

Användning av energiaskor som fillermaterial vid betongtillverkning

Hillevi Sundblom

**Användning av energiaskor som fillermaterial vid
betongtillverkning**

**Fly ashes from co-combustion as a filler material
in concrete production**

Hillevi Sundblom

Q4-219

Förord

Svenska bränlemixer domineras av bio och ibland tillsammans (eller enbart) med kol. Askor från förbränning av biobränslen uppfyller sällan de kravprofiler som finns uppställda för askor från kolflygaskor vid användning i betong och cement. Regelverken är också i huvudsak anpassade för rena kolflygaskor. Det är utanför Sveriges gränser mycket vanligt med kolflygaskor i betong och cementtillverkning. I Sverige är det idag relativt ovanligt.

I Skåne-regionen har man under en längre tid arbetat med att utveckla processen att använda enbart bergkross istället för naturgrus vid betongtillverkning. Där finns också positiva erfarenheter från användning av flygaskor från biopannor. Projektet som presenteras i det följande syftar till att sammanställa dessa erfarenheter och att vidareutveckla detta koncept.

Ett framtidsscenario är att användning av naturgrus fortsatt kommer att minska och därmed öppna för möjligheten att finna avsättning även för svenska flygaskor i betongsammanhang.

Älvkarleby november 2003

Nordström Erik
Vattenfall Utveckling AB

Abstract

- Tillämpning flygaska som fillermaterial i betong har en marknadspotential på åtgång av 80 000 ton flygaska per år. Största fördelen är att den kan ge lokala lösningar mellan askproducent och lokal betongtillverkare. Den största ekonomiska drivkraften är att askan kan delvis ersätta dyrt cement som bindemedel.
- Teknikdemonstration, (skyddsbetonggjutning) visade på att betong med aska som fillermaterial har samma goda pump- och gjutegenskaper som betong med kalkfiller som fillermaterial. Betongen håller konsistens- och hållfasthetskraven.
- Sydstens erfarenheter av användning av aska från en CFB-panna under ett års tid i betongproduktionen av krossballastbetong (K25, K30) visar på askors lämplighet som fillermaterial i betong.
- Visa askor uppvisade dock konsistensförluster i laboratorieundersökningarna. Orsakerna för konsistensförlusten är komplicerade och fortsatt forskning är nödvändig för att utreda vilka mekanismer som är avgörande i interaktionen mellan aska och cementbruk och hur de påverkar den färska betongens egenskaper.

Sammanfattning

Via Svenska FabriksbetongFöreningen (SFF) har en branschgemensam överenskommelse ingåtts där man skall arbeta för att ”fasa ut” naturgrus vid betongtillverkning. Ökad användning av krossat material vid betongtillverkning istället för naturgrus leder till ökat behov av finmaterial i betong. Detta gäller framförallt i volymprodukterna till hus- och industribyggnader. Flygaska från en CFB panna i Perstorp har använts med gott resultat sedan ett år tillbaks vid betongproduktion av krossballastbetong (K25, K30) med leverans till kunder hos Sydsten i Skåne-regionen. Avsättningsmöjligheterna för askor som fillermaterial i betong är beräknad i projektet att kunna ligga på ca 80 000 ton aska/år. Största fördelen med denna applikation är den lokala avsättningen, små askproducenter kan leverera till närliggande betongfabriker utan längre transporter.

Syftet med projektet är att utreda möjligheter och potential att använda svenska flygaskor som fillermaterial i betong. Den tekniska undersökningen inleddes med ett antal urvalssteg för att hitta lämpliga svenska flygaskor. Flygaskor delades in i olika kategorier beroende på pann- och bränsletyp enligt följande: 1. Slam och bioeldad fluidiserade bäddpannan (pappersbruk), 2. bioeldad fluidiserade bäddpannan, 3. bioeldad pulverpanna samt 4. bioeldad rosterpanna.

Sydsten, med sin erfarenhet från användning av aska som fillermaterial, har utarbetat två huvudkrav på askans kemiska sammansättning. Kloridhalten måste ligga under 0,6 viktprocent TS och restkolhalten får ej överstiga 10 viktprocent TS. Askanalyser samlades in från olika pannor i Sverige, i respektive kategori. Det kunde konstateras att fluidbäddpannorna och pulverpannorna som valts uppfyller de kemiska kraven medan rosterpannorna hade generellt en för hög restkolhalt.

De askor som valdes att undersökas i de reologiska försöken, var askor från kategori 1 (Hallstaviks och Hyltebruks pappersbruk), kategori 2 (Västerås Värmeverk och Värtaverket) och från kategori 3 (Vattenfall Värme Uppsala). Resultaten visade på att askorna från pappersbruken var mer vattenkrävande än övriga askor. En trolig orsak är askkornens specifika yta. Alla askor bidrog till ökad långtidshållfasthet hos den hårdnade betongen och pappersbrukaskorna bidrog även till betongens korttidshållfasthet. Vid inblandning av stora mängder (60kg/m^3) aska tappade betongen konsistens under den första timmen. Samma fenomen noterades hos pappersbrukaskorna vid en minskad mängd aska (30kg/m^3) i betongen. Orsakerna till konsistensförlusterna är ännu inte utredd. Vilka mekanismer som är avgörande i interaktionen mellan aska och cementbruk och hur de påverkar den färska betongens egenskaper är komplexa. Faktorer som kan tänkas påverka är askans morfologi, restkolhalt, halten aluminium- och kalciumoxider samt halten sulfater. Fortsatt forskning är nödvändig för att underlätta valet av askor till aktuell tillämpning. Projektet avslutades med en teknikdemonstration. Sydsten levererade betong med aska från Vattenfall Uppsalas torveldade pulverpanna som fillermaterial till Skanskas gjutning av skyddsbetong i Lund. Gjutningen fortskred med mycket lyckade resultat och askbetongen uppvisade ingen konsistensförlust jämfört

med laboratorieunderökningarna vilket innebar att betongen hade bra pump- och gjutbarhet.

Resultaten i projektet visar på att energiaskor som uppfyller kravprofilen har stor potential att användas som fillermaterial i betong. Ett bevis för detta är det lyckade resultatet vid detta projekts teknikdemonstrationen. En ökad förståelse över vilka mekanismer som samverkar i betongen stelningsförlopp skulle leda till en säkrare och ökad användning av svenska flygaskor i betong. Detta skulle även kunna leda till utveckling av potentiella efterbehandlingsmetoder för att förbättra de askor som i dag inte uppfyller kraven på betongens färska konsistens. T.ex. siktning för att minska restkolhalter m.m.

Summary

The Swedish concrete producers have decided to work towards a common goal to limit the production of concrete with naturally rounded aggregate. A consequence is when use of a substitute, crushed aggregate, the demand of filler material increases. During the last years ashes from the CFB boiler in Perstorp has been utilised as a filler material, with success, in concrete production at Sydsten, Malmö, Sweden.

To examine the potential of using Swedish fly ashes as a filler material in concrete production, have different Swedish fly ashes above been studied to see if they fit the requirements for a filler material. The fly ashes studied in the project can be divided into four different groups, considering fuel mix and boiler type; 1. Bio and sludge fired CFB/BFB boiler from the paper industry, 2. Bio and peat fired CFB/BFB boiler, 3. Pulverized peat/coal firing furnace, 4. Bio and peat fired grate-fired boiler.

From Sydsten experiences of using Swedish fly ashes two demands have emerged concerning the chemical composition of the ashes. The total amount of chloride in the concrete should not be higher than 0,1% and the LOI, (Loss Of Ignition) must be less than 10 %. The different ash analyses showed that the fluidised bed boilers and pulverized firing furnaces, in this study, passed all the chemical requirements but the grate fire boilers had difficulties to fulfil the requirement of LOI.

The ashes chosen to be studied in further rheological investigations in different fresh concrete mixtures were, Category 1 (Hallstaviks och Hyltebruks pappermill), Category 2 (Västerås Värmeverk och Värtaverket) and from Category 3 (Vattenfall Värme Uppsala). The results presented an increased water consumption of ashes from paper mills comparing with the other ashes, a probable reason could be the shape of the ash grains. The experiments also showed that all ashes contributed to the final strength of the hardened concrete, the paper mill ashes also contributed to the initial strength development. During mixture of the fresh concrete with an ash quantity of 60kg/m^3 , it different degrees of loss of consistency was observed during the first hour after mixing. When decreasing the amount of ash to 30kg/m^3 , it was only the paper mill ashes that could not maintain the consistency during the first hour. The mechanisms that are dominating in the interaction between ash and cement during the hardening of the fresh concrete are complex. The reasons why certain ashes create a greater loss of consistency than others are not fully understood. It is necessary to continue research in this issue for simplifying the choices when using ashes in different concrete application. This project resulted in full-scale demonstration. Sydsten in Malmö delivered concrete with ash from the pulverized peat-firing furnace in Uppsala as a filler material to a concrete casting in Lund. The concreting was very successful. The concrete did not lose the consistency as noted in the laboratory experiments. The concrete also demonstrated an excellent workability.

The overall conclusion is, some of the Swedish fly ashes are very suitable to use as a filler material in concrete. A full-scale demonstration and delivery to customer has already been made in south of Sweden (Sydsten). There is also potential to find methods

to refine ashes, which today don't fulfil the requirements of consistency for example sieving, to reduce the quantity of LOI.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	11
2	BETONG OCH FILLERMATERIAL	12
2.1	BETONG	12
2.2	FILLERMATERIAL.....	12
3	ASKOR FRÅN FÖRBRÄNNING	15
3.1	PANNTYPER.....	15
3.2	BRÄNSLEN	17
3.3	ENERGIASKOR PÅVERKAN PÅ CEMENT OCH BETONG	19
4	REOLOGI.....	21
4.1	BETONGS REOLOGI.....	21
5	MARKNADSPOTENTIAL.....	23
5.1	BETONGTILLVERKNING	23
5.2	ASKPRODUKTION	23
5.3	BEDÖMNING AV FRAMTIDA ASKÅTGÅNG I BETONGPRODUKTER	24
6	ERFARENHETSÅTERFÖRING	25
6.1	ERFARENHETSÅTERFÖRING, SYDSTEN	25
6.2	ERFARENHETSÅTERFÖRING PERSTORP.....	26
7	METODBESKRIVNINGAR	28
7.1	URVALSKRITERIUM FÖR ENERGIASKOR.....	28
7.2	BESTÄMNING AV ENERGIASKORNAS FYSISKA EGENSKAPER	30
7.3	SCANNINGTESTER , SYDSTEN	31
7.4	FÖRDJUPAD ANALYS	31
7.5	TEKNIKDEMONSTRATION	31
8	RESULTAT OCH ANALYS.....	33
8.1	ASKANALYSER	33
8.2	VOLYMBESTÄNDIGHET, LE CHATELIER (EN 196-3).....	34
8.3	SIKTKURVOR OCH PARTIKELDENSITET	35
8.4	SEM-BILDER	36
8.5	SCANNINGTESTER, SYDSTEN	39
8.6	FÖRDJUPAD ANALYS	41
8.7	TEKNIKDEMONSTRATION	43
9	DISKUSSION.....	45
10	SLUTSATSER	47
11	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	48
12	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSARBETE.....	49
13	LITTERATURREFERENSER	50

Bilagor

A Recept, Scanningförsök Sydsten	1 sid
B Recept fördjupad analys	4 sid
C Recept, teknikdemonstrationen	1 sid

1 Bakgrund

Möjligheterna till förnyade täktillstånd för uttag av naturballast för betongtillverkning blir allt mindre. Problemet är främst accentuerat i storstadsregionerna där valet då står mellan att välja långa transporter av naturgrus eller att använda krossat material och komplettera med ökad halt finmaterial. Problem med nya täktillstånd finns dock även i regionstäder längs norrlandskusten. SFF (Svenska Fabriksbetongföreningen) har slutit en branschöverenskommelse som innebär ett successivt utbyte av naturgrus mot bergkross. Skillnaden mellan användning av naturballast och krossmaterial är främst inverkan på betongens färska egenskaper. Krossballastens kantiga kornform gör att betongen får avsevärt försämrad mobilitet och arbetbarhet. Svårigheter vid pumpning är ett problem som blir tydligt vid byte av ballasttyp. Lösningen är att komplettera betongen med finmaterial och därmed öka bruksvolymen som då ger en smörjande effekt. I värmeforsk rapporten "Energiaskor i betongrelaterade tillämpningar Normer, praxis och erfarenheter"¹ finns det utrett vilka potentiella användningsområden som finns i Sverige.

Vid t.ex. Sydstens betongfabrik i Malmö används idag regelmässigt flygaska från förbränning av biobränslen i en CFB-panna. Askan används som komplettering av finmaterial vid tillverkning av standardkvaliteter för hus- och industribyggnation. Eftersom askan inte kan typgodkännas enligt gällande europastandards är användningen begränsad till betong utan formella krav på vattencementtalet. Istället för att enbart fokusera på askans halter av olika delkomponenter styrs mängden tillsatt aska av acceptabel totalhalt i betongmixen (t.ex. kloridhalten). Investeringskostnader för utökad silokapacitet har kunnat inräknas genom minskad cementåtgång vid användning av energiaskor. Det finns också ett incitament att titta på energiaskor i allmänhet för ersättning av bindemedel även där man fortfarande använder naturgrus.

2 Betong och fillermaterial

2.1 Betong

Betong är en blandning av cementbaserade bindemedel, ballast, vatten och eventuella kemiska tillsatsmedel. Ballasten består av sand, grus och stenmaterial. Enligt Carlsson et. al.² utgörs huvuddelen av ballasten av partiklar som är större än 0,125 mm. Volymandelen ballast i normal betong varierar mellan 65-75 volymprocent. Ballasten är en viktig beståndsdel eftersom cementpastan påverkas av fukt- och temperaturförändringar som skapar rörelser som i sin tur orsakar sprickor. Det finns även en ekonomisk aspekt i att använda ballast och det är att ballasten är nämnvärt billigare än cement. Cementpastan utgörs i färsk betong av cement och blandningsvatten och i hårdnad betong av den hårdnade porösa blandning av cement och vatten som har bundits kemiskt till cementet. Det i särklass vanligaste bindemedlet för betong i Sverige är ett cement som kallas portlandcement. Cementens huvudbeståndsdelar är kalcium- och kisloxider. Betongens hårdnandeegenskaper bestäms till stor del av cementpastans kvalitet. Cementpastans hållfasthet och täthet styrs av mängden vatten i förhållande till bindemedelsmängden i betongen (bindemedel = cement + aktivt fyller). Om bindemedlet är enbart cement pratar man ofta om förhållandet mellan cement och vatten, det s.k. vct = vattencementtalet. Ofta strävar man efter ett lågt vct för att det är gynnsamt ur hållfasthets- och täthetssynpunkt. För lågt vct kan också vara till nackdel. Om t.ex. vattenmängden är låg påverkar den betongmassans gjutbarhet negativt vilket kan vid extremt låg vattenmängd leda till att betongen blir ogjutbar. I Sverige delas betongen in i olika konsistensklasser, se tabell 1. Figur 12 i rapporten är en bild på ett sättmått som är i konsistensklassen halvflyt.

Tabell 1. Betongens konsistensklasser³

Konsistens benämning	Sättmått (mm)	Beteckning
Jordfuktig	-	J
Mycket styv	-	SS
Medel styv	0-20	S
Plastisk	20-50	P
Trögflytande	50-100	T
Lättflytande	100-150	L
Halvflyt	150-200	HF
Fullflyt	200-240	FF
Specialflyt	-	SF

2.2 Fillermaterial

Enligt Betonghandboken³ definieras fillermaterial som ballast under 0,125 mm. Fillerhalt och fillertyp är speciellt betydelsefull för den färska betongens egenskaper, skärskilt dess sammanhållning, vattenseparationsbenägenhet och lufthalt. Det finns

många olika typer av filler. I dagsläget är kalkfiller det i särklass vanligaste fillermaterialet. Kalkfillret är ett inert material dvs. den reagerar inte med vatten och bidrar därmed inte till hållfasthetsutvecklingen. De andra fillermaterialen (de flesta puzzolaner se 2.2.2) såsom flygaska, silika och slagg innehåller en viss mängd CaO som är benäget att reagera med vatten vid närvaro av en aktivator. I betongsammanhang är det oftast $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (bildas vid cementreaktionerna) som fungerar som aktivator. Det är halten av CaO som bestämmer fillermaterialens inverkan på hållfastheten.

2.2.1 Inerta fillermaterial

2.2.1.1 Kalkfiller

Kalkfiller är mald kalksten t.ex. kalciumkarbonat CaCO_3 . Kornstorleken på fillret varierar beroende på behov men fraktionerna ligger mellan 0,125-0,032mm fillermaterial under 0,125.⁴

2.2.1.2 Glasfiller

Glasfiller är ett finkornigt material bestående av rent glas. Glasfiller utvinns från återvinningsindustrin dvs. glasigloos. Det är det färgade glaset som används eftersom färgat glas inte kan användas i glastillverkningen. Glasfiller uppvisar vissa puzzolana effekter, den kan också i vissa fall förhindra farliga alkali-kiselsyrareaktioner⁵ (reaktioner mellan ballast och betong, där ett mer volyminöst material bildas än betongen vilket leder till att betongen spricker upp).

2.2.1.3 Syrgashyvelgranulat

Det finns undersökningar som har gjorts om lämpligheten att använda Syrgashyvelgranulat som fillermaterial. Syrgashyvel består främst av järnoxider eller metalliskt järn vilket ger partiklarna en hög densitet som i sin tur kan leda till separation. De har även påvisat att den försämrar effekten från flytmedel på grund av sin glasartade yta.⁶

2.2.2 Puzzolaner

Gemensamt för puzzolaner är att de innehåller kalk (CaO). Kalkhalt är däremot för låg, vilket betyder att de inte bara reagerar med vatten såsom cement, utan måste aktiveras. Generellt så förbättrar puzzolaner konsistensen och stabiliteten hos en betongmassa och då främst ”magra” betongmassor. De ger vidare en ökad täthet, förbättrad kemisk beständighet och, vid lämplig dosering, förhöjd hållfasthet hos den hårdnande betongen. Det är fillermaterialens finhet och för vissa filler deras rundhet som ger en bättre formbarhet på betongmassa. De fina kornen fungerar som smörjmedel mellan de grövre stenarna och därför kan lägre vattenhalt användas för erhållen konsistens. De puzzolana reaktionerna är starkt temperaturberoende och är helt oreaktiva vid temperaturer under 5 °C. En god puzzolan innehåller en stor andel glas d.v.s. amorf SiO_2 .

2.2.2.1 Flygaska

Hur man erhåller flygaska och vad den i generella drag består av beskrivs mer utförligt i kapitlet 3, askor från förbränning.

2.2.2.2 Silikastoft

Silikastoftet är en restprodukt vid framställning av kiselmetall och ferrokisel, som är legeringsämnen till stål. Produkten plockas ut från rökgasanläggningarna och innehåller mycket små partiklar av kiseldioxid. Silikastoftet är mycket finare än flygaskan. Silikan som används i betong är till huvuddel amorf, vilket innebär att den är reaktiv och bidrar till en ökad hållfasthet hos den slutliga betongprodukten.

2.2.2.3 Masugnsslagg

Masugnsslagg är en restprodukt från järnindustrin. Järnmalmerna smälts tillsammans med koks och kalksten i en massugn. Gråberget och kalksten bildar en slagg, som flyter ovan på det smälta järnet. Slaggen kyls och mals till ungefär samma finhet på kornen som cement.³

3 Askor från förbränning

Från de stora förbränningsanläggningarna erhålls två huvudtyper av aska, bottenaska (kallad bäddaska från en fluidbädd panna som innehåller en stor mängd bäddmaterial), flygaska. För svavelhaltiga bränslen som kol och i vissa fall torv krävs rökgasavsvavling. Förbränning av avfall kräver även rening av andra ämnen såsom klorider. Vanligtvis tillsätts någon kalkprodukt till rökgaserna för att binda de olika föreningarna. Restprodukten kallas rökgasreningsprodukter⁷.

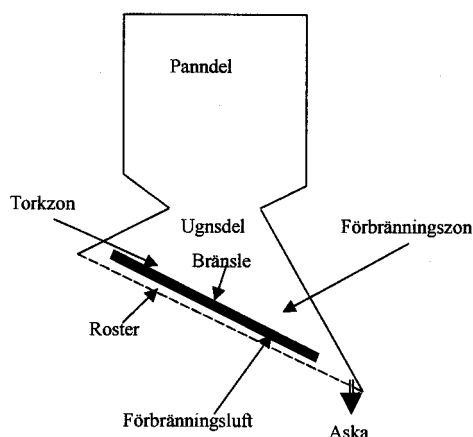
1. **Bottenaska;** samlas upp i förbränningsbehållarens botten och innehåller mer av slaggklumpar och eventuella föroreningar av jord. I t.ex. förbränning i fluidiserad bädd innehåller bottenaskan en stor mängd bäddmaterial.
2. **Flygaska;** innehåller den aska som avgår med rökgaserna. Den kan samlas upp i olika typer av rökgasreningsutrustning, (elektrostatisk- eller mekanisk stoftavskiljning)

De finns många faktorer som påverkar askornas sammansättning och egenskaper. Exempel på parametrar som påverkar dessa egenskaper är bränsle, eldningsteknik, förbränningsbetingelser och rökgasrening⁸. Flygaskan består av finare partiklar än bottenaska och kan innehålla större andel av flyktiga ämnen såsom arsenik, kadmium, bly och zink⁹. Olika typer av förbränningsanläggningar eller rättare sagt panntyper kommer att beskrivas mer i detalj i efterföljande kapitel "Panntyper".

3.1 Panntyper

Det finns tre huvudtyper av pannor i Sverige i dag rosterpanna, fluidiserande bäddpannor (CFB, BFB, PCFB) och pulverpannor. En av den vanligaste utformningen av en fastbränsleanläggning är en rosterpanna med en stoftavskiljare.⁸

Rosterpannan består av en ugnsdelen och en panndelen. I ugnsdelen finns ett roster. Rosten är den anordning som bär bränslet och som tillåter tillförsel av primärluft. Rostret kan vara fast, helt eller delvis rörligt. Förbränningsluften strömmar in genom hål eller springor i rostret. Torkningen av bränslet påbörjas när bränslet matas in i pannan, och förbränningen fortskrider när bränslet mekaniskt matas igenom eldstaden. Från rosterpannan kan man få två typer av aska, bottenaska och flygaska. Bottenaska tas ut från nedre delen av rostret och kyls ofta i ett vattenbad och lagras därför i vått tillstånd. Denna produkt kallas vid förbränning av avfall för slagg. Flygaska avskiljs från rökgaserna med en stoftavskiljare.

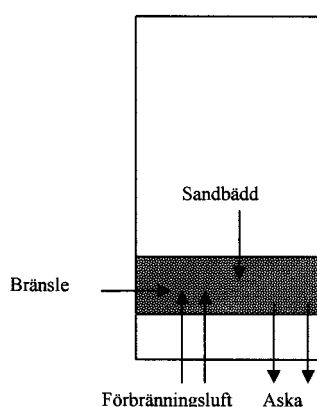


Figur 1. Principiell layout av en rosterpanna⁹

Figure 1. Principal layout of a grate fired boiler

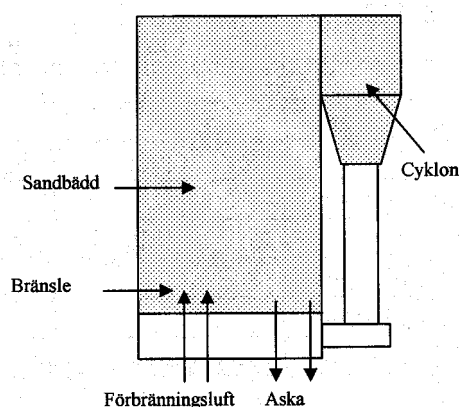
Fluidiserande bädd (virvelbädd) pannor kan delas upp i två huvudtyper bubblande fluidiserande bädd, BFB och cirkulerande fluidiserande bädd, CFB. Principen med fluidiserande bädd är att bädden, som vanligtvis för biobränslen består av sand (kvarssand med fältspater (alkali-aluminiumsilikater)), antar ett fluidiskt tillstånd genom att flyta i en gas eller vätskeström. Största fördelarna med fluidiserande bäddar är deras bränsleflexibilitet. En bränslepartikel som kommer in i bädden värms snabbt upp och antändes på grund av den stora termiska massan som finns i bädden. Förbränningen är god och rökgasutsläppen är förhållandevis låga.

I BFB håller sig sand suspensionen i den nedre delen av pannan. I CFB är fluidiseringen så kraftig att den flyger upp till pannans övre del, där en cyklon avskiljer sand och oförbränt från rökgasflödet. De avskilda partiklarna återförs till pannans nedre del, därav namnet cirkulerande fluidiserande bädd.



Figur 2. Principiell layout av en BFB

Figure 2. Principal layout of a BFB



Figur 3. Principiell layout av en CFB

Figure 3. Principal layout of a CFB

Pulverpanna

I en typisk pulverpanna, injekteras finmalt bränsle i pannan som antänds i suspension inne i pannan. Förbränningen sker i temperaturer runt 1500°C. Det finns två huvudtyper av pulverpannor med avseende på hur man samlar in askan. Den första varianten är ett s.k. torrt system, där till största delen av den restprodukt som produceras utgörs av flygaska (runt 80-90 %). I den andra ett s.k. vått system tas en typ av restprodukt ut från botten s.k. bottenaska (ca. 40-80 %) och resten som återstår är flygaska¹⁰

3.1.1 Askavskiljare

Som nämnt innan tas bottenaskan ut från botten och kylvanligtvis i ett vattenbad och lagras därför i vått tillstånd. Flygaskan däremot kan avskiljas på olika sätt från rökgaserna och hanteras då oftast torrt. Nedan listas de vanligaste stoftavskiljare för fastbränsleanläggningar¹¹ ;

1. Mekaniska avskiljare (cykloner), tröghetskrafterna svarar för avskiljningen. Vid dellaster försämras avskiljningen när gasflödet genom cyclonen minskar. Används mindre och mindre i och med lägre verkningsgrad än andra stoftavskiljare.
2. Spärrfilter (textilfilter, slangfilter), stoftavskiljningen sker genom ”silning” genom ett vävt eller nålfiltat material ursprungligen av textilfiber i form av en slang (Ø 0,12-0,15 m och längd 5-8m). Ett komplett filter består av flera sektioner med ca. 100 slangar i varje sektion. Slangarna blåses rena och stoftet som ramlat ned, samlas upp i fickor nedanför.
3. Elektrofilter, en hög likspänning läggs mellan emissionselektrod och en jordad utfällningselektrod. Gasen som flödar förbi joniseras och speciellt partiklar får en negativ laddning, dras mot utfällningselektroden och fastnar där.

3.2 Bränslen

Det finns en uppsjö av olika bränslen som eldas i Sverige. Bränslena kan delas in på många olika sätt fasta- flytande - gasformiga – avfallsbränslen. Det är torv, kol och avfallsbränslen som producerar den största mängden aska i dagsläge. Trädbränslen innehåller mindre mängd aska, men i Sverige idag eldas stora mängder trädbränsle och därför blir kvantiteten aska från dessa bränslen omfattande. Askhalten i olika bränslen är varierande (tabell 2). Intressant att notera är att trädbränsle har en låg askhalt jämfört med bränslen såsom torv, kol.

Tabell 2. Nyckeltal för volymen aska som erhålles vid förbränningen av ett angivet bränsle, beräknade uppgifter för några anläggningar¹².

Bränsle	Ton aska per GWh bränsle
Trädbränsle	5-10
Pellets och briketter (träd)	2
Torv	18
Kol	12-30
Avfall	c.a 80

Varje bränsle och kombination av olika bränsleblandningar ger en unik asksammansättning.

3.2.1 Torv

Torv är döda växtdelar som byggs upp i lager. Torvlager byggs under en längre tidsperiod och kan med hänsyn till det avseendet betraktas som fossilt bränsle men ur beskattningshänseende betraktas torv som ett biobränsle¹¹. Torv har vanligtvis en fukthalt på 30-45 % när den kommer till förbränningsanläggningarna och ett värmeinnehåll på ca 21MJ/kg. Både askhalt och asksammansättning varierar mycket med olika typer av torv.

3.2.2 Biobränslen

De vanligaste biobränslen från Sverige är bränsle som kommer från skogen eller faller som avfallsprodukter från träindustrin såsom ved, bark, spån, grot (grenar och toppar). Det finns även ett antal förädlade trädbränslen, detta innebär att man dels har ett torrare bränsle och mindre fuktvariation och dels en homogen storlek. Olika varianter är sållad flis, torvgryn, pelletter, briketter, pulver. En annan variant av biobränslen är energigrödor, t.ex. energiskog. Energiskog är snabbväxande träd och buskar såsom pil (salix).

3.2.3 Kol

Kol kan indelas grovt i två typer, stenkol och brunkol men i respektive grupp finns det många olika kol varianter. Stenkol kan innehålla mer eller mindre flyktiga beståndsdelar (syre, kväve mm.). Förbränningen blir allt lättare vid en mindre halt av flyktiga beståndsdelar och förbränningsanordningarna kan vara av en enklare utformning¹¹. Värmevärdet för normal stenkol ligger mellan 30-34MJ/kg. Brunkol är i förädlingsprocessen ett mellanstadium mellan torv och stenkol och därmed ligger dess värmevärdet

3.2.4 Slam från pappersbruk

I dagsläget eldas till största del pappersindustrins slam i olika typer av pannanläggningar, vanligtvis roster- eller CFB pannor. Pappersbruken producerar olika typer av slam som kan delas in i fiberslam eller primärslam, biologiskt slam, kemiskt slam, avsvärtnings slam och övrigt slam¹³. Fiberslam även kallat primärslam är slam som separerats vid försedimenteringen. Fiberslammet består till huvuddel av fiber men sammansättningen varierar kraftigt beroende på vilken typ av produkt som tillverkas på fabriken. Vid ren massatillverkningen består slammet huvudsakligen av fiber medan vid papperstillverkning kan den även innehålla en stor mängd fyllmedel. Biologiskt slam bildas vid biologisk rening av avloppsvatten. Kemiskt slam bildas också vid avloppsreningen om det finns ett kemisk reningssteg. För pappersbruk som använder returpapper kommer största delen av askan från eldning av avsvärtnings slam (slammet innehåller fiber och fyllmedel t.ex. krita). Övrigt slam som genereras inom skogsindustrin kan innehålla massor av olika ämnen såsom trycksvärta, mesa, olika typer av plastrejekt etc.

3.3 Energiaskor påverkan på cement och betong

Den aska som används som fillermaterial i betong är enbart flygaskan. Huvudorsaken för att inte bottenaska används, är att bottenaskan har en kornstorleks fördelning som inte faller inom ramen för ett fillermaterial dvs. kornen är tillmestadels större än 0,125 mm. Vid inblandning av flygaskan, är det viktigt att veta vilka betongegenskaper som är önskvärda och hur askans sammansättning påverkar dessa faktorer. Det viktigaste cement/betong egenskaperna är följande:

- Kemiska sammansättningen (kemisk beständighet)
- Fukthalt
- Partikelstorleksfördelning
- Frostbeständighet
- Krympning

Det är viktigt att använda flygaska med låg restkolhalt annars riskerar man mörkfärgade och fläckiga betongytor och dessutom en okontrollerbar effekt av tillsatsmedel (särskilt luftporbildare) och eventuell en förlängd tillstyvnadstid. Ersätts cement med en ekvivalent mängd flygaska blir hållfasthetstillväxten långsammare än om man endast använder cement som bindemedel.¹⁴

Hur askorna och askornas beståndsdelar kan påverka betongmassa finns listade i tabell 3 och 4. Viktigt att poängtera är att askans nackdelar ofta härrör från askans beståndsdelar, detta kan till viss del styras beroende på förbränningsanläggning och bränsle.

Tabell 3. Eventuella förbättringar vid användning av aska i betong

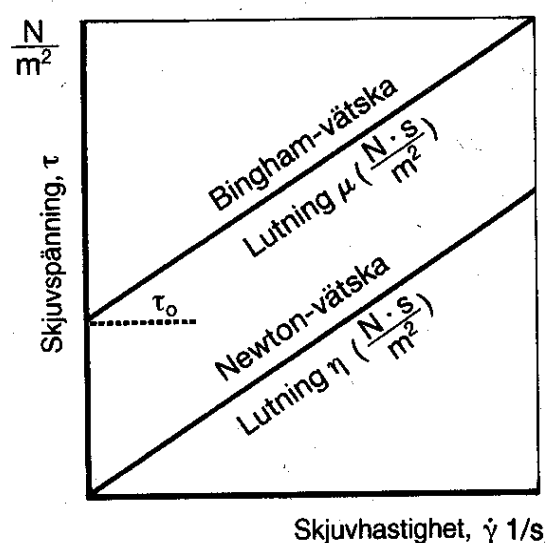
Förbättringar	
	• Bättre ytfinish och formbarhet • Bättre pumbarhet • Bättre långtidshållfasthet • Mindre krympning • Högre elasticitetsmodul • Bättre motståndskraft mot svavel- och alkaliangrepp • Minskad permeabilitet • Minskad risk för termosprickor p.g.a. lägre hydratiseringsvärme

Tabell 4. Eventuella försämringar vid användning av aska i betong

Försämringar	
	• Klorider i askan kan öka risken för armeringskorrosion • Alkali kan reagera med SiO_2 s.k. alkali-silika reaktioner och orsaka sänkt hållfasthet och sprickbildning. • Närvaro av SO_3 kan innebära förlängd bindetid • Restkolhalt, kan absorbera organiska tillsatsmedel (för att förbättra frostegenskaper och bearbetbarhet) och därmed öka doseringsbehovet. • Ersätts cement med puzzolaner ökas risken för plastiska krympsprickor på grund av förlängd bindetid

4 Reologi

Reologi är definierad som läran om deformation och flöde av materia. För betong är det förknippat med betongens färska egenskaper dvs. betongens flödesegenskaper. För att kunna beskriva flödesegenskaperna för en materia tittar man på hur materialet förändras (deformeras) under tryck. När man applicerar ett tryck (skjuvspänning) på en vätska, deformeras vätskan, upphör trycket stannar deformationen upp. Denna process ger olika relationer mellan den applicerade spänningen (skjuvspänning), hastigheten på deformationen där man med hjälp av olika modeller kan tyda vätskans olika flödes egenskaper såsom flytgräns och viskositet. Den enklaste relationen är för newtonska vätskor, där hastigheten för deformation (skjuvhastigheten) är proportionellt med applicerad skjuvspänning.



Figur 4. Samband mellan skjuvhastighet och skjuvspänning [2]

Figure 4. Relationship between shear rate and shear strength [2]

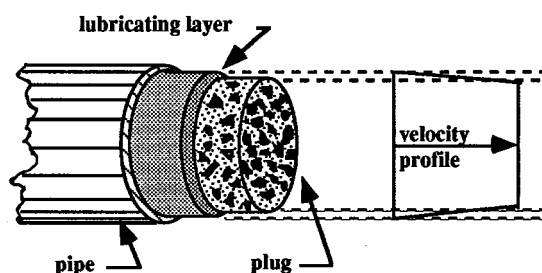
4.1 Betongs reologi

För färsk betong är Bingham-modellen passande därför att betongmassan kräver en viss energi för att börja röra sig dvs. betongmassan har en flytgräns. I Bingham-modellen betraktas vätskan som odeformerbar vid spänningar under flytgränsen och över flytgränsen är ökningen av skjuvspänningen proportionellt mot skjuvhastigheten. I denna modell är det två parametrar som beskriver flödesegenskaperna, flytgräns, τ_0 (Pa) och viskositeten η (Pas).

Varför är det viktigt att veta betongens reologiska egenskaper?

Först och främst ställer regelverk funktionskrav (enligt Betong handboken) på betongmassan såsom att den ska fylla ut formen, omsluta armeringen och förbli homogen under hantering. Reologiska försök ger information om hur betongmassa uppträder vid t.ex. gjutning, pumpning etc. Det har noterats att när betongen pumpas i

slangar beter den sig som en fast plugg (figur 5)¹⁵. Här spelar flytgränsen en stor roll för att kunna förutspå hur mycket energi (tryck) som behövs för att få denna ”plugg” i rörelse dvs. flytgränsen visar hur mycket energi det krävs för att få betongmassan i rörelse. För att kunna anta ett pluggflöde måste hastighetsprofilen vara konstant i hela planet.



Figur 5. Betong i slang: pluggflöde¹⁵

Figure 5. Concrete in pipeline: plug flow¹⁵

I betongsammanhang så pratar man ofta om arbetbarhet som beskriver betongens gjutbarhet, vilket är ett förenklat mått på betongens reologiska egenskaper. Det saknas direkta metoder att mäta betongens arbetbarhet och därför används en del förenklade mätmetoder. Sättnmätt är den vanligaste och det enklaste sättet att mäta konsistensen².

4.1.1 Parametrar som påverkar betongens reologi

Betongens konsistens påverkas av olika parametrar. I första hand är det betongens vattenmängd som styr konsistensen. Ökad vattenmängd ger lösare konsistens vid i övrigt oförändrade förhållanden. En annan parameter som spelar in är storleken och utseende på ballasten. Finkorniga partiklar ökar till en början massans rörlighet och smidighet. Vid för stor mängd finmaterial blir dock betongen kletig och svårbearbetad. Utseendet på ballasten spelar in på så sätt att rundkornigt stenmaterial dvs. singel ger lägre vattenbehov än krossballast.

Konsistens kan även påverkas av tillsatsmedel. Det är främst de vattenreducerande medlen som påverkar konsistensen men även luftporbildande medel har en ”smörjande verkan”².

5 Marknadspotential

5.1 Betongtillverkning

År 2002 tillverkades c:a 2,3 miljoner m³ fabriksbetong i Sverige. Volymen förväntas att minska 2003 och ytterligare 2004, därefter en återhämtning till 2,5 milj m³ enligt Sandahl, Fabriksbetong¹⁶. Detta är total produktion av betong där det finns potential att använda aska som fillermaterial. I Sydstens betongfabrik i Malmö används idag regelmässigt flygaska från förbränning av biobränslen i en CFB-panna. Askan används som komplettering av finmaterial vid tillverkning av standardkvaliteter för hus- och industribyggnation med enbart krossballast. På sydstens fabrik i Fosie utgörs 35-40 % av produktionen av betong med aska som fillermaterial¹⁷. Detta är ideal fallen i Sverige i dag det är många regioner som inte använder aska i betong överhuvudtaget. Sist i kapitlet finns en uppskattning av hur mycket aska som skulle kunna användas i betong applikationer baserade på uppgifterna ovan.

5.2 Askproduktion

I Sverige produceras i dag enligt tabell 5 nedan 785 000 ton bottenaska och 415 000 ton flygaska. Den aska som kan användas som fillermaterial i betong är flygaskan.

Tabell 5. Askproduktion i Sverige, 2003¹⁸

Panntyp/bränsle	Askmängd, ton/år	
	<i>Bottenaska</i>	<i>Flygaska inkl RPG</i>
Roster/ Hushålls-, Industriavfall	400 000	70 000
Roster/ Kol, Gummi	15 000	10 000
Roster/ Pappersindustrin	100 000	60 000
Roster/ Returträ	15 000	5 000
Roster/ Trä, Torv	35 000	15 000
Roster/ Sågverksindustrin	80 000	20 000
Pulver/ Kol	15 000	30 000
Pulver/ Torv, Trä	15 000	40 000
CFB, BFB/ Trä, Torv	25 000	30 000
CFB, BFB/ Pappersindustrin	30 000	70 000
CFB, BFB/ Husålls-, Industriavfall	20 000	30 000
CFB, BFB/ Returträ	15 000	15 000
PFCB/ Kol	20 000	20 000
SUMMA:	785 000	415 000

5.3 Bedömning av framtida askåtgång i betongprodukter

En bedömning av vilka mängder aska som kan komma att användas i betongapplikationer har i detta kapitel räknas ut baserad på uppgifter från betongindustrin¹⁶ och Sydsten¹⁷.

Tabell 6. Beräknad mängd aska som kan användas som fillermaterial i dagsläge (2003)

Total produktion betong per år	Procentandel betong med krossballast/aska		Askmängd	Total mängd aska per år	
2,5 miljoner m ³	Min	Max	40 kg/ m ³	Min	max
	35%	40%		35 000 ton	40 000 ton

Uträkningen i tabell 6 är beräknad på hur betongtillverkningen ser ut i dag (2003). Om man tänker sig ett framtidsscenario där man redan vet i dag att naturgrus kommer att ersättas med krossballast, med behov av fillermaterial. Om man spekulerar vet man genom erfarenheter från Sydsten att mängden med krossballast och aska är 35-40 % av total produktion. I framtiden kommer sannolikt mängd betong med krossballast utgöra ca 70 % av den totala produktion betong (tabell 7).

Tabell 7. Beräknad mängd aska som kommer att kunna användas som fillermaterial i framtiden

Total produktion betong per år	Procentandel betong med krossballast/aska		Askmängd	Total mängd aska per år	
3,0 miljoner m ³	Min	Max	40 kg/ m ³	Min	Max
	40%	70%		48 000 ton	84 000 ton

I dagsläget (2003) finns det en möjlighet att använda 40 000 ton aska som fillermaterial i betong per år i Sverige. I framtiden skulle den siffran kunna höjas till det dubbla i och med en ökad användning av betongprodukter såsom betong med krossballast, vibreringsfri betong etc.

6 Erfarenhetsåterföring

6.1 Erfarenhetsåterföring, Sydsten ¹⁷

På Sydstens betongfabrik i Malmö har man använt flygaska från Perstorps bioeldade CFB panna i ca ett år. Vilka erfarenheter man har haft runt användningen av aska som fillermaterial beskrivs nedan.

6.1.1 Användning av aska

Askan visade sig vara mer voluminös än både cement och kalkfiller. Provblandningar visade att ungefär 20kg aska ersätter 15 kg cement.

Användning har visat följande erfarenheter:

1. Vid mycket stora doseringar av flygaska kan en viss sulfidlukt uppträda
2. Det går lika bra att transportera askan med skruv som det gör med cement eller andra fillermaterial.
3. Har askan för hög restkolhalt har man upptäckt
 - a. Restkolet ger problem vid användning luftporbildande medel
 - b. Askan blir brandfarlig, har förekommit explosioner i silon dvs. aska synes kunna bli explosionsbenägen
 - c. Ger missfärgningar på betongen

Vid återanvändning av slamvatten från betongfabriken i ny betong uppmärksammades en ökad styvhet på betongmassan vid inblandning av aska jämfört med att bara använda cement. En trolig orsak är att slamvattnet innehåller Ca(OH)_2 som aktiverar CaO i askan och startar en förstyvnings process. Det är samma reaktioner som sker i betongen vid blandning av cement, aska och vatten den s.k. puzzolanaeffekten hos aska (se kap. fillermaterial)

Tabell 8. Fördelar och nackdelar vid användning av aska

Fördelar	Nackdelar
Kostnadsbesparing Miljö, minskade CO_2 utsläpp	Volymskrymmande jämfört med cement 2:1

Recept: Vid tillverkningen av en kubikmeter (m^3) betong med krossballast (0-4 mm) är fillerbehovet 20-30kg och behovet av cement är 270kg, men idealfallet är att använda 40-60kg aska och motsvarande 250kg cement.

6.1.2 Myndigheter

Att hantera aska på en betongfabrik är anmälningspliktig verksamhet enligt miljöbalken.

6.1.3 Kostnader

Silokostnader: Silo, slutning och fundament ett ungefärligt pris på 200.000kr
Eventuell pålning tillkommer om jorden under är dålig.

Tabell 9. Översiktlig prisjämförelse mellan olika fillermaterial

	Cement	Glasfiller	Kalkfiller	Aska
Pris:	700kr/ton	600kr/ton	300kr/ton	150kr/ton

Vad som ytterligare kan vara en kostnad är tiden för transport, lastning och lossning. Hos Sydsten tar lossning, vid torrhantering av askan, ungefär 1h för 30 ton.

6.2 Erfarenhetsåterföring Perstorp¹⁹

I dag levererar Perstorp aska till tre betongtillverkare, Sydsten i Fosie, Finja Betong i Finja Hässleholm, Finja Betong, Eskilstuna. Efter diskussion med Erik Malmberg på Perstorp Support AB, om deras erfarenheter av att leverera aska till olika betongtillverkare, skrev han nedanstående text om deras erfarenheter kring askhanteringen.

Bakgrund

Tills för några år sedan gick all vår flygaska till deponi, med en tillsats av ca 25-40 % vatten (numera ca 20 %) som bindemedel. Vi inledde då ett arbete för att hitta alternativa metoder för hantering av flygaskan. En av de idéer som kom fram var att det fanns en bra möjlighet att kunna avyttra denna volym till betongindustrin som fyllnadsmedel eller som prima råvara med tanke på sammansättningen. Inom Perstorpkoncernen finns en avdelning som arbetar med betongtillsatsmedel och med hjälp av dem så startade vi upp ett projekt med målet att finna avsättning för den uppkomna volymen flygaska.

Krav på aska

Vad som framkom var vikten att ha bra kontroll över sammansättningen och innehållet bla av ämnen som bly, olika tungmetaller, klorider, svavel och ammoniak (då vi doserar ammoniak för NOx-reduktion). Genom olika analyser kunde vi visa att vår aska jämfört med dansk flygaska från kol pulvereldning som användes på olika ställen hade bra egenskaper vilket gjorde den till en bra ersättare.

Praktiska detaljer

Vår flygaskasilos rymmer ca 80 ton flygaska, produktionen uppgår till ca 1600 ton årligen fördelat på ca 320 drift dagar. Nedtömningen av flygaska till deponi skedde (och sker) genom uttömning via en doserskruv till en täckt 30 m³ container och mellanlagras sedan någon vecka hos oss innan den körs till deponi. Den enda modifiering vi har gjort är att efter doserskruv tillverka en slang med kon som passar till manluckan på bulkbilarna för att minimera damningen och minska kontakten med luften. Förutom detta har vi även satt in vid doserskruv ett spirorör med en liten fläkt kopplad tillbaka till

flygaskasilon för att skapa ett undertryck i utmatningen för att ytterligare minimera damningen runt hanteringen. Vad som vore önskvärt är att öka utmatningshastigheten för att minska lastningstiden vilket tidigare inte var avgörande. Till detta kommer att hitta en pålitlig metod för att mäta nivån i silon, utan att använda lastceller som kräver ombyggnad av silon. Produktionsmässigt har vi ett överskott under perioden jan-april än behovet, medan vi under resten av året har ett litet underskott. Det vore önskvärt att hitta en metod att kunna fördela efterfråga och kapacitet som att man får en jämn tillgång/efterfråga under hela året.

7 Metodbeskrivningar

7.1 Urvalskriterium för energiaskor

För att kunna välja lämpliga flygaskor till projektet krävs ett urvalssystem. De regelverk som behandlar askors lämplighet i betong är en europastandard prEN450-1, "Fly ash for concrete", 2001-06". Denna standard är däremot utvecklad för en flygasktyp, nämligen aska från koleldade pulverpannor. Eftersom detta projekt är ett pilotprojekt på att undersöka om Svenska energiaskor är lämpliga att använda i betong är det viktigt att alla typer av pannor och bränslen var representerade. De olika värmeverk och pappersbruk som ansågs representativa är uppräknade i tabell 10.

Tabell 10. Värmeverk och pappersbruk som producerar lämpliga flygaskor med avseende på panntyp och bränslemix

	Rosterpanna	Fluidbädd (CFB, BFB, PCFB)	Pulverpanna
Kol	Sydskraft Norrköping	VärtaVerket	
Torv			Vattenfall Uppsala
Biobränsle		Sydskraft Örebro Perstorp	
Biobränsle, Kol	T.V. Linköping		
Biobränsle, Torv		Västerås Mälarenergi	
Biobränsle, Slam	Holmen, Braviken	Stora Enso Fors Stora Enso Nymölla Holmen, Hallsta Stora Enso Hylte	

Idéen att använda andra typer av askor väcktes av Sydsten AB, Malmö, eftersom de har praktisk erfarenhet av användning av flygaska i betong. I detta projekt valdes som första urvalssteg att följa de krav som Sydsten hade på aska, eftersom att det har en erfarenhet på ett års användning av flygaska i betong.

Första urvalssteg innebar att jämföra de olika askornas kemiska analyser. De kriterium som var fastställda;

1. Sydstens kemisk krav gällande klorider och restkolhalt skulle vara uppfyllda
2. De olika panntyperna och bränslen skulle vara representerade till nästa urvalsteg
3. Max 5 askor skulle gå vidare

Andra urvalssteg, var scanningtester på Sydsten där man ska jämföra de 5 askornas fysiska egenskaper såsom volymbeständigheten, hållfasthet, konsistens. De tre askor

som hade bästa egenskaperna gick vidare till en fördjupad analys hos Vattenfall Utveckling.

Tredje urvalssteget, fördjupad analys vilket innebar en studie av de olika betongmassornas reologiska egenskaper. Den aska som uppvisar störst likhet med referens går vidare till ett fullskaligt försök i Sydstens anläggning i Malmö.

7.1.1 Kemiska krav

De krav som sydsten ställer på askan är sammanställda i tabell 11.

Tabell 11. En jämförelse av krav på aska, (i viktprocent torr aska), som ska användas i betongtillverkning

Krav wt%	Europastandard, prEN 450-1	Sydsten
Klorhalt, Cl⁻	<0.10%	<0.50%*
Sulfater, SO ₃	<3%	
Fri kalciumoxid CaO	<2.5%	
Magnesiumoxid, MgO	<5%	
Reaktiv kalciumoxid	<10%	
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	>70%	
Alkalihalten	<5%	<5%
LOI (restkolhalt) (1000°C)	<5%	<9%

*Den maximala kloridhalten i betongen får man fram genom att summera alla delmaterialens kloridinnehåll. Summan får i dagsläget vara högst 0,1%. I framtiden kommer denna att höjas till 0,2%.¹⁷ Detta gör att en högre halt klorider i askan accepteras beroende på de andra delmaterialen.

Enligt prEN450-1 är LOI (loss on ignition, restkolhalt, halten oförbränt) halten av oförbränt kol i flygaskan. Denna parameter ska testas efter EN 196-2. Det är tillräckligt om man visar att halten oförbränt kol håller sig inom kategorierna specificerade ovan. Viktigt att notera är att LOI 1000°C är inte bara halten oförbränt utan kan även inkludera avgång av kristallvatten, kemiskt bundet vatten, en del svavelföreningar och CO₂ bundet i karbonatet t.ex. i kalksten och dolomit.

Fri kalciumoxid, Om denna halt överstiger 1% eller är mindre än 2.5 % i viktprocent ska ett volymbeständighets test göras enligt SS EN 196-3

De kemiska kriterier som har haft störst inverkan enligt Sydstens erfarenheter är halten klorider och restkol. En annan parameter som är viktig att titta på är den fria mängden CaO, eftersom den påverkar volymbeständigheten hos den slutliga produkten.

7.2 Bestämning av energiaskornas fysiska egenskaper

7.2.1 Volymbeständighet, Le Chatelier

Askornas volymbeständighet testades enligt EN 196-3, "Le Chateliers" test. Testet är utformat för cement enligt standarden ovan. När flygaska testas är sammansättning 30 % aska och 70 % cement. Kravet för volymbeständig aska är att utvidgningen inte får vara större än 10 mm. Askorna krävde olika mängder vatten för att uppnå samma konsistens som referensmaterialet. Därför gjordes vissa prover med en större mängd vatten för att få rätt konsistens på cement/aska blandningen. Se tabell 12.

Tabell 12. Vattenmängden för respektive le Chatelier provning

	Cement	Hallstavik	Hyltebruk	Uppsala	Värta	Västerås
Vattenmängd (g)	175	264	264	175	175	225
Procentuella skillnaden %*	0	51	51	0	0	29

* Ett referensprov gjordes, vid ökad vattenmängd multiplicerades resultatet med den procentuella skillnaden av vattenmängdsökningen t.ex. Hallstavik ökades vattenmängden med 89g dvs. den procentuella ökningen var 51%.

7.2.2 Siktkurvor och partikeldensitet

Vid tillverkning av betong är det viktigt att veta den exakta kornstorleken på alla delmaterial. En ballast som har en felaktig sammansättning av sten, grus och sand kan ge oönskade egenskaper i färskt tillstånd, vilket i sin tur kan leda till sämre hållfasthet och beständighet. För att en betong skall bli bra skall blandningen av ballast, cement, vatten samt eventuella tillsatser kunna samverka på ett bra sätt. Om det finns för lite finmaterial i en ballast kan inte betongen hålla ihop i färskt tillstånd och de grova kornen sjunker mot botten medan cement vandrar mot ytan. Detta ger en mycket dålig betong med risk för krympning och sprickbildning i ytan samt mycket dålig hållfasthet längre ner. Enligt prEN 450-1 får max 40 % av askan få vara större än 0.0045 mm och variationen från medelvärdet av de olika testerna får inte överstiga 10 %.

För att bestämma askornas partikelstorlekar gjordes siktanalyser på askan i Scancem Research:s laboratorium i Slite enligt metoden i SS-ISO 13320-1 Partikelstorleksanalys – Laserdiffraktion. Även bestämning av partikeldensitet gjordes på samma ställe som siktkurvorna på en autopyknometer (använder heliumgas för att mäta upp det invägda materialets volym) som fungerar i enighet med EN 196-6.

7.2.3 SEM-bilder

Förutom kornstorleken har även askans morfologi en stor inverkan på betongens färskaegenskaper. Morfologin styr askornas vattenadsorption och därmed betongens flödesegenskaper.

Flygaskorna är ett finmalet material och därför är det svårt att se askornas form och yta med blotta ögat. Därför användes ett Svepelektronmikroskop (SEM) för att studera askornas morfologi.

7.3 Scanningtester , Sydsten

Receptet som användes i försöken var för en K30-16-HF 60kg/kbm (K30 = Tryckhållfasthet minimum 30Mpa på 150mm kuber, 16 = max stenstorlek, HF = Konsistensklass (se betongkapitlet) halvflyt). Recepten återfinns i Bilaga A. Betongen blandades i 40 liters satser.

Scanningtesterna innebar följande moment,

1. Okulär besiktning
2. Temperatur vid blandning
3. Sättnått
4. Hållfasthet på kuber 15x15 cm och provning av 1, 7 och 28 dygns hållfasthet

7.4 Fördjupad analys

Fördjupad analys innebar att studera de olika askornas påverkan på betongens flödesegenskaper.

Första steget var att proportionera lämpliga betongrecept. Recepten proportionerades efter en referenskurva (här med kalkfiller), där även de finare sektionerna av siktkurvan dvs. fillermaterialen tagits i beaktning. Recepten för respektive aska och kalkfiller (referensmaterial) finns i Bilaga B. Betongen blandas i 25 litersatser.

De reologiska undersökningarna gjordes i en standard reometer (Fabrikat reometer: Paar Physica UDS 200, Tillverkare: Physica Messtechnik GmbH). Mätningarna gjordes efter en logaritmisk tidsskala på 30 mätningar. Provningsprogrammet var följande, 6 mätningar på varje blandning med 5 minuters mellanrum mellan varje mätning. Ett krav på betongen är att den ska kunna hålla konsistens minst en timme när man har flyttillsatsmedel i blandningen.

7.5 Teknikdemonstration¹⁷

Teknikdemonstration genomfördes fredagen den 26 september 2003. Betongen tillverkades på Sydstens fabrik i Malmö och levererades som ett lass till skyddsbetong inför Skanskas brobygge på Timjanvägen i Lund (projektledare Lars Ahlström, Skanska). Skyddsbetongen är till för att skapa en hårdgjord yta för att kunna gjuta en

bro som sedan skall lanseras in under de intilliggande järnvägsspåren (se figur 6). Ett av lasserna till denna gjutning var betong med aska från torveldade pulverpannan i Uppsala Värmeverk.



Figur 6. Skyddsbetong gjutning, Timjanvägen, Lund

Figure 6. Concrete casting at Timjanvägen, Lund

7.5.1 Utförande

Betongkvaliteten som krävdes för denna gjutning var en K30 med 16 mm stenmax och konsistensen halvflyt, se recept bilaga C. Det är förhållandevis en lös betong som har goda pumpegenskaper. Transporttiden från Betongfabriken till arbetsplatsen var cirka 20 minuter. Betongen pumpades och sättmått togs både på fabriken och ute på arbetsplatsen (ca 30min efter blandning). Kuber göts för hållfasthetsprovning efter 3 dagar, 7 dagar och 28 dagar. Medverkande i teknikdemonstrationen var Jessica Andersson, Jonas Boy, Frank Oberlies, Kjell Danielsson och Peter Weywadt. För ytterligare information om gjutningen kan ni höra av er till den sistnämde¹⁷.

8 Resultat och analys

8.1 Askanalyser

Det finns många olika varianter på askanalyser ute på marknaden och det finns inte någon "standardmodell" för hur dom ska se ut. Detta gjorde arbetet med att sammanställa askanalyserna lite problematiskt. Först och främst var det flera askor som saknade kloridhalten, vilket var en av huvudkriterium för att kunna gå vidare i fortsatt analys i det här projektet. Vissa askor var också analyserade oftare än andra t.ex. några producenter analyserar askan 4ggr/år och andra varje månad. Alla insamlade analyser resulterade i Tabell 13.

Tabell 13. Sammanställning askanalyser i %TS

	Cl ⁻	SO ₃	MgO*	CaO*	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Alkali- halten	LOI ^a , restkolhalt
KRAV EN (%)	0,1						<5
KRAV SYDSTEN (%)	0,5						<10
PANNA							
PULVER							
Vattenfall Uppsala, bio	0,24	x	8	37	39	0,8	5
Vattenfall Uppsala, kol	0,28	x	5	16	48	x	23
ROSTER							
TV Linköping	x	x	x	x	X	x	23
Sydskraft N-köping	7000ppm	x	6	14	47	4	25
CFB							
Birka Väme Värtaverket	0,04	6	15	22	37	1,6	10
Sydskraft Örebro	0,6	4	1	25	21	2	<0,1
Perstorp	1	x	2,87	15	48	5,5	11
Mälarenergi V-ås	0,2	1,7	3	24	55	5	0,3
Sydskraft N-köping	x	x	3	19	63	5,0	4
Stora Enso Fors	0,34	x	2	26	60	3,9	3
Stora Enso Nymölla	x	x	6	20	37	6,1	29
Holmenpaper Hallsta	0,2	x	4	26	49	1,7	10
Hyltebruk	0,2	x	6	36	44	1	10

* Mängden klorider kan mätas på olika sätt. Resultaten kan variera beroende på vilken metod som används. I den här tabell vet man inte vilken metod som har använts, eftersom analysera har erhållits av respektive bruk.

**Mängden metaller som finns i askan presenteras enligt standard i form av oxider. Om tar t.ex. CaO i tabellen, är det inte fri CaO, utan den totala mängden kalcium i olika föreningar som finns i provet.

*** LOI-testning kan ske vid olika temperaturer. I den här tabellen vet man inte vilken metod som har använts, eftersom analysera har erhållits av respektive bruk.

Det första urvalet av askor skulle ske med hjälp av askanalyserna. Kraven var först och främst på klorid och restkolhalt men även att få askor från respektive panntyp och representativa bränslemixar. Det är viktigt att poängtera att de askor som gick vidare för testning ska representera de olika kategorier som finns i tabell 10 dvs. de olika kategorierna valdes att vara;

1. Fluidiserade bäddpannan (CFB, BFB, PCFB), bränsle: slam och biobränsle
2. Fluidiserade bäddpannan (CFB, BFB, PCFB), bränsle: biobränsle
3. Bioeldad pulverpanna
4. Bioeldad rosterpanna

En representativ aska från respektive kategori gick vidare för fortsatt testning. De askor som gick vidare till fortsatt undersökning är markerade med kursiv stil i tabell 13. Kategorin rosterpannor uteslöts på grund av för höga restkolhalter. I stället för en rosterpanna valdes Värtas trycksatta, koleldade PCFB-panna för att den var annorlunda och därför ett intressant fall att studera.

8.2 Volymbeständighet, Le Chatelier (EN 196-3)

Det är viktigt att ta i beaktning att de olika proverna har olika vattenmängder. Vattenmängden påverkar naturligtvis svällningen men jämfört med referensen och gränsvärdet, som är att utvidgningen ska vara mindre än 10 mm, så klarar alla askorna volymbeständighetskraven med god marginal.

Tabell 14. Resultat från Le Chatelier provningen i mm

	Före uppvärmning	Efter uppvärmning	volymutvidgning
Uppsala	7	9,5	2,5
Västerås	9	10,5	2*
Hylte	8	9	1,5**
Värta	10	10	0
Hallsta	9	10	2**
Referens (cement)	13	15	2

* Omräknad beroende på en ökad vattenmängd (29 %) jämfört med referensblandningen

** Omräknad beroende på en ökad vattenmängd (51 %) jämfört med referensblandningen

I tabell 13 visas att de olika askorna är volymbeständiga enligt standard prEN 450-1. Viktigt att tänka på är att askorna absorberar mer eller mindre vatten och metoden kan därför vara oprecis till viss mån.

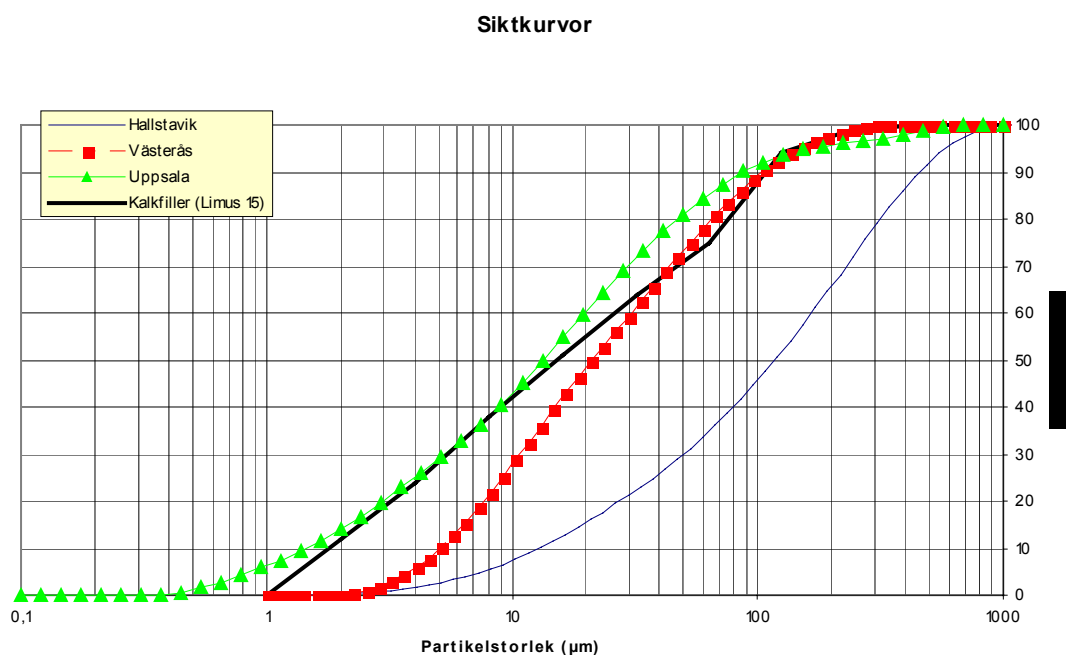
8.3 Siktcurvor och partikeldensitet

Siktcurvor används normalt för partikelstorleks analys för inerta material inom betongindustrin, såsom cement och kalksten. Dessa materials optiska egenskaper skiljer sig inte mycket från varandra. Däremot flygaskan kan se ut på många olika sätt och ha helt olika egenskaper jämfört med både askor sinsemellan och inerta material.

Enligt Roger Lehrberg, Cementa Research AB²⁰ erhöles olika resultat beroende på antingen tekniken eller materialet. Siktcurvorna gjordes i olika omgångar och följande observationer kunde han göra under de olika mätningarna,

1. Att för askorna ändrades de optiska egenskaperna med avseende på absorptionsindex
2. Hallsta askan klibbade något mer än de andra på instrumenten
3. Att resultaten är något osäkra vid lägre partikelstorlekar ($2\mu\text{m}$) beroende på antingen materialet eller mätmetoden.

I figur 6 kan ni se siktcurvor för Hallsta, Västerås och Uppsala askan samt siktcurvan för de kalkfillermaterial (Limus 15) som användes till referensbetong. Viktigt att notera är att Uppsalas och kalkfillerns siktcurvor har gjorts vid ett annat tillfälle och kalkfillers siktcurva har fått från ett produktblad från Nordkalk.



Figur 7. Siktkurvor på askor från Hallsta, Uppsala och Västerås

Figure 7. Grading curves on ashes from Hallsta, Uppsala and Västerås

För att kunna proportionera ett betongrecept rätt behövs både siktkurvor samt materialets densitet. Densiteten för de fillermaterial som användes i försöken i denna studie finns i tabell 15.

Tabell 15. Partikeldensitet för de olika askorna

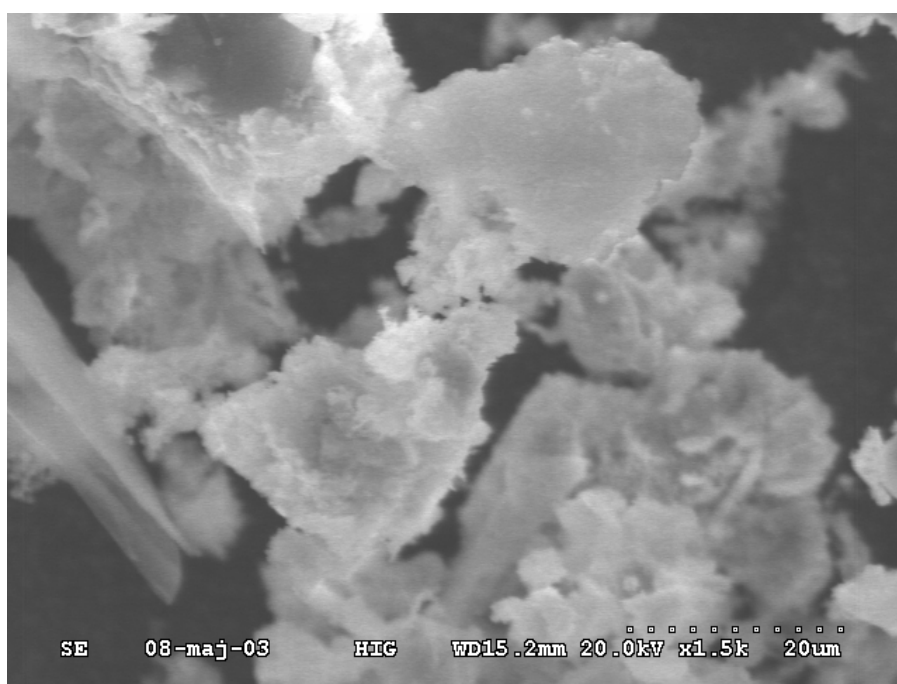
	Kalkfiller	Hallstavik	Uppsala	Västerås
Densitet (kg/m ³)	2,4	2,5	2,5	2,9

8.4 SEM-bilder

Ett problem med askorna har varit att det absorberar mycket vatten vars halt man helst vill sänka i betongen. Det är också en väldigt stor variation mellan de olika askorna. Vad vi har noterat under försökens gång är att pappersbruksaskorna har en tendens att kräva mer vatten. För att kunna förstå orsaken till varför vissa askor krävde mer vatten än andra måste en undersökning av askkornens morfologi (form, specifik yta mm.) göras.

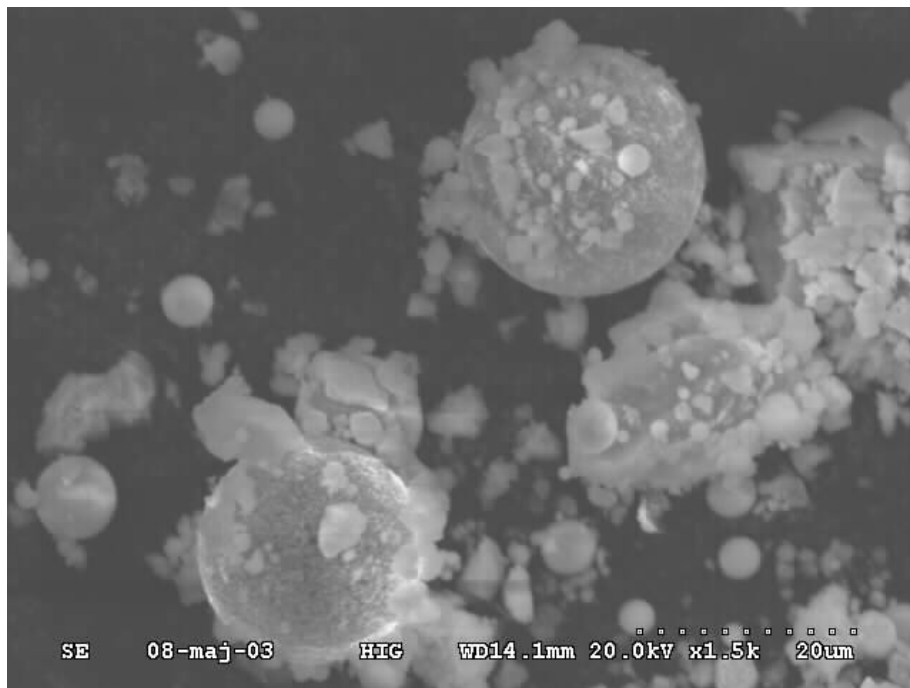
De askor som undersöktes var Hallstavik, Uppsala, Västerås. Bilderna nedan togs alla i samma förstoring (20kV). Syftet med att studera askornas kornform är att få en ökad förståelse i varför vissa askor absorberar mer vatten än andra. I figurerna 8-10 kan noteras att Uppsala askans korn är sfäriska medan både Hallstavik och Västerås har

askkorn med oregelbundna former. Skillnaden på kornform kan vara orsaken till att vissa askor är mer vattenkrävande än andra. Den specifika ytan spelar en stor roll i hur stor mängd vatten som kan absorberas. Sfären är den minsta specifika ytan som är möjligt, ju större yta desto mer vatten kan adsorberas dvs. material med oregelbundna korn är mer vattenkrävande. Vad som också kan noteras är att t.ex. Uppsalas aska har mindre och mer väldefinierade korn jämfört med både Hallstaviks och Västerås aska, som har ett mer hopplibbat material. Detta kan också vara en orsak till att Hallstaviks och Västerås aska är mer vattenkrävande. Oregelbundna korn och mer hopplibbad aska hos fluidbäddpannorna kan bero på att askan påverkas av både bäddmaterialet och den högre halten restkol jämfört med pulverpannan.



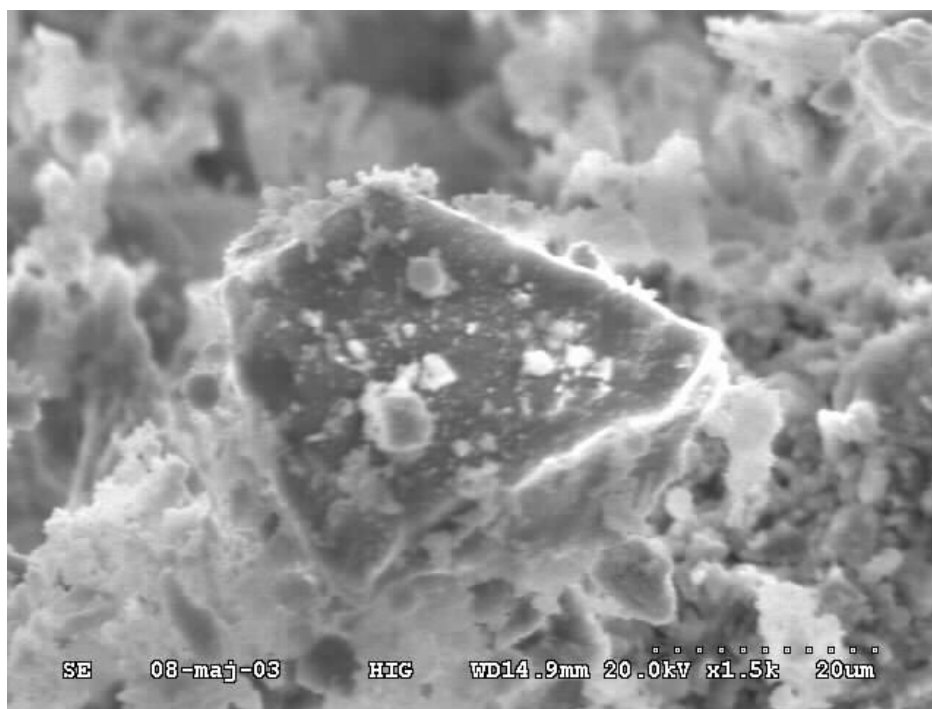
Figur 8. SEM-bild på flygaska från Hallstaviks pappersbruk CFB-panna

Figure 8. SEM-picture of a fly ash from a CFB-boiler at Hallstavik paper mill



Figur 9. SEM-bild på flygaskan från Uppsala torveldade pulverpannan

Figure 9. SEM-picture of a fly ash from pulverized peat-fired power station in Uppsala



Figur 10. SEM-bild på flygaska från Västerås värmeverks bioeldade CFB-panna

Figure 10. SEM-picture of a fly ash from Västerås CFB-boiler

8.5 Scanningtester, Sydsten

Dessa försök indelades i tre försöksomgångar med olika mängder aska i betongblandningarna, recepten finns i Bilaga A. I tabell 16 finns en sammanfattning på respektive askmängd för varje försöksomgång, cementhalten för ask/betongblandningen var 255kg/m^3 . Referensbetongen innehåller 30kg/m^3 kalkfyller och 285kg/m^3 cement.

Tabell 16. Mängder aska i de olika försöken

	Försök 1	Försök 2	Försök 3
vbt_aska*	0,64	0,68	0,70
vct_referens*	0,60	0,62	0,63
Mängd aska	60kg/m^3	40kg/m^3	30kg/m^3

* vbt = vikt vatten/vikt bindemedel = vattenbindemedelstal, om inte bindemedel används kallas detta tal vattencementtalet, vct.

Viktigt att poängtera är att vbt för referensmaterialet är annorlunda än ask blandningarna.

8.5.1 Försök 1

Följande observationer kunde göras vid okulär besiktning av ask/betongblandningarna:

Uppsala: Betongen ser bra ut, dock stor konsistensförlust efter 0,5h

Västerås: Betongen ser bra ut, dock stor konsistensförlust efter 0,5h

Hylte: Betongen ser bra ut, dock stor konsistensförlust efter 0,5h.
Kuberna är klara för avformning efter 4h

Värta: Betongen ser bra ut, men släpper mkt vatten. Svarta fläckar på ytan
2mm vatten ovanpå kuberna efter 1h. Oljigt vatten

Hallsta: Dålig rörlighet i betongen. Stor konsistensförlust efter 0,5h

Referens: OK!

Resultat på sättmått (förklaring på sättmått se kapitlet reologi), betongtemperatur och hållfasthet finns sammanfattade i tabell 17. Vad man kan se är att alla askorna bidrar både till korttids- och långtidshållfastheten. Askorna från pappersbruken, Hallsta och Hylte, bidrar något mer. De var också väldigt reaktiva. Vad som också kunde noteras var att askorna visade sig vara väldigt vattenkrävande och det flesta blandningar visade sig tappa konsistensen efter en halvtimme vilket inte är önskvärt. Betongen ska hålla sig inom sin konsistensklass (se kap. betong) minst en timme efter blandning. Hylteblandningen visade sig stelna väldigt fort redan efter fyra timmar var betongen hård, vilket är till stor nackdel vid en betonggjutning.

Tabell 17. Resultat från första försöken på Sydsten med 60kg aska/m³

	Uppsala	Västerås	Hylte	Värta	Hallsta	Referens*
Betongtemperatur [°C]	16,2	15,4	17,6	16,5	17,3	16,8
Sättnått efter blandning [mm]	195	155	80	210	70	180
Sättnått efter 0,5h [mm]	70	80	25	180	50	160
Hållfasthet [MPa]: 1d	4,5	10,3	10,4	7,1	7,7	9,2
7d	28,9	29,7	34,8	29,8	33,4	29,3
28d	40,2	40,4	43,3	41,7	41,6	37,9

För att kunna studera hur askorna verkligen påverkade betongens färskas konsistens testades olika askor med mindre mängd aska i blandningen. De askor som valdes att undersökas vidare var de tre askor som uppvisade störst likheter med referensmaterialet, Uppsala, Västerås och Hallstaviks aska. Värta askan hade bra egenskaper men betongen såg oljig och fläckig ut, vilket antagligen berodde på för hög restkolhalt i aska. De två pappersbruk askor visade sig vara vattenkrävande och att de redan från början inte faller in i den konsistensklass som recept utger. Västerås och Uppsala hade för stora konsistensförluster för att hålla sig inom rätt konsistensklass.

8.5.2 Försök 2

I det andra försöket minskades mängden aska med 20 kg. I tabell 18 kan man se att Uppsalas aska har en konsistensförlust, dock mindre än första försöket och att den hållit sig inom ramen för halvflyt dvs. sättnått mellan 150-200 mm. Däremot uppvisar Västerås askan fortfarande för stora konsistensförluster. Hallsta askan testades inte med 40kg/m³ eftersom den var mer trögflytande än andra två askorna i försök 1 och valdes därför att bara testas med den mindre mängden aska inblandat.

Tabell 18. Resultat från försök 2 med 40kg aska/m³

	Uppsala	Västerås	Hallsta	Referens*
Betongtemperatur [°C]	17,7	19,4	-	
Sättnått efter blandning [mm]	220	180	-	180
Sättnått efter 0,5h [mm]	170	100	-	160
Hållfasthet[MPa]: 1d	5,1	13,3	-	9,2
7d	24,4*	27,1*	-	29,3
28d	33,9	35,3	-	37,9

* Åtta dagars hållfasthet p.g.a. påsk

Vad man kan notera mellan försök ett och två är att hållfasthetsökningen minskar med mängden aska. Västerås askan har fortfarande för stor konsistensförlust den första halvtimmen därför testades den också i försök tre.

8.5.3 Försök 3

Tabell 19. Resultat från försök 3 med 30 kg aska/m³

	Uppsala	Västerås	Hallsta	Referens*
Betongtemperatur [°C]	-	18,7	19,2	16,8
Sättnått efter blandning [mm]	-	170	80	180
Sättnått efter 0,5h [mm]	-	130	55	160
Hållfasthet[MPa]: 1d	-	10,6**	11,9**	9,2
7d	-	25,7	29,6	29,3
28d	-	33,6	38,2	37,9

** beräknat utifrån 2 dagars värde

Pappersbruksaskan har fortfarande problem med konsistens men den valdes att testas tillsammans med Västerås och Uppsala aska i fördjupad analys hos vattenfall utveckling med optimerade recept.

8.6 Fördjupad analys

Viktigt att komma ihåg vid analys av resultaten från reologiska försöken är att det är jämförande resultat inte fasta fysikaliska värden. Värdena på viskositet och flytgräns är beroende av vilken mätmetod, antal mätpunkter, analysmodell etc. som använts. De askor som analyserades var aska från Hallstaviks pappersbruk, Västerås värmeverk, Uppsala värmeverk. Alla värden är analyserade enligt Bingham-modellen (se kapitel 4 reologi).

8.6.1 Flytgräns

Flytgränsen som nämnts innan beskriver hur mycket energi om måste tillsättas i ett system, för att få systemet i rörelse. Detta innebär ju högre flytgräns desto svårare är det att få "vätskan" (betongen) i rörelse. I tabell 20 finns resultaten från mätningarna som har gjorts på de olika ask/betongblandningarna (recept i Bilaga B). Namnen på blandningarna är beroende på vilken aska som har används som fillermaterial.

Tabell 20. Flytgräns i Pa för de olika betongblandningarna

tid (min)	Referens (kalkfiller)	Uppsala	Västerås	Hallsta
<5	74,8	31,0	133,7	84,7
10	59,8	43,6	109,9	97,0
15	73,7	56,0	90,2	118,0
20	74,0	59,7	84,9	136,6
25	75,5	145,4	109,0	140,1
30	75,1	83,7	91,3	167,8
Medel värde	72,2	69,9	103,2	124,2
Medelvärde avvikelse	4,1	29,8	14,4	24,0

Resultaten i tabell 20 visar att den aska som mest liknar referensen är Uppsala askan. De andra två askorna uppvisar en styvare konsistens redan från början. Orsaken till detta är ännu inte klart. Troligen kan det bero på att de har en större tendens att absorbera vatten och att det antagligen innehåller en större andel fri CaO i sammansättningen.

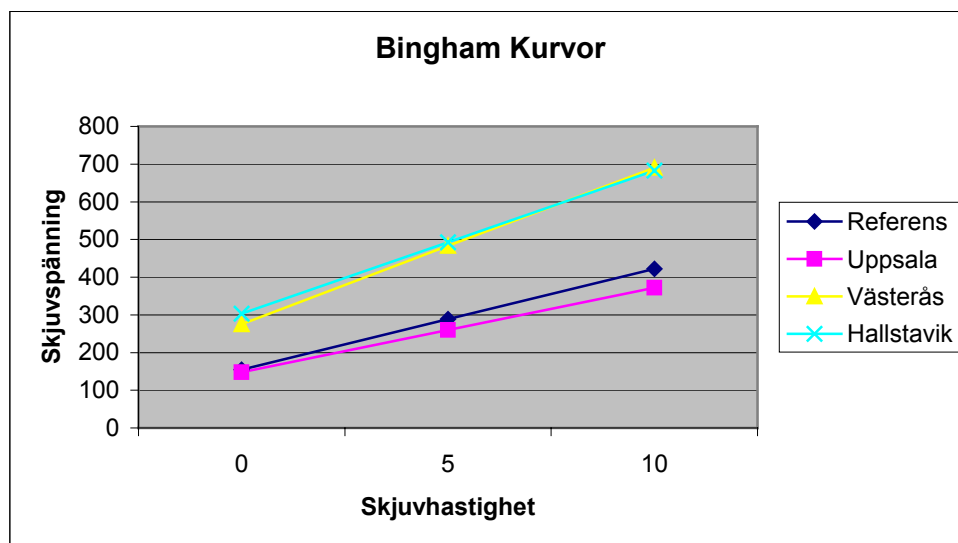
8.6.2 Viskositet

Värdena på viskositeten är av intresse i det här fallet som en jämförelse mellan de olika askorna och ett referensmaterial. Högre viskositet ger en mer trögflytande betong och vice versa. Värden i tabell 21 visar den uppmätta viskositeterna för de olika ask/betong blandningarna. Lutningen på kurvorna i figur 10 ger viskositeten på respektive material. Vad man kan se här är att Uppsala är den aska som har störst likhet med referensblandningens reologiska egenskaper.

Tabell 21. Viskositet (PaS) för de olika betongblandningarna

tid (min)	Referens (kalkfiller)	Uppsala	Västerås	Hallsta
<5	41,6	25,0	69,3	63,7
10	40,2	28,5	72,4	65,7
15	40,1	29,7	55,5	85,5
20	43,1	32,9	73,2	80,0
25	44,2	37,3	78,5	76,2
30	36,5	35,3	69,1	139,0
Medel värde	41,0	31,4	69,7	85,0
Medelvärde avvikelse	2,0	3,7	5,0	18,2

Både Binghamkurvorna och medelvärdet för viskositeten bekräftar flytgränsresultaten, Uppsala askan är den aska som mest liknar kalkfiller. Västerås och Hallsta har liknade egenskaper.



Figur 11. Bingham kurvor på betongblandningar med olika askor från Hallsta, Uppsala och Västerås

Figure 11. Bingham curves representing different concrete mixtures with ashes from Hallsta, Uppsala and Västerås

8.7 Teknikdemonstration

Syftet med teknikdemonstrationens var att påvisa att en betong med krossballast och en bioflygaska som fillermaterial/bindemedel går att använda i praktiken. Resultaten från gjutningen visade på att det går alldeles utmärkt att gjuta med denna betong. Ingen konsistensförlust uppmättes och både gjutbarheten och pumpbarheten var helt i sin ordning.(se tabell 22 och figurerna 12-13)

Tabell 22. Sättnått och tryckhållfasthets resultat från skyddsbetonggjutningen

Provning			
Sättnått [mm]	Fabrik 220	Arbetsplats 220	
Tryckhållfasthet [MPa]	3 dagar* 18,0	7 dagar* 24,5	28 dagar* 32,3

* Tid efter gjutning

Enligt BBK 94 Ska tryckhållfastheten efter 28 dagar för en K30 betong rekommenderas att ligga mellan 33-34 MPa i kontinuerlig produktion. Optimalt är att ligga i detta område för höga värden är dyrt och för låga ger en underkänd betong. I kontinuerlig produktion kan nått enstaka undertramp ner till 26 MPa accepteras. 7 dygns tryckhållfastheten ska vara 70 % av 28 dygns tryckhållfastheten dvs. 24,5-25,2 MPa. . I det här fallet var sluthållfastheten det lite lågt men godkänt.



Figur 12. Sättkon på betongen med aska från Uppsala Värmeverk som fillermaterial

Figure 12. The slump cone of the concrete with bioash as filler material



Figur 13. Betonggjutning med aska från Uppsala Värmeverk som fillermaterial

Figure 13. Concrete casting with bioash as a filler material

9 Diskussion

Resultaten visar på att svenska energiaskor har en stor potential att användas som fillermaterial i betong. Sydstens erfarenheter utav ett års användning av flygaska från en bioeldad CFB panna i krossballast betong visar på att denna typ av aska är mycket lämplig som fillermaterial. Det finns vissa krav som måste ställas på askan. Sydstens krav är följande;

1. Kemiska krav, En kloridhalt $\leq 0,6\%$ TS och en restkolhalt $\leq 10\%$ TS
2. Fullgod volymbeständighet
3. Att betongens färska konsistens håller dig inom given konsistensklass minst en timme efter blandning.

Syftet med projektet var att undersöka vilka av de svenska energiaskor som kan uppfylla ovannämnda krav. Askorna delades in i olika kategorier beroende på pann- och bränsletyp, Slam och bioeldad fluidiserade bäddpannan (pappersbruk), bioeldad fluidiserade bäddpannan, bioeldad pulverpanna samt en bioeldad rosterpanna.

Askanalyser samlades in från olika pannor i Sverige, i respektive kategori. Urvalet begränsade sig till ett deltagande av ett 10-tal pannor av ovannämnda kategorier. Det visade sig att det fanns vissa variationer inom kategorierna. Det kunde konstateras att fluidbädd pannorna och pulverpannor uppfyller de kemiska kraven medan rosterpannorna i studien inte kunde uppfylla kravet på låg restkolhalt. De askor som studerades i laboratorieundersökningarna var följande kategori 1, Hallstaviks pappersbruk och Hyltebruk, kategori 2, Västerås värmeverk och Värta Verket och från kategori 3, Vattenfall Uppsala. Askornas volymbeständighet undersöktes med hjälp av ”le Chateliers test”. Det visade sig att askorna från pappersbruken var vattenkrävande än de andra askorna och att alla askorna i undersökningen var volymbeständiga.

I betongsammanhang är det viktigt att minimera halten vatten i förhållande till bindemedelhalten (cement+ aska i det här fallet). Därför behövdes bl.a. askornas morfologi studeras för att förstå varför vissa askor kräver mer vatten än andra. De morfologiska undersökningarna visade på att askorna har olika karaktäristika. Både sikt kurvorna och partikeldensiteten varierade beroende på panntyp (olika bränsletyper studerades inte). Det fanns vissa svårigheter enligt CementaResearch att studera partikelfördelningen hos askorna eftersom askorna inte är ett inert material och hade därför en tendens att klibba. SEM-analyserna visade på att askankornen från Uppsala (pulverpanna) var sfäriska medan fluidbäddpannorna (Hallstavik och Västerås) har askkorn med oregelbunden form. På bilderna kan urskiljas ett skikt av finfördelade partiklar runt askkornen, vilket kan vara en annan orsak till ökad vattenadsorption. Troliga orsaker till varför de undersökta fluidbäddpannornas aska är mer oregelbunden och att mer finfördelade partiklar omger kornen, är att bäddmaterialet och högre restkolhalten har en påverkan askornas form och utseende.

I projektet gjordes två provserier på betongens färska egenskaper, scanningtester med sättmått och hållfasthetsundersökning i Sydsten samt reologiska försök med reometer

hos Vattenfall Utveckling. I dessa försök konstaterades att askan från pulverpannan i Uppsala och fluidbädd pannan i Värta gav liknade reologiska egenskaper som kalkfillret (referensblandning). Fluidbädd pannan i Västerås visade sig också hålla sig inom konsistensklassen, vid en minskad mängd inblandad aska (30kg/kbm). Pappersbruks askor från Hylte och Hallstavik var väldigt reaktiva. Vid inblandning av lika stor mängd kalkfiller, i ett recept på en halvflytbetong, hamnade betongen på en konsistensklass under den önskade dvs. halvflyt blev trögflyt. Orsakerna till konsistensförlusterna är ännu inte utredda. Vilka mekanismer som är avgörande i interaktionen mellan aska och cementbruk och hur de påverkar den färska betongens egenskaper är komplexa och kräver vidare undersökningar för att förstå förloppet till fullo. Faktorer som kan tänkas påverka betongens vattenadsorption och färska konsistens är, askornas morfologi, restkolhalten, halten aluminium- och kalciumoxid, halten alkalisulfater.

Alla askor i undersökningen ökade däremot långtidshållfastheten hos den hårda betongen och pappersbruks askorna bidrog även till korttidshållfastheten. Teknikdemonstrationen manifesterades i en leverans av K30-16-HF betong till en gjutning av skyddsbetong inför ett brobygge på Timjanvägen i Lund. Betongen med aska från den torveldade pulverpannan på Uppsala Värmeverk visade sig vara ett bra fillermaterial. Sättningsförmåga togs både på fabriken och vid gjutning ca 30 min efter blandning och konsistensen visade sig vara densamma. Betongen uppvisade alltså ingen konsistensförlust till skillnad från laboratorieundersökningarna. Förmodligen beror det på, att de tidigare bindningarna bryts vid längre blandningstid (30 min, roterande betongbil) och att betongen blandas bättre i större volymer. Betongens gjutbarhet och pumpbarhet var utmärkta och betongen pumpades därför på plats utan några som helst svårigheter

Sammanfattningsvis kan man säga att energiaskor har stor potential att användas som fillermaterial i betong. Ett bevis på detta är de lyckade resultaten i teknikdemonstration. En ökad förståelse i vilka mekanismer som samverkar i betongen stelningförlopp skulle leda till en säkrare och ökad användning av energiaskor i betong. Detta skulle även kunna leda till utveckling av potentiella efterbehandlingsmetoder för att förbättra de askor som i dag inte uppfyller kraven på betongens färska konsistens.

10 Slutsatser

I projektet utkristalliserade sig följande slutsatser:

- Tillämpning flygaska som fillermaterial i betong har en marknadspotential på åtgång av 80 000 ton flygaska per år.
- Stora möjligheter för lokalavsättning av askor.
- Denna tillämplig kräver inga stora volymer av aska och efterfrågan är kontinuerlig.

Från erfarenhetsåterföringen:

- Under det senaste året (2003) har ca 35-40 % av den total betongproduktion i Sydstens anläggning i Fosie utgjordes av standardkvalitets betong för hus- och industribyggnation med aska från en bioeldad CFB-panna.
- Det krav som Sydsten ställer på askan och betongen är;
 - Askkan får inte ha för hög LOI-halt mindre 10 %TS
 - Kloridhalten i betongen för ej överstiga 0,1%
 - Betongens konsistensförlust får inte vara för stor
- Perstorp levererar aska i dag till två betongföretag, Sydsten och Finja. Produktionsmässigt har de överskott av aska under jan-april och resten av året underskott.

Från försöken:

- Teknikdemonstrationen visade på att betong med bioaska från en pulverpanna som fillermaterial har goda egenskaper vid gjutning. Betongen pumpades utan svårigheter på plats.
- Vid teknikdemonstrationen uppvisade betongen ingen konsistensförlust tillskillnad från laboratorieundersökningarna. En förklaring kan vara att betongen roteras i betongbilen under transport vilket troligen leder till att de tidigare bindningarna bryts.
- Alla askor i undersökningen ökade långtidstryckhållfastheten hos den hårda betongen i laboratieförsöken.
- Pappersbruks askorna bidrog till en större ökning av korttidstryckhållfastheten än de andra askorna i laboratorieundersökningen.
- Visa askor uppvisade konsistensförluster direkt efter blandning. Orsakerna för konsistensförlusten är komplicerade och fortsatt forskning är nödvändig. Faktorer hos askan som kan tänkas påverka betongens vattenadsorption och steltningsförlopp är följande, askans morfologi, restkolhalten, halten aluminiumoxid (Al_2O_3) och CaO, halten alkalisulfater, kalciumsulfater.

11 Rekommendationer och användning

Viktigt att tänka på vid användning av aska som fillermaterial är först och främst att askan håller jämn kvalitet och att askanalyserna representerar den aska som används.

Det är tre huvudkrav som ska ställas på aska för en lyckad användning;

1. Rätt klorid- och restkolhalt
2. Volymbeständiga
3. Att betongen håller konsistensen den första timmen efter blandning

För att kunna få en optimerad användning av svenska energiaskor i betong behövs bättre kunskap om styrande mekanismer på den färska betongens reologiska egenskaper. Ökad kunskap om dessa parametrar kan leda till att en viss askas lämplighet kan avgöras på förhand. Detta före kostsamma provningspaket initieras.

12 Förslag till fortsatt forskningsarbete

- Utredda vilka komponenter i askan som orsakar konsistensförluster hos den färska betongen, samt definiera gränsvärden för acceptabel halt av dessa.
- Studera möjliga för- och efterbehandlingsmetoder för att kunna förädla askor som i tidigt skede orsakar konsistensförluster hos den färska betongen.
- Studera bränslets, panntypens, hastigheten genom pannans påverkan på askors morfologi
- Utveckla ett standardprovningsprogram för applikationen fillermaterial i betong.

13 Litteraturreferenser

- [1] Nordström E, Thorsell P-E; "Energiaskor i betongrelaterade tillämpningar- Normer, praxis och erfarenheter", Värmeforsk, 2003
- [2] Carlsson C, Tuutti K; "betongteknik", Byggentreprenörerna, 1996
- [3] Betonghandbok, Material, utgåva 2; AB Svensk Byggtjänst och Cements AB, 1994
- [4] Nordkalks hemsida, www.nordkalk.se
- [5] Klingstedt G, Fjällberg L, Falkenby I; "Utilization of glass filler in concrete making", Nordisk betongforskningsmöte, 17-19 augusti 1993, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
- [6] Holmström M; " Syrgashyvelgranulat i självkompakterande betong ", Vattenfall Utveckling AB, 2001
- [7] Handbok restprodukter, Fjärrvärmeföreningen
- [8]"Energiaskor för väg- och anläggningändamål"; Svenska Energiaskor AB, Internet: [http://www.energiaskor.se/rapporter/Energiaskor för väg och anläggningsändamål 1998.pdf](http://www.energiaskor.se/rapporter/Energiaskor_för_väg_och_anläggningsändamål_1998.pdf)
- [9] Eriksson J, Börjesson P; " Vedaska i Skogen en litteraturstudie", Vattenfall Utveckling AB, 1991
- [10] Clarke L; "Applications for coal-use residues", IEA Coal Research, London 1992
- [11] Wester L; "Förbrännings- och rökgasreningsteknik", Västerås 2002-01-25
- [12] Bjurström H, "Askvolym i Sverige", PM, Svenska Energiaskor AB, 2002
- [13] Ahlroth M, Sivard Å; "Hur påverkas slamhanteringen av nya och förväntade lagar och förordningar"? , Värmeforsk rapport nr 795, 2002
- [14] Hindersson, A; "Nyttiggörande av restprodukter från sameldning av kol och biobränsle", Vattenfall Utveckling AB, 1996-02-23
- [15] Austin S; "Sprayed concrete technology", Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London, 1996
- [16] Sandahl Evert, Fabriksbetong, mail: evert.sandahl@fabriksbetong.se
- [17] Weywadt Peter, Sydsten Malmö, 040-31 19 00

[18] Askprogrammet, Värmeforsk, hemsida, <http://www.askprogrammet.com/>

[19] Malmborg, Erik; Perstorp Support AB; Telefonnummer: 0435-38000,
erik.malmborg@perstorp.com

[20] Lehrberg, Roger; CEMENTA RESEARCH AB, +46(0)498-281354,
roger.lehrberg@cementaresearch.se

A Recept, Scanningförsök Sydsten

Recept K30-16-HF-030317

Material		Mängder [kg/m3]	Densitet [kg/m3]	Volym [liter]	
Stenmjöl	Hardeberga 0/4	1010	2,650	381,1	55,5%
Makadam	Hardeberga 4/8	95	2,650	35,8	5,2%
	Dalby 11/16	715	2,720	262,9	39,3%
Flygaska	030317	60	2,200	27,3	
Cement	Slite Bygg	255	3,100	82,3	
Tillsatsmedel	Peramin F	3,705	1,200	3,1	1,453%
Vatten		197,6	1,000	197,6	
luft		-		10	
		2336		1000	

Totalvatten: 200,0 [kg/m3]
vct: 0,784

Volymkontroll		
[kg/m3]		[liter]
40,4	2,650	15,25
3,8	2,650	1,43
28,6	2,720	10,51
2,4	2,700	0,89
10,20	3,100	3,29
0,15	1,500	0,00
7,9	1,000	7,90
		0,40
8,00		40
0,784		

B Recept fördjupad analys

B.1 Recept kalkfiller

Anm:

vct:	0,702
Bindemedelhalt:	285 kg/m ³
Densitet ballast:	2,65 ton/m ³
Densitet bindemedel:	2,7 kg/m ³
Satsvolym:	25 liter
Lufthalt:	1,5%

	Beståndsdel	kg/m ³	kg/sats			Red. kg/sats
	Cement Anl	285	7,125			7,125
	Vatten	200,07	5,002			4,942
%	Ballastfrakt.	kg/m ³	kg/sats	Fukthalt	Fuktmängd	
	16-32					
38	11-16	702,20	17,555			17,555
54,9	0-4	988,39	24,710			24,710
5,3	4-8	95,42	2,385			2,385
	0-1					
	0.25-0.5					
	0.125-0.25					
1,8	0-0.125	29,35	0,734			0,734
Summa:	100	1815,36	45,384			45,384
%B	Tillsatsmedel:	kg/m ³	kg/sats	Torrhalt	Vatt.mängd	
1,3	Peramin	3,705	0,093	35	0,060	0,093
Summa:		3,705	0,093		0,060	0,093
%B	Tillsatsmtrl:	kg/m ³	kg/sats			
	Silica					
	Slagg					
	Fibrer					
Summa:						
Totalsumma:		2304,13	57,603		0,060	57,603

B.2 Recept Uppsala

Anm:

vct:	0,784
Bindemedelhalt:	255 kg/m³
Densitet ballast:	2,65 ton/m³
Densitet bindemedel:	3,1 ton/m³
Satsvolym:	25 liter
Lufthalt:	1,5%

	Beståndsdel	kg/m³	kg/sats			Red. kg/sats
	Cement Anl	255	6,375			6,375
	Vatten	199,92	4,998			4,944
%	Ballastfrakt.	kg/m³	kg/sats	Fukthalt	Fuktmängd	
	16-32					
38	11-16	726,44	18,161			18,161
55,4	0-4	1031,81	25,795			25,795
5	4-8	93,12	2,328			2,328
	0-1					
	0.25-0.5					
	0.125-0.25					
1,6	0-0.125	27,66	0,692			0,692
Summa:	100	1879,04	46,976			46,976
%B	Tillsatsmedel:	kg/m³	kg/sats	Torrhalt	Vatt.mängd	
1,3	Peramin	3,315	0,083	35	0,054	0,083
Summa:		3,315	0,083		0,054	0,083
%B	Tillsatsmtrl:	kg/m³	kg/sats			
	Silica					
	Slagg					
	Fibrer					
Summa:						
Totalsumma:		2337,27	58,432		0,054	58,432

B.3 Recept Västerås

Anm:

vct: 0,784
 Bindemedelhalt: 255 kg/m³
 Densitet ballast: 2,65 ton/m³
 Densitet bindemedel: 3,1 ton/m³
 Satsvolym: 25 liter
 Lufthalt: 1,5%

	Beståndsdel	kg/m ³	kg/sats			Red. kg/sats
	Cement Anl	255	6,375			6,375
	Vatten	199,92	4,998			4,944
%	Ballastfrakt.	kg/m ³	kg/sats	Fukthalt	Fuktmängd	
	16-32					
38	11-16	726,44	18,161			18,161
55,3	0-4	1029,95	25,749			25,749
5	4-8	93,12	2,328			2,328
	0-1					
	0.25-0.5					
	0.125-0.25					
1,7	0-0.125	34,49	0,862			0,862
Summa:	100	1884,00	47,100			47,100
%B	Tillsatsmedel:	kg/m ³	kg/sats	Torrhalt	Vatt.mängd	
1,3	Peramin	3,315	0,083	35	0,054	0,083
Summa:		3,315	0,083		0,054	0,083
%B	Tillsatsmtrl:	kg/m ³	kg/sats			
	Silica					
	Slagg					
	Fibrer					
Summa:						
Totalsumma:		2342,24	58,556		0,054	58,556

B.4 Recept Hallstavik

Anm:

vct:	0,784	
Bindemedelhalt:	255	kg/m³
Densitet ballast:	2,65	ton/m³
Densitet bindemedel:	3,1	ton/m³
Satsvolym:	25	liter
Lufthalt:	1,5	%

	Beståndsdel	kg/m³	kg/sats			Red. kg/sats
	Cement Anl	255	6,375			6,375
	Vatten	199,92	4,998			4,944
%	Ballastfrakt.	kg/m³	kg/sats	Fukthalt	Fuktmängd	
	16-32					
38	11-16	726,44	18,161			18,161
55,4	0-4	1031,81	25,795			25,795
5	4-8	93,12	2,328			2,328
	0-1					
	0.25-0.5					
	0.125-0.25					
1,6	0-0.125	28,11	0,703			0,703
Summa:	100	1879,49	46,987			46,987
%B	Tillsatsmedel:	kg/m³	kg/sats	Torrhalt	Vatt.mängd	
1,3	Peramin	3,315	0,083	35	0,054	0,083
Summa:		3,315	0,083		0,054	0,083
%B	Tillsatsmtrl:	kg/m³	kg/sats			
	Silica					
	Slagg					
	Fibrer					
Summa:						
Totalsumma:		2337,72	58,443		0,054	58,443

C Recept, teknikdemonstrationen

Betongkvaliteten, K30 med 16 mm stenmax och konsistensen halvflyt:

Material	Mängd [kg/m ³]	Densitet [kg/m ³]	Volym [l/m ³]
Cement, Slite Bygg	255	3,100	83,3
Bioflygaska, Uppsala	40	2,460	16,3
Makadam, Dalby 11/16	724	2,730	265,2
Makadam, Hardeberga 4/8	94	2,650	35,5
Stenmjöl, Hardeberga 0/4	1014	2,650	382,6
Vattenreducerare, Peramin V	2,04	1,200	1,7
Flyttillsats, Peramin F	3,06	1,210	2,53
Vatten	196,7	1,000	196,7
Luft 1,5%	-	-	15
Summa:	2329	-	1000
Totalt vatten	200		
Vatten-cementtal (vct)	0,784		

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