rökgasen. Motåtgärder kan då vara att:

- Tillsätta kalk efter överhettaren och innan stoftavskiljningen för överföring av sulfatsvavlet till mindre korrosiva ämnen.
- Elda (eller samelda) med svavelfattiga bränslen

I vissa sammanhang har det dock visat sig förmånligt för den totala förbrännings-processen att snarare öka än sänka svavelhalten i bränsleblandningen. Detta gäller i synnerhet för klorrika bränslen, där klorrelaterad korrosion i främst överhettare skall motverkas genom en hög grad av sulfatering (omvandling av klorider till sulfater). I dessa fall kan användningen av metoderna ovan bli omöjliga eller försvåras.

8.5.3 Eldstadskorrosion

Den viktigaste åtgärden för att minska korrosionen i eldstaden är att i görligaste mån undvika att ha reducerande gasmiljö intill tubväggarna. Denna typ av problem accentueras av låg-NO_x-eldning där ofta delar av eldstaden skall vara understökio-metrisk för att driva kväveomvandlingen mot N_2 i stället för NO_x.

Några praktiska åtgärder som man kan vidta är att kontrollera att flammorna från brännare inte är så långa eller at de har sådan form att det finns risk för att någon del av dem kommer i kontakt med en kyld väggyta. Vid låg-NO_x-eldning i brännare strävar man ofta mot att tillföra slutförbränningsluften så att den blandas in långsamt i flamman, vilket kan vara en fördel. I eldstäder där man i stället utnyttjar överluft (OFA) kommer dock betydande delar av eldstaden att arbeta vid syreunderskott eller mycket lågt syreöverskott.

I rost- eller FB-eldade pannor kommer det att vara stor risk för understökiometriska zoner åtminstone den nedre delen av eldstaden. Ofta är dessa delar keramisk infordrade och så får inte problemet lika stor effekt. Det gäller framför allt att välja en keram som tål att utsättas för sådan miljö. Vid problem i den övre delen av eldstaden kan det vara nödvändigt att använda tubmaterial som klarar korrosionen. Det har blivit förhållandevis vanligt att ersätta svarta eller låglegerade tubmaterial med compoundtuber där ytmaterialet är korrosionsbeständigt. Metallsprutning och påsvetsning av korrosionsbeständigt material på speciellt utsatta områden används också med varierande resultat.

Eftersom eldstadskorrosionen i ofta accelereras av reducerande förhållanden är det fördelaktigt att hålla en viss syrekoncentration vid väggytan. I pannor där det finns ett överskott av sekundär/tertiärluftregister kan något av dessa utnyttjas för att strila in luft vid låg hastighet som bara får smyga upp efter väggytan. Metoden har används relativt länge i stora kolpulverpannor, där man bygger in speciella luftregister vars enda syfte är att upprätthålla oxidationen efter väggytorna. Metoden har även provats i en RT-flispanna med lovande resultat.

8.6 Referenser

1 Hjalmarsson, Lennart, Kjörk, Anders. Korrosion i överhettare vid biobränsleeldning. Värmeforskrapport 623, 1998.

2 Port, R.D. and Herro, Ha.M. (eds): “The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis” McGraw-Hill 1991. ISBN 0-07-045873-1. kap. 10, s. 129-134.

3 Goldschmidt, Barbara. Lågtemperaturkorrsion i pannor med SNCR. Värmeforskrapport 847, 2004.

4 Greenwood, N.N. and Earnshaw, A.. “The Chemistry of the Elements”. Pergamon Press. första upplaga ca. 1986. s. 322.

5 Grabke, H.J. “Corrosion by carbonaceous gases. carburization and metal dusting. and methods of prevention”. Materials at High Temperatures 17(4). 483-487 (2000).

6 Persson, Karin, Gyllenhammar, Marianne. Stökiometrins inverkan på korrosionen i fastbränslepannor vid kraft- och värmeproduktion. Värmeforskrapport 502, 1994

7 Högberg, Jan, Henderson, Pamela, Mattsson, Mattias, Engel, Erik. Mätning av eldstadskorrosion i en panna. Värmeforskrapport 777, 2002.

8 Eriksson, T. och Falk, I. ”Överhettarmaterial för energieffektivare. miljövänligare och bränsleflexiblare sodahus- och barkpannor”; Värmeforskrapport 678, 1999.

9 MELTGUARD-P-SE. Svenskt patent nr 9900779-1.

10 Henderson, P. ”Utvärdering av MELTGUARD TM – ett mätsystem för kontroll av rökgassidig korrosion i pannor”. Värmeforskrapport 751, 2001.

11 Eriksson, T. ”Driftrelaterad direktmätning av lågtemperaturkorrosion i bränsleeldad kraftvärmeanläggning”. Värmeforskrapport 691, 2000.

12 Eriksson, T. och Eriksson, S. ”Direktmätning av rökgassidig lågtemperatur-korrosion i en avfallspanna”. Värmeforskrapport 636, 1998.

13 Davis, CJ., James, PJ., Pinder, LW., Metha, AK. Effects of fuel composition and combustion parameters on furnace wall fireside corrosion in pulverised coal-fired boilers. Proceedings of the 5th International Symposium on High Temperature Corrosion and Protection of Materials. Part2. pp 857-864. Les Embibez. France May 22-26. 2000.

14 DeJong, MP., Leferink, RGI. Kemcops: a New corrosion and fouling monitoring system. Presenterad vid Power-Gen konferensen. Bryssel maj 2001.

15 Thorsson, Ola. Mordena panndata inom samförbränning. Värmeforskrapport 868, 2004.

16 Andersson Annika, Andersson Christer, von Bahr Bo, Berg Magnus, Ekvall Annika, Eriksson Jan, Eskilsson David, Harnevie Henrik, Hemström Bengt, Junstedt Jenny, Keihäs Juha, Kling Åsa, Mueller Christian, Sieurin Jan, Tullin Claes, Wikman Karin. Förbränning av returträflis; Ramprojekt returträflis. Värmeforskrapport 820, 2003

17 Henderson Pamela, Kjörk Anders, Ljung Per, Nyström Olle, Skog Erik, Överhettarkorrosion i bioeldade anläggningar – status. Värmeforskrapport 700, 2000

9 Standarder, handböcker och databaser

9.1 Standarder

Handeln med biobränslen mellan länder i Europa ökar i en allt mer accelererande takt. Såväl myndigheter som marknaden har därför starkt uttrycket behovet av gemensamma standarder för terminologi, klassificering, provtagning och analyser av biobränslen. CEN (Comité Européen de Normalisation, European Committee for Standardisation) startade hösten 1999 ett projekt med syfte att utveckla gemensamma standarder för fasta biobränslen. Arbetet är till stor del avslutat och nu pågår arbete med att ta fram internationella standarder där de första kommer att publiceras våren 2012. Ett motsvarande arbete med att ta fram standarder för Fasta Återvunna Bränslen (SRF = Solid Recovered Fuels) startade något år senare. Standarder uppdateras ständigt och aktuella gällande standarder kan hittas på SIS hemsida (www.sis.se)

I Tabell 9.1.1 finns en sammanställning över publicerade standarder för bestämning av viktiga egenskaper hos biobränslen och fasta återvunna bränslen.

Tabell 9.1.1 Standarder för biobränslen och fasta återvunna bränslen.
Standards for biofuels and solid recovered fuels.

Standard	Titel	Senast reviderad
Fasta biobränslen		
14588	Fasta biobränslen - Terminologi	2010
14961-1	Fasta biobränslen - Specifikationer och klassificering - Del 1: Allmänna krav	2010
14961-2	Fasta biobränslen - Specifikationer och klassificering - Del 2: Träpellets för icke-industriell användning	2011
14961-3	Fasta biobränslen - Specifikationer och klassificering - Del 3: Träbriketter för icke-industriell användning	2011
14961-4	Fasta biobränslen - Specifikationer och klassificering - Del 4: Trächips för icke-industriell användning	2011
14961-5	Fasta biobränslen - Specifikationer och klassificering - Del 5: Brännved för icke-industriell användning	2011
15234-1	Fasta biobränslen - Kvalitetssäkring av bränslen - Del 1: Allmänna krav	2011
14778	Fasta biobränslen - Provtagning	2011
14780	Fasta biobränslen - Provberedning	2011
14774-1	Fasta biobränslen - Bestämning av fukthalt - Torkning i ugn - Del 1: Total fukthalt - Referensmetod	2009
14774-2	Fasta biobränslen - Bestämning av fukthalt - Torkning i ugn - Del 2: Total fukthalt - Förenklad metod	2009
14774-3	Fasta biobränslen - Bestämning av fukthalt - Torkning i ugn - Del 3: Fukthalt i finmalt (< 1 mm) analysprov	2009
14775	Fasta biobränslen - Bestämning av askhalt	2009
14918	Fasta biobränslen - Bestämning av kalorimetriskt värmevärde	2009
15103	Fasta biobränslen - Bestämning av skrymdensitet	2009
15148	Fasta biobränslen - Bestämning av halten flyktiga ämnen	2009
15149-1	Fasta biobränslen - Bestämning av partikelstorleksfördelning - Del 1: Metod - Oscillerande såll med hålstorlek 1 mm och större	2010
15149-2	Fasta biobränslen - Bestämning av partikelstorleksfördelning - Del 2: Metod - Vibrerande såll med hålstorlek 3,15 mm och mindre	2010
15210-1	Fasta biobränslen - Bestämning av Mekanisk hållfasthet hos pellets och briketter - Del 1: Pellets	2010
15210-2	Fasta biobränslen - Bestämning av Mekanisk hållfasthet hos pellets och briketter - Del 2: Briketter	2010
15104	Fasta biobränslen - Bestämning av total kol-, väte- och kvävehalt - Instrumentmetoder	2011
15105	Fasta biobränslen - Bestämning av vattenlöslig halt av klorider, natrium och kalium	2011
15289	Fasta biobränslen - Bestämning av total svavel- och klorhalt	2011
15290	Fasta biobränslen - Bestämning av huvudelement - Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na och Ti	2011
15296	Fasta biobränslen - Omräkning av analysresultat till olika provtillstånd	2011
15297	Fasta biobränslen - Bestämning av spårelement - As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V och Zn	2011

Fasta återvunna bränslen		
15357	Fasta återvunna bränslen - Terminologi	2011
15358	Fasta återvunna bränslen - Kvalitetsledningssystem	2011
15400	Fasta återvunna bränslen - Bestämning av kalorimetriskt värmevärde	2011
15402	Fasta återvunna bränslen - Bestämning av halt flyktiga ämnen	2011
15403	Fasta återvunna bränslen - Bestämning av askhalten	2011
15407	Fasta återvunna bränslen - Metoder för bestämning av kol-, väte- och kvävehalten	2011
15408	Fasta återvunna bränslen - Metoder för bestämning av svavel-, klor-, fluor- och bromhalten	2011
15414-3	Fasta återvunna bränslen - Bestämning av fukthalt - Del 3	2011
15440	Fasta återvunna bränslen - Metoder för bestämning av halten biomassa	2011
15442	Fasta återvunna bränslen - Provtagningsmetoder	2011
15443	Fasta återvunna bränslen - Metoder för beredning av laboratorieprov	2011

9.2 Handböcker

Exempel på handböcker om förbränning och/eller bränslen som finns tillgängliga via nätet att ladda ner eller beställa. Klicka på titeln för en länk till respektive rapport.

Miljöfaktaboken 2011 (Värmeforskrapport 1183)

Miljöfaktaboken 2011 innehåller aktuella emissionsfaktorer för de flesta bränslen och energislag för svensk el- och värmeproduktion samt för fordonsdrift, och beskriver den totala miljöpåverkan från i Sverige vanligt förekommande energislag från hela livscykeln, det vill säga inkluderande råvaruutvinning, förädling, transport och omvandling.

De bränslen och energislag som ingår i Miljöfaktaboken är trädbränslen, returflis, energigrödor, biooljor, avfallsbränslen, fossila bränslen, biodrivmedel, fossila drivmedel, el samt solvärme. Emissionsfaktorerna presenteras per megajoule (MJ) bränsle eller per kWh el (för vattenkraft, vindkraft och kärnkraft).

Syftet med Miljöfaktaboken är att sammanställa och presentera aktuella och generella emissionsfaktorer för bränslen och energislag som används i Sverige för el- och värmeproduktion samt för transporter.

Fokus för sammanställningarna är utsläpp till luft vid produktion och distribution av bränslen samt vid omvandling till nyttig energi. Övriga miljöaspekter som exempelvis utsläpp till vatten och påverkan på biodiversitet ingår inte.

Miljöfaktaboken omfattar ett stort antal tabeller med emissionsfaktorer för bränslen och energislag.

Pelletspärmen

Författare till Pelletspärmen är Gunnar Hadders, JTI (Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik) och går att beställa i pappersformat men kan också laddas ner från JTI:s hemsida.

Exempel ur innehållet är:

- Vad är pellets?
- När och varför är pellets ett alternativ till konventionellt bränsle?
- Marknaden för pellets
- Distribution och lagring
- Förbränning: utrustning, emissioner, provningar och tester
- Ekonomi
- Marknadsöversikt
- Adresser

Vedpärmen

Informationsmaterial om vedeldning i småhus framtagen av Novator Media på uppdrag av NUTEK inom programmet Småskalig förbränning av biobränsle".
Beställ pärmen den kostar 650 kr + moms. porto och frakt.

Ur innehållet:

A. Teori
B. Bränsle
C. Drift, tillsyn och underhåll
D. Brandskydd
E. Konvertering till förbättring av vedeldning
F. Lagstiftning och bestämmelser
G. Kommunerna och vedeldningen
H. Marknadsöversikt
I. Ordlista
J. Litteraturförteckning

English Handbook for Wood Pellet Combustion

Handboken har tagits fram för allmänt bruk, och kan laddas ner gratis, för att öka användningen av pellets. Handboken finn även på danska, tyska,

Handbook of Biomass Combustion and Cofiring (Task 32)

IEA har inom projektet Task 32 tagit fram en handbok om förbränning och samförbränning av biobränslen. Kan beställas här.

Ur innehållet:

1 Introduction
2 Basic Principles of Biomass Combustion
3 Biomass Fuel Supply and Pre-Treatment
4 Domestic Wood Burning Appliances

5 Industrial Combustion
6 Power Generation and Co-Generation
7 Co-Combustion
8 Environmental Aspects of Biomass Combustion
9 Research and Development - Needs and Ongoing Activities

På hemsidan finns flera rapporter samt ett beräkningsprogram ”**Fuelsim Average V1.1”.** Fuelsim - Average är ett relativt enkelt, men användbart beräkningsprogram för förbränningsprocesser, och är skrivet i MS-EXCEL format.

The Pellet Handbook

IEA Task 32 har även bidragit till *The Pellet Handbook* som behandlar de flesta aspekterna av produktion och förbränning av pellets, allt från råvarutillförsel och tillverkning till transport och förbränning av pellets. Kan beställas här.

Ur innehållet:

- Internationell överblick av standarder för pellets
- Utvärdering av råvaror och potentialen för olika råvaror
- Kvalitet och egenskaper hos pellets
- Teknisk utvärdering av pellets produktion
- Säkerhet och hälsoaspekter för pelletslagring, hantering och transporter
- Teknisk utvärdering av förbränningsutrustning för pellets
- Ekonomisk och miljöutvärdering av pellets produktion
- Ekonomisk och miljöutvärdering av småskalig användning av pellets
- Överblick av den internationella pelletsmarknaden
- Internationella ”case studies” för pelletsanvändning
- Senaste trenderna inom FoU om pellets

9.3 Bränsledatabaser

Flera databaser med analyser av bränslen och askor finns tillgängliga på internet. I några fall redovisas fullständiga analyser av bränslena med referenser till publicerade artiklar. I andra fall finns kanske enbart någon enstaka parameter redovisad. Man bör vara uppmärksam på att enheter varierar mellan de olika databaserna och direkta jämförelser är ibland svåra att göra. Exempel på olika databaser finns nedan. Klicka på namnet för att komma till respektive databas.

Phyllis

Phyllis är designad och underhålls av ECN (Energy research Centre of the Netherlands). För närvarande innehåller databasen ca 2400 data. Phyllis uppdateras och expanderas kontinuerligt. Om data från Phyllis används refereras till ”Phyllis- database for biomass and waste”

I databasen kan man söka och hitta analyser av en stor mängd bränslen eller grupper av bränslen. Dessutom refereras till artiklar och annan vetenskaplig litteratur för olika data.

BIOBIB – A Database for Biofuels

Arbetet med att göra databasen BIOBIB startade redan 1992. För närvarande innehåller databasen ca 650 olika bränslen och omfattar energigrödor som kan vara aktuella för Europa, trädbränslen och på senare tid har även inkluderats avfall från biomassa som t.ex. returträ, skal och avrens.

BioBank

Biobank omfattar tre databaser som den kemiska sammansättningen av bränslen, askor och kondensat. Databasen framställdes ursprungligen av BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH men uppdateras kontinuerligt med data från medlemsländerna i IEA Bioenergy Task 32. Den innehåller för närvarande information om ca 1000 biobränslen, 560 askor och 30 kondensat. Utvecklingen av databasen har skett i samarbete med universitetet i Graz.

US Department of Energy data base

Databasen innehåller 150 olika biobränsleanalyser mest inom jordbruksavfall, lövträd och energigräs.

DP CleanTech

Databasen innehåller mer än 100 bränslen från Europa, Asien och Afrika. Merparten kommer från Asien varav hälften kommer från Kina.

Bilagor

Bilaga A – Beräkningsrutiner

I **Bilaga A** finns beräkningsrutiner för att beräkna värmevärden, bränsleanalyser, asksammansättning, emissioner samt nyckeltal. Bilagan erbjuder möjligheter att räkna om värden mellan olika enheter samt möjligheter att beräkna nyckeltal för blandningar av upp till fem bränslen.

Bilaga B – Beräkning av fri fallhastighet

I **Bilaga B** finns beräkningsrutiner för att beräkna fria fallhastigheten hos partiklar.

Bilaga C – Mall för proveldning av bränslen

I **Bilaga C** finns ett förslag till mall för standardförsök med rekommendationer om hur proveldningar bör dokumenteras, så att mycket information kan erhållas med en relativt liten insats. Om proveldningar genomförs på samma sätt vid många olika anläggningar underlättar det ett ökat erfarenhetsutbyte.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35