



Produktion av pyrolysvätska - statusrapport

Rolf Ingman

Produktion av pyrolysvätska - statusrapport

Production of pyrolysis liquid

Rolf Ingman
ÅF-Energikonsult Stockholm AB

F9-805

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM - TEL 08/677 25 80
Juni 2000
ISSN 0282-3772

Innehåll	Sid
1. Bakgrund.....	6
1.1. Historik	6
1.2 Uppdraget	7
1.3 Övrigt.....	8
2. Tekniken	8
2.1 Termokemisk omvandling allmänt.....	8
2.2. Teknikbeskrivning.....	11
2.2.1. Pyrolys	11
2.2.2. Förgasning	12
2.2.3. Förvätskning.....	14
2.3. Pyrolysprodukter.....	14
2.3.1 Char	14
2.3.2. Gas	15
2.3.3. Pyrolysvätska	15
2.4. Hälsorisker.....	21
3. Aktörer.....	22
3.1 Företag.....	22
3.1.1. Ensyn	23
3.1.2. Pyrovac	24
3.1.3. Dynamotive.....	24
3.2. Anläggningar	25
3.3. Pyrolysnätverk	25
3.4. Svensk kompetens på området.	26
4. Kostnader för framställning av pyrolysvätskor.....	26
5. Bedömning av teknikens status	28
5.1. Är pyrolys kommersiellt tillgänglig teknik?	28
5.2. Problemområden.....	29
5.3. Erfarenheter från förbränning av pyrolysvätskor.....	30
5.4. Behov av FoU	31
6. Pyrolysvätskor ur ett myndighetsperspektiv	32
7. Slutsatser och rekommendationer.....	32
8. Referenser	34

Abstract

Pyrolys har diskuterats under många år och i många sammanhang. Tekniken har till och från ansetts vara lovande utan att lyckas nå marknaden. Avsikten med denna rapport är att sammanställa läget för pyrolysen vad gäller problem, fördelar, kostnader, osäkerheter, utvecklingsläge, m.m..

Sammanfattning

Denna rapport har framtagits baserat på det intresse som från olika håll visats för pyrolys under 1990-talet. Intresset har funnits bland teknikutvecklare, forskare, leverantörer, kommuner och andra tänkbara köpare av utrustning för pyrolys.

Den flytande produkt som erhålls från pyrolys kallas ofta pyrolysolja men har också många andra namn. I denna rapport benämns den pyrolysvätska. Orsaken till detta är att denna vätska är blandningsbar med vatten vilket inte en "riktig" olja är.

Pyrolys motiveras i många sammanhang av att flytande bränslen anses lättare att hantera, lättare att transportera och lättare att lagra än fasta biobränslen. Till detta kommer också fördelen att befintliga anläggningar för förbränning av olja skulle kunna användas med smärre modifieringar.

Pyrolysvätskans egenskaper kan ge problem vid användning. Till dessa hör lågt pH hos pyrolysvätskan, hög viskositet, åldring, risk för koksning vid stillastående varma vätskor, stabilitet, m.m. Dessutom finns områden som är osäkra och av väsentlig betydelse vid en kommersialisering såsom kostnader för produktion av pyrolysvätska, värdet för produkterna, m.m.

Det finns idag inga riktigt kommersiella pyrolysanläggningar. Antalet levererade anläggningar, av någon storlek, är begränsat. De flesta anläggningar som finns har kapacitet från något kilo per timme till något hundratal kilo torrsbstans per timme. Det är därför tveksamt om pyrolys idag går att betrakta som kommersiell teknik.

ÅF-ENERGIKONSULT AB
Förbränning

Rolf Ingman

Denna handling har givits ut i följande versioner:

Version A	2000-05-02
Version B	2000-05-25
Version C	2000-06-08

Summary

This report has been written because of an interest for pyrolyses in different sectors in the Swedish society during the last ten years. The interest has come from researchers, municipalities, developers and buyers of equipment.

The liquid product that is produced in a pyrolyses process are mostly called pyrolyses oil. Important behaviour of oils are that they do not mix with water. Pyrolyses liquids do so and because of this the liquid from a pyrolyses process should be called something else perhaps pyrolyses liquid.

The advantage with pyrolyses liquids should be that they are easier to handle and store than solid biofuels. Other expected advantages are be that the liquid could be used in common boilers for oil firing.

Pyrolyses liquids could anyway also give problems such as low pH, high viscosity, ageing, stability, etc. There are also questions about pyrolyses that are not satisfied answered yet, such as cost for production value for products, etc.

The conclusion is that there are no real commercial plants today. The number of delivered plants are limited and they are also limited in size. Most of the plants have a capacity of some few kilograms per hour up to some hundred kilograms per hour. Because of this pyrolyses could not be called a commercial technology today.

ÅF-ENERGIKONSULT AB
Combustion

Rolf Ingman

1. Bakgrund

1.1. Historik

Biobränslen dvs fasta bränslen har använts som värmekälla i årtusenden medan gas och vätska från biomassa eller andra vätskeformiga och gasformiga bränslen endast använts under de senaste trehundra åren. Under 1600 och 1700-talet använde man gas producerad från trä genom upphettning. Under 1800-talet utvecklades metoder för produktion av gas ur kol. Gas från kol var det dominerande bränslet för gatubelysningar i städerna för att sedan under den växande industrialiseringen även komma att användas för att driva stora motorer för kraftgenerering, pumpning etc.

Vid förgasningsprocesser erhåller man även tjära (vätska) och träkol eller koks (char). Utbytet av de olika utvunna produkterna gas, tjära och träkol eller koks beror på temperatur, tryck och teknikval. I Sverige har tjära under lång tid framställts med den gamla tjärdalen. Tjärdalen var ett slags V-formad långsträckt kolmilor. Ur tjära från tjärdalen utvanns beck, kreosot och träoljor. Trätjära var under 1500- och 1600-talet en av Sveriges viktigaste exportprodukter. Den försålles då till de stora sjöfartsnationerna Holland och England för impregnering av fartyg. På vissa håll används tjärdalen fortfarande. Även den gamla kolmilan är välkänd och beskriven på många håll. Dessa två tekniker beskrivs som torrdestillation av trä eller pyrolys mot i det ena fallet en förvätskning och i det andra fallet mot en fast återstod. Kolmilan användes för torrdestillation av trä. Veden staplades i pyramidform och täcktes med torv eller liknande material, varefter den antändes och lät förbrännas ofullständigt.

Under 1930-talet var de svenska skogsägarna ivriga förespråkare för förgasning av träkol och vedkubb för drift av fordon. "Gengasbilen" var allmänt använd under andra världskriget varefter den försvann vid krigsslutet.

Under energikrisen på 1970-talet dök förgasningstekniken upp igen och blev populär. Under denna tid ville man förgasa kol, biomassa och avfall. Under denna period kom ny kunskap fram om förgasningsprocessens komplexitet. Utvecklingen gick via syntesgasanläggningar för produktion av metanol och erfarenheter från kolförgasningsanläggningar. Utvecklingen avstannade då kostnadsläget åter igen gjorde konkurrensläget omöjligt. Det statliga intresset för den vetenskapliga analysen och den fenomenologiska bakgrunden till tekniken har gjort att området har vuxit inom energiforskningsprogrammet under 1980 och 1990 talen. Under rådande omständigheter med en ökande oro för konsekvenserna av konsumtionen av fossila bränslen har förgasningstekniken åter igen blivit intressant.

Under 1800-talet producerades städernas behov av lysgas från kol. Under 1920-talet utvecklades den så kallade winklerförgasaren av Fritz Winkler. Winklerförgasaren är en fluidbädd förgasare för kol. Winkler fick patent på förgasaren som fortfarande har namnet Winklerförgasare. Under 1930-talet utvecklades den trycksatta förgasaren den så kallade Lurgiförgasaren. Dessa koncept har utvecklats under åren och ligger till grund för den moderna

förgasningstekniken som används i stora kommersiella anläggningar, för förgasning av kol, som byggts under början av 1990-talet såsom Shellförgasaren i Buggenum (250 MW_{el}) och Kobraförgasaren baserad på winklerförgasaren (265 MW_{el}). Under början av 1990-talet har ett 20-tal kolfögasningsanläggningar projekterats och byggts.

Orsaken till att termokemisk omvandling av fasta material, så kallad pyrolys eller torrdestillation, åter har kommit i ropet efter att under 80-talet funnits olönsam, ligger i de strömningar inom samhällsstrukturen som förespråkar återanvändning – kretslopp av förbrukade produkter. Denna återanvändning förespråkas med motiv som minskat deponibehov för avfall, minskning av skadliga utsläpp, hushållning med råvaror samt slutligen, men inte alltid riktigt accepterat i sammanhanget, återanvändning i form av utnyttjande av energiinnehållet. I många sammanhang studeras också pyrolys av skogsråvara med motivet att pyrolysvätskan kan användas i befintliga oljepannor. Genom detta skulle livslängden för dessa pannor förlängas samtidigt som övergången till biobränslen skulle bli mindre kostsam. En annan fördel är att transportkostnaden för pyrolysvätskor är lägre än för obehandlade biobränslen.

Utveckling av pyrolysprozesser pågår i olika länder såsom Finland, Kanada, Holland, USA, Sverige, m.fl. Flera av de företag som utvecklar dessa processer har gjort försök att etablera sig i Sverige. För närvarande finns ingen anläggning byggd i Sverige.

Under senare delen av 1980-talet och den första hälften av 1990-talet ägnades pyrolys ett stort intresse inom EUs energiforskningsprogram Joule samt inom EUs program för demonstration av nya energitekniker, Thermi.

Under 1990-talet har det funnits ett intresse för pyrolys i Sverige främst då bland mindre företag som önskat utveckla pyrolysprozesser. I flera fall har de som önskat att utveckla pyrolysprozesser önskat att bygga fullskaleanläggningar utan att tekniken har verifierats i pilot- och demonstrationsanläggningar.

Ett antal av de projekt som funnits i Sverige under de senaste tio åren har avsett pyrolys av gummi för återvinning av material och/eller utvinning av energiråvara.

Även utländska företag som Ensyn, Dynamotiv m fl. har önskat etablera sig i Sverige. Hittills har dock inget bolag rönt framgång i Sverige.

1.2 Uppdraget

Uppdraget har bestått i att belysa området produktion av pyrolysvätska ur biomassa avseende kostnader, problemområden för pyrolys och status för tekniken.

1.3 Övrigt

Till uppdraget har en referensgrupp varit kopplad bestående av PerYtterberg Birka Värme AB och Jan Ahlgren Göteborg Energi.

2. Tekniken

2.1 Termokemisk omvandling allmänt

Förbränningsprocessens delsteg kan användas för framställning av olika typer av produkter om man kontrollerar miljön kring ett upphettat material. Det som händer med det fasta materialet när det utsätts för höga temperaturer kan delas upp ett antal delsteg som förångning, pyrolys, förvätskning, förgasning, förbränning i nämnd ordning som funktion av ökande syrehalt i omgivningen. Förångningen är inte någon kemisk omvandling utan förändrar endast det fysiska tillståndet för ett ämne. Detta nämns endast för att komplettera bilden då det första som sker är en förångning av lättflyktiga ämnen och det vatten som finns i bränslet.

Pyrolysen är det första termokemiska steget och är en komplex blandning av samtida och på varandra följande irreversibla, kemiska reaktioner vars mekanismer bara delvis är kända. Någon riktigt klar definition finns inte i litteraturen men det sägs ofta att

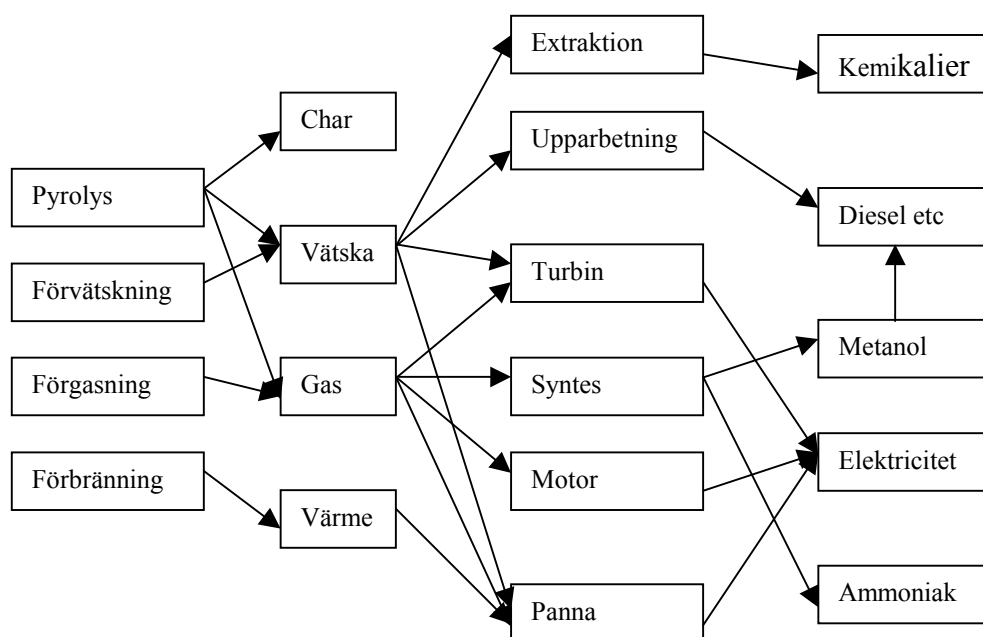
Pyrolys är en termisk sönderdelning av material på molekylär/atomär nivå i antingen syrefri atmosfär eller med så låg syrehalt (eller andra oxidationsmedel) att de reaktioner som karakteriserar förgasning inte kan iakttas. Pyrolys är huvudsakligen en endoterm process dvs pyrolysen måste tillföras energi från omgivningen för att fortgå.

Reaktionsprodukterna är gas, vätska och char. De gaser som dominerar är koloxid och koldioxid, vätgas, metan, och andra lättare kolväten. Vätskeprodukten består av tyngre kolväten ofta i form av aromatiska kolväten (bensen, PAH, etc) samt också syreinhållande aromatiska kolväten t ex fenoler.

Förgasning är en partiell oxidation vilket innebär en kemisk omvandling och förgasning av organiskt material genom inverkan av värme och syre i form av rent syre eller luft och vattenånga. Gaserna består huvudsakligen av kväve, koldioxid, koloxid, metan och mindre mängder syre och högre kolväten. Förgasningen är en exoterm process dvs den avger energi till omgivningen.

Förbränning är då bränslet (biomassa eller fossila bränslen) i okonverterad form förbränns stökiometriskt eller överstökiometriskt.

Förvätskning är en omvandling av ett fastbränsle till ett flytande bränsle. Denna omvandling sker under inverkan av koloxid, katalysator, övertryck och värme.



Figur 1. Produkter från termokemisk omvandling av biomassa.

Figure 1. Products from thermochemical biomass processing

Teknik	Primär produkt	Typiskt utbyte (%-vikt)	Applikation
Pyrolys generellt	Gas Vätska Char	20-90 * 5-80 5-30	Bränslegas Flytande bränsle Fast bränsle, slurry
Flash pyrolys (låg temp.)	Vätska	75	Flytande bränsle
Flash Pyrolys (hög temp.)	Gas	80	Bränslegas och kemikalier
Långsam pyrolys	Char	30	Fast bränsle, slurry
Förvätskning	Vätska	35	Bränsle
Förgasning	Gas	100 *	Bränslegas, kemikalier
Förbränning	Värme	-	Värmning

* Baserat på 100% konvertering av kol.

Tabell 1. Termokemiska omvandlingstekniker och produkter.

Table 1. Thermochemical biomass processing and products

Ovan beskrivs, mycket kort, ett antal olika möjliga processer för termokemisk omvandling. I Figur 1 redovisas de olika produkterna som produceras i de olika processerna samt tänkbara användningsområden. I tabell 1 redovisas sedan de

olika termokemiska teknologiernas utbyte. Figur 1 kan kompletteras med andra kopplingar exempelvis kan charen användas som bränsle eller ersättning i industrin.

Genom åren har stora forskningsinsatser gjorts kring produktion av högvärdiga pyrolysvätskor från biomassor. Snabb uppvärmning, kort uppehållstid i måttliga temperaturer och snabb avkylning är nödvändigt för en effektiv omvandling av biomassan till pyrolysvätska. Under dessa omständigheter kan 65 – 75 % av den torra biomassan omvandlas till vätska. Se tabell 1 ovan. Detta är förhållanden som gäller för flash eller snabb pyrolys.

I olika sammanhang har mer eller mindre fantasifulla utrustningar presenterats. Det har gällt utrustningar för satsvis pyrolys och utrustningar för kontinuerlig pyrolys. Det har varit från utrustningar för små partiklar till utrustningar för hela stockar eller hela bildäck.

Konstruktionerna har som följd av detta varit många och varierande. Några av de konstruktioner som presenterats under åren beskrivs kort nedan för att ge en bild av tänkta konstruktioner. Det är omöjligt att presentera alla lösningar som visats liksom det är omöjligt att peka på problemområden, fördelar, m.m. med respektive utrustning. Det finns orsaker till detta såsom att få av utrustningarna har byggts. Någon koppling mellan företag och utrustning har inte gjorts. Motivet för detta är att företag uppstår och försvinner och nya kommer till och lösningarna kan se lika ut i olika företag.

Roterande liggande pyrolyreaktor. Reaktorn ligger på ett antal rullar och roterar. Värmen påförs på reaktorns utsida. Matningen av råvaran är kontinuerlig liksom utmatningen av produkterna.

Satsvis pyrolys av stockar vid låg temperatur. Reaktorn utformades i princip som ett betongrör. Varma rökgaser infördes i botten av reaktorn.

Satsvis pyrolys av däck. I princip ett stort rum som värmdes med element, en låga eller annan lämplig utrustning. De fasta beståndsdelarna skrapas ut efter att varje sats är färdig.

Bandtransportör. I detta fall handlar det i princip om en bandtransportör som monteras i ett långt rör. Materialet som skall pyrolyseras släpps ner på bandet via ett schakt. I anslutning till bandet finns brännare eller element för uppvärmningen. I änden av bandet trillar charen ner i ett fallschakt för omhändertagande och vidare förädling.

Fluidbädd reaktor. Matning av råvaran sker kontinuerligt och partiklar avskiljs i en avskiljare medan gaserna går till kondensering. Se bilaga 2 bild 1.

Mikrovågspyrolys. Olika lösningar finns såväl satsvisa som kontinuerliga. Det väsentliga är att en mikrovågsmagnetron används för upphettning av råvaran.

Upphettnings av materialet med plasmagenerator.

Roterande kon. I botten på en roterande kon tillförs råvaran. Värmen tillförs på konens utsida. Se bilaga 2 bild 3. Denna teknik har bland annat utvecklats vid universitetet i Twente, Holland. Utvecklingen av tekniken sker även vid företaget BTG i Holland.

2.2. Teknikbeskrivning

2.2.1. Pyrolys

Pyrolys innebär som tidigare definierats en termisk sönderdelning av material på molekylär/atomär nivå i antingen syrefri atmosfär eller med så låg syrehalt (eller annat oxidationsmedel) att de reaktioner som karakteriserar förgasning inte kan iakttas. Reaktionsprodukterna är gas, vätska och char. De gaser som dominerar är kol- och koldioxid, vätgas, metan, och andra lättare kolväten.

Vätskeprodukten består av tyngre kolväten ofta i form av aromatiska kolväten (bensen, PAH, etc) samt också syrenehållande aromatiska kolväten t ex fenoler. Charen består av de kolrester som blir kvar från bränslet. Genom att låta reaktionsprodukterna rekombinera eller delvis oxideras i sekundärreaktioner kan en styrning av utbytet ske beroende på valda pyrolysbetingelser. För en pyrolysisprocess är valet av styrparametrar liksom valet av råvara betydelsefulla för produktutbytet. De viktigaste styrparametrarna är temperatur, uppvärmningshastighet och uppehållstid. I tabell 2 ges en bild av hur olika pyrolysbetingelser påverkar produktutbytet.

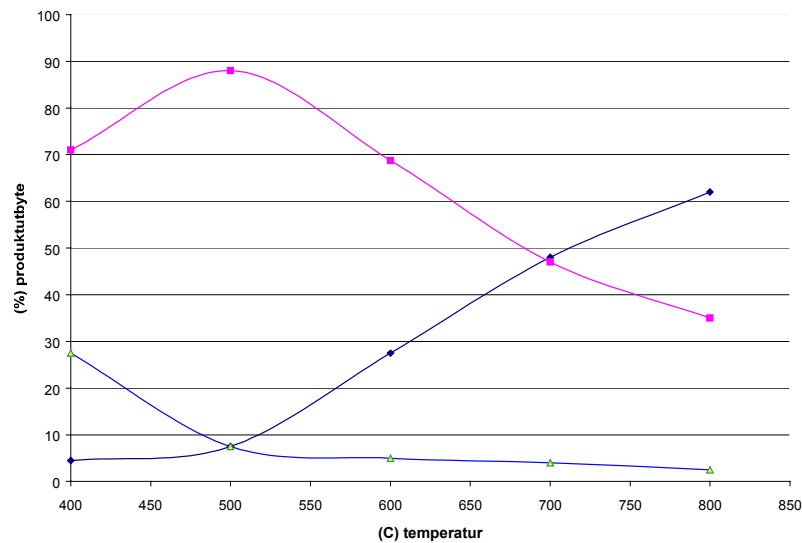
	Upphållstid (s)	Uppvärmnings Hastighet (°C /s)	Slutlig temperatur °C	Favoriserad slutprodukt
Konventionell pyrolys	>5	<10	<500	Char, tjära
Flash pyrolys	<2	10-1000	400-600	Tjära
Snabb pyrolys	<0,5	1000-10000	>600	gas

Tabell 2. Pyrolysbetingelser och produktspektra.

Table 2. Products from pyrolysis depending on process parameters.

I tabell 2 redovisas hur olika pyrolysbetingelser påverkar utbytet från pyrolysisprocesser. En höjd temperatur ger ökat gasutbyte och mindre tjära och char se Figur 2. Figur 2 skall inte ses som en exakt beskrivning av verkligheten utan ger endast en förenklad bild för att ge förståelse för utbytet av en pyrolysisprocess. Vanligtvis försöker man idag att utveckla pyrolysisprocesser som ger ett så högt vätskeutbyte som möjligt. Pyrolys av biomassa har ett vätskemaxima vid omkring 500 °C normalt. För exempelvis kol kan man inte hitta ett liknande maximum. I några fall sker också utveckling mot utvinning av char. Det största intresset är dock inriktat på vätskeproduktion.

En höjd temperatur ger ökat gasutbyte och mindre vätska (tjära) se Figur 2.



Figur 2. Produktutbyte som funktion av temperaturen för biomassa. Kol och liknande bränslen uppvisar inget vätskemaximum. (Källa S Frostäng)

Figure 2. Product yield depending on temperature. (Source S. Frostäng)

Vid en **hög uppvärmningshastighet** minskar charproduktionen som följd av snabb förångning av flyktiga substanser. Fördelning av vätska/gas är beroende på sluttemperaturen. Vid långa uppehållstider ökar gasutbytet som följd av krackning av tjärorna.

En låg temperatur medför ett ökat utbyte av char.

Valet av pyrolysbetingelser är som synes av mycket stor betydelse för utbytet från processen.

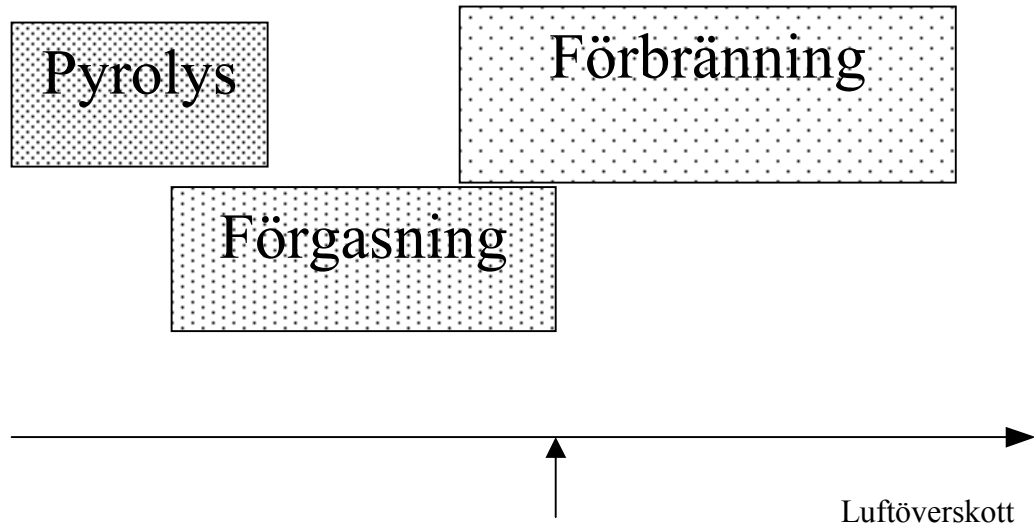
Valet av processbetingelser väljs ofta beroende på det värde de olika produkterna, gas, vätska och char, förväntas ha på marknaden.

2.2.2. Förgasning

Det är naturligt att skriva om förgasning när pyrolys behandlas, då denna uppkommer vid en partiell förbränning, oxidation, av de vid pyrolysen producerade charen samt kemiska reaktioner och rekombinationer med/av tjäror och gaser. Den partiella förbränningen uppstår genom att syre ges tillträde och kol och kolväten omvandlas till kolmonoxid och vatten. Pyrolys sker i inert, syrefri miljö. I Figur 3 nedan indikerar pilen de område där förgasningen sägs upphöra vilket är vid en stökiometrisk syreblandningskvot, dvs förgasning sker vid luftunderskott.

Vid studier av reaktionsmekanismer har det visat sig att pyrolys och förgasning

har en distinkt gräns vid låga uppvärmningshastigheter. Vid höga uppvärmningshastigheter sker förgasningen så snabbt att pyrolysisprocessen inte hinner fullföljas. Som följd av detta kan inte någon gräns noteras. Pyrolysisprodukterna kan inte identifieras och snabba komplexa reaktioner sker på partikelytan hos de partiklar som förgasas.



Figur 3. Termokemisk omvandling som funktion av luftöverskott. Pilen visar på stökiometriskt blandningsförhållande mellan bränsle och luft.

Figure 3. Thermochemical conversion processes as function of excess air ratio.

För produktspektrat, vid förgasning, spelar transportmekanismerna för reaktanterna och produkterna en viktig roll. Kinetiken för reaktionerna har en stor betydelse och reaktionshastigheten bestäms av temperatur, tryck, uppehållstid och partikelytans beskaffenhet. Vid högre temperaturer spelar diffusionen genom den vid partikeln utbildade gasfilmen en större roll och kinetiska hinder får en mindre betydelse. Dessa reaktioner har försökt att modelleras, men som så ofta har verkligheten visat sig mer komplex än modellen.

Vid sönderdelning, såsom vid pyrolys och förgasning, är det den trögaste reaktionen som bestämmer hur snabbt totalreaktionen sker. Förenklat kan man säga att de kemiska bindningar som är starkast i bränslet bestämmer hur snabbt sönderdelningen går. Vid den tidpunkt då sönderdelningen avstannat har de flyktiga beståndsdelarna redan gett sig av från partikeln och kolresten, charen, finns kvar som en porös kropp med mer eller mindre starka bindningar i kolskelettet. Reaktiviteten för charen från biomassa är avsevärt högre än för kol och torv och för att förbättra resultatet har många studier gjorts över katalytiska tillsatsmaterial för att snabba upp reaktionerna.

Reaktionerna startar på charpartikelns utsida och reaktionen rör sig in mot partikelns centrum och lämnar efter sig ett tredimensionellt skal av inert material (aska).

När det gäller kommersialisering av förgasning av biomassa och avfall är steget långt. Den forskning och utveckling som genomförs inom området sker främst i de delar av världen som har en riklig tillgång på biobränslen. När det gäller förgasning av avfall har forskningen och utvecklingen varit mer påtvingad av verkligheten i konsumtionssamhället. Detta som alternativ till förbränning och deponi av avfall. Inom EU-samarbetet har det under 1990-talet bedrivits ett antal projekt för att studera möjligheten att samförgasa kol, biomassa och avfall.

Det kan konstateras att det finns ett intresse för förgasningstekniken för förgasning av biomassa i världen, trots att denna teknik ännu inte visat sig vara tillräckligt pålitlig eller ekonomiskt försvarbar. Bland de kommersiella, redan exploaterade förgasningsteknikerna av kol, restoljor, mm har haverier varit vanliga. Det är/får anses vara förknippat med stora tekniska svårigheter och kostnader att utforma en teknik för förgasning av biomassa. Utmaningen är än större om avsikten är att förgasa avfall, däck, plaster etc.

2.2.3. Förvätskning

Ett alternativ till förgasning för produktion av råvaror och bränslen är förvätskning. Processen har rönt ett mindre intresse än förgasning beroende på produkternas varierande kvalitet och höga anläggningskostnader. Vid förvätskning nyttjar man låg temperatur och högt tryck för att så stor andel av de produkter som produceras skall vara i vätskefas. Ofta utnyttjas även katalysatorer. Denna teknik har förordats i vissa sammanhang framförallt för att processen producerar produkter som är mer stabila än produkterna från pyrolysisprocessen. Produkternas användningsområde är primärt fordonsbränslen. Ett antal teknologier har utvecklats sedan andra världskriget, då i första hand tyskarna experimenterade med syntetbensin.

Höga anläggningskostnader för denna typ av anläggningar har gjort att ingen hittills kunnat motivera byggnation för att för att producera oljan/vätskan. I Sverige har verksamhet för att förvätska torv förekommit under 1980-talet.

2.3. Pyrolysisprodukter

Vid pyrolysis av biomassa erhålls tre produkter char, gas och pyrolysvätska. I de flesta sammanhang är det den vätska som utvinns vid pyrolysis som är den mest intressanta produkten. I många sammanhang är även också charen av intresse.

Ofta kallas den vätskeformiga produkt som erhålls vid pyrolysis för pyrolysolja. Denna vätskas egenskaper skiljer sig dock från oljors egenskaper på olika sätt. En av de väsentliga skillnaderna är att pyrolysvätskan blandar sig med vatten vilket oljor inte gör per definition. Detta medför att pyrolysvätska är ett bättre namn än pyrolysolja.

2.3.1 Char

Char är den fasta beståndsdel som återstår då gaser och vätskor har avgått. Charen består huvudsakligen av aska och kol.

Charens har relativt många användningsområden. Några av de som har redovisats under åren är:

1. Energiråvara
2. Färgindustrin (kimrök)
3. Gummiindustrin (kimrök)
4. Aktivt kol
5. Färgpigment i kopiatorer och laserskrivare
6. Koks i järn- och stålindustrin

För punkterna 2, 3, 4 och 5 handlar det om återvinning av material. Då det finns en etablerad marknad för dessa användningsområden så finns också kravspecifikationer vad gäller renhet och andra egenskaper samtidigt som det finns ett pris marknaden kan betala. Priset för kimrök, aktivt kol, etc varierar mycket beroende på pulverstorlek och renhet. För de enklare kvaliteterna framställda på kommersiellt sätt betalas några kronor per kilo. Dessa kvaliteter är de stora mängderna som det handlas med på marknaden. För de produkter med verkligt höga kilopriser som finns på marknaden betalas något 1000-tal kronor per kilo. Dessa kvaliteter har dock en mycket begränsad marknad och kvalitetskraven är mycket höga.

För punkterna 1 och 6 gäller att den produkt som producerats i en pyrolysanläggning skall konkurrera med befintliga energivaror på marknaden. Motivet för att först pyrolysera eller torrdestilera veden för att sedan göra ett pulver för förbränning är att det åtgår avsevärt mindre mekaniskt arbete att pulverisera kol än vedråvara. Det producerade pulvret kan sedan användas i pulverbrännare. Priset för charen som bränsle är dock lägre än för andra användningsområden.

2.3.2. Gas

Gasen är de beståndsdelar som inte kondenserar ut i behandlingen av gaserna från processen. Gasen består huvudsakligen av CO_2 , CO , CH_4 och H_2 . I detta fall kan gasen användas som en energigas eller syntesgas.

2.3.3. Pyrolysvätska

Den vätska som erhålls vid pyrolys kallas bland annat för bio-crude, bio-oil, pyro-crude oil, pyrolysolja, liquid-phase, pyrolysis liquid, m.m. Då vätskan inte är definierad och den blandar sig med vatten till skillnad från oljor kommer vätskedelen från pyrolyserprocesser att i fortsättningen, av denna rapport, att benämnas pyrolysvätska. Just det att olja inte är blandningsbar med vatten är en av de egenskaper som oftast anges definiera en olja. Pyrolysvätskan innehåller normalt 15-30 % vatten.

I pyrolysvätskan har flera hundra olika föreningar kunnat identifieras. Pyrolysvätskan är användbar som bränsle. Samtidigt innehåller pyrolysvätskan många olika kemikalier av vilka vissa speciella har ett marknadsvärde.

Det finns många analyser av pyrolysvätskor i litteraturen. Till de ämnen som uppträder i pyrolysvätskan är, levoglucosan, fructos, formaldehyd, cellobiosan, hydroxyacetaldehyde, oligosaccharider, mfl.

2.3.3.1. Pyrolysvätskors egenskaper

Pyrolysvätskor har inte samma egenskaper som fossila oljor. Därför är analys och karakterisering av pyrolysvätskor ett viktigt område. Detta gäller såväl för det intresse som finns att använda pyrolysvätskor inom energisektorn som inom kemikaliesektorn. Fysiska och kemiska data för pyrolysvätskor kan ge viktiga kunskaper om processparametrar, kvalitet, toxicitet och stabilitet för pyrolysvätskorna. När det gäller karakterisering av pyrolysvätskor så gäller att de standardmetoder som används för karakterisering av andra oljor inte alltid är användbara.

Densitet	1150-1300 kg/m ³	
PH	3	
Undre värmevärdet	12,8-17,8 MJ/kg	
Dynamisk viskositet	30-2000 cP	Vid 25°C beroende på lagringstid, temperatur och vatteninnehåll.
Värmeledningsförmåga	0,35-0,43 W/mK	
Specifika värmes	2,55-3,75 kJ/kgK	I temperaturområdet 25-60 °C
Flash point	50-100 °C	
Ytspänning	29,2	Medel för oljor från Ensyn RTP

Tabell 3. Typiska storheter för pyrolysvätskor
Table 3. Some typical data for pyrolysis liquids.

Pyrolysvätskornas egenskaper beror på råvaran, processparametrar och processutrustning. I litteraturen redovisas data för pyrolysvätskor från snabb pyrolys. I tabell 3 ges en kort sammanfattning av redovisade storheter

Tabell 4 visar en jämförelse mellan en pyrolysvätska framställd via flash pyrolys (Union Fenosa) och en tjockolja. Som jämförelse visas i tabell 5 en analys redovisad av Diebold, Milne, Bridgewater. Tabell 6 är ytterligare en redovisning av pyrolysvätska redovisad av Shaddix och Huey.

	Snabb pyrolys	Tjockolja
Fukthalt (wt %)	15-25	0,1

Partiklar (1,6 mm)	0,5-0,8	0,01
C (%)	44,14-46,37	85,2
H (%)	6,60-7,10	11,1
O (%)	47,03-48,93	1,0
N (%)	0	0,3
S (%)	Under detektiongränsen	2,3
LHV (MJ/kg)	16,5-17,5	40
Densitet (kg/m ³)	1230	940
Viskositet vid 25 °C (cP)	400-1200	-
Viskositet vid 50 °C (cP)	55-150	180
PH	2,4	-
Aska (%)	0,01-0,14	

Tabell 4. Typiska data för pyrolysvätska (Union Fenosa) och tjockolja
Table 4. Typical data for pyrolysis liquids and heavy fuel oil.

	Poppel (hetgas filtrerad)	Lönn och ek (cyklon)	Eukalyptus (cyklon)
Vattenhalt (%-vikt)	17,9 (0)	23,3 (0)	27,9 (0)
C (%-vikt)	46,5 (57,3)	44,8 (58,5)	39,4 (54,6)
H (%-vikt)	7,2 (6,3)	7,2 (6,0)	7,3 (5,8)
O (%-vikt)	46,1 (36,2)	47,8 (35,4)	53,4 (39,6)
S (%-vikt)	0,02 (0,02)	<0,002 (<0,01)	<0,1 (<0,1)
K + Na (ppm)	9,9	NA	NA
Cl (ppm)	7,9	NA	NA
Aska (%-vikt)	0,01	0,09	0,09
HHV (MJ/kg)	18,7 (22,3)	18,1 (23,5)	15,6 (21,6)
LVH (MJ/kg)	17,4 (21,2)	16,6 (22,2)	14,9 (20,3)
Densitet (kg/m ³)	1200	1230	1260
Viskositet 50 °C (cSt)	13,5	70	50
pH	2,8	2,8	2,3

Tabell 5. Data för pyrolysvätskor från olika träslag.
Table 5. Data for pyrolysis liquids from different Woods.

	Poppel (NREL 160)	Poppel (NREL 174)	Poppel (NREL 195)
C (%-vikt)	64,4	59,3	57,1
H (%_vikt)	7,0	6,6	6,6
O (%-vikt)	28,3	33,8	36,3
N (%-vikt)	0,3	0,19	0,04
S (%-vikt)	-	0	0,04
Aska (%-vikt)	0,005	<0,001	<0,001
Fukt (%-vikt)	29,7	27,2	20,6
Flyktigt (%vikt)	64,5	67,2	71,8
Bundet kol (%-vikt)	5,8	5,4	7,6
HHV (MJ/kg)	19,0	17,5	17,6
LHV (MJ/kg)	17,2	15,8	16,0
Viskositet 40°C (cP)	27	13	22

Tabell 6. Data för några pyrolysvätskor.

Table 6. Data for some pyrolysis liquids.

För att komplettera bilden redovisas data för EO 2 i tabell 7.

	EO No. 2
C (%-vikt)	87,3
H (%_vikt)	12,9
O (%-vikt)	-0,3
N (%-vikt)	<0,01
S (%-vikt)	0,1
Aska (%vikt)	<0,001
Fukt (%-vikt)	0,0
Flyktigt (%vikt)	99,8
Bundet kol (%-vikt)	0,1
HHV (MJ/kg)	43,8
LHV (MJ/kg)	41,0
Viskositet 40°C (cP)	2

Tabell 7. Data för Eo 2.

Table 7. Data for Eo 2.

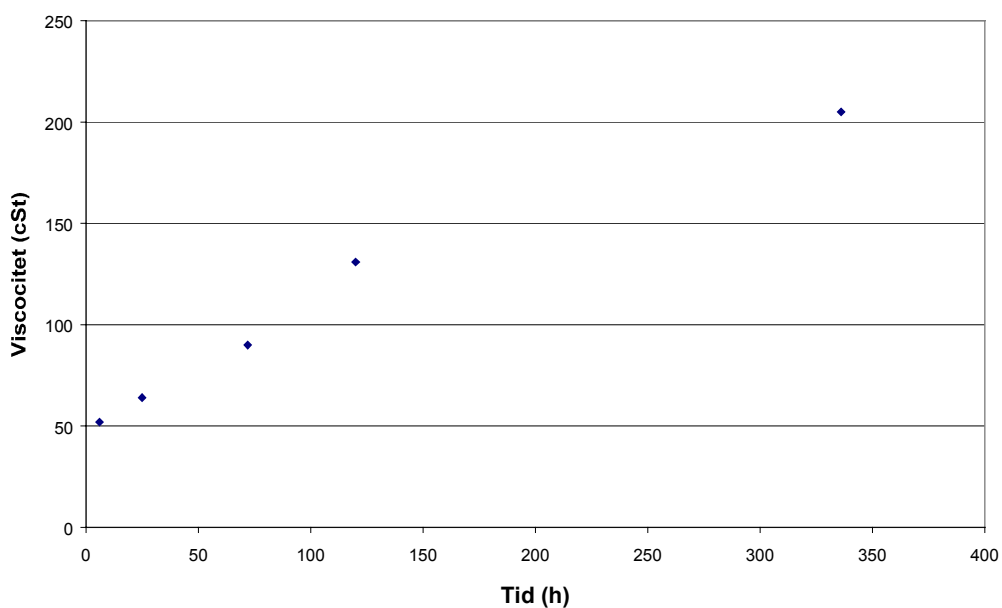
De ovan redovisade data för olika pyrolysvätskor och oljor visar på skillnader i elementaranalys, viskositet, värmevärde, fukt, pH, m.m.

En annan relevant jämförelse är den mellan pyrolysvätska och biomassa. Pyrolysvätskan har ett undre värmevärde mellan 12,8 till 17 MJ/kg (se nedan) samtidigt som fasta biobränslen har ett undre värmevärde på 18 till 21 MJ/kg, densitet för pyrolysvätskan är 1200 till 1300 kg/m³ och för fast biomassa ca 200 kg/m³. Vid 20 % torrhalt blir skillnaden i volym avsevärd för samma energimängd. Denna skillnad i densitet är väsentlig ur lagrings- och transportsynpunkt.

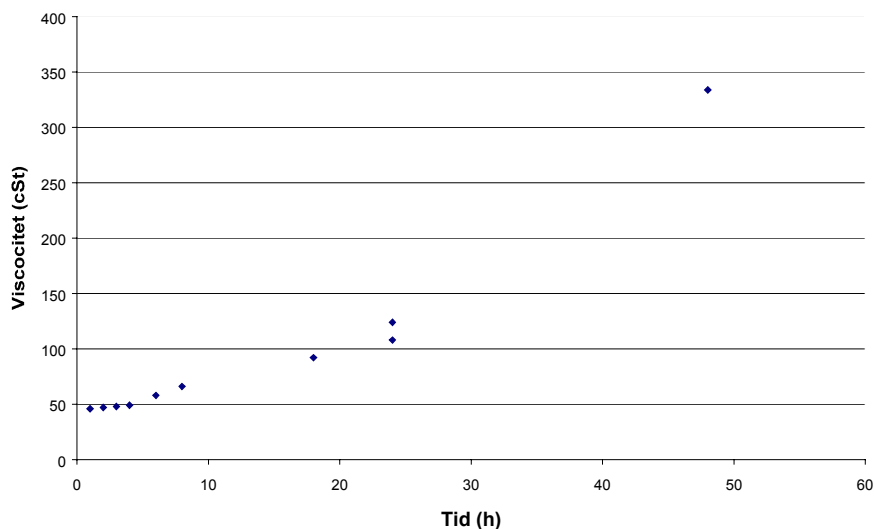
2.3.3.2. Åldring

Pyrolysvätskor är kemiskt reaktiva och kommer att polymerisera med tiden och större molekyler kommer att bildas. Vanligtvis sker denna polymerisation med produktion av vatten som biprodukt. Som följd av detta tenderar de fysiska egenskaperna att förändras med tiden. Som följd av detta ökar molekyylvikten med lagringstiden för pyrolysvätskan liksom viskositeten.

I litteraturen finns olika försök redovisade för åldring av pyrolysvätskor. Ett vanligt test är att studera viskositets förändringar med tid och temperatur. Den viskositetshöjning som sker med tiden är temperaturberoende. Ju högre temperatur desto snabbare höjning av viskositeten. Figur 4 och Figur 5 beskriver åldringen för pyrolysvätskor. Figur 4 visar hur viskositeten förändras med tiden för en pyrolysvätska med en temperatur på 60 °C. Figur 5 visar hur viskositeten stiger med tiden vid en temperatur på 80 °C. Viskositets förändringarna är redovisade av VTT. Viskositetsförändringen är starkt temperaturberoende.



*Figur 4. Viskositetsförändringen för pyrolysvätska vid 60 °C.
Figure 4. Change in viscosity for pyrolysis liquids at 80 °C.*



Figur 5. Viskositetsförändringen för pyrolysvätska vid 80 °C.

Figure 5. Change in viscosity for pyrolysis liquids at 80 °C.

Vätskan tenderar också att separera i en tunn vätskefas och i en tjock tjärfas. I litteraturen rekommenderas att vätskan förbrukas innan denna fassetparation.

Det vore därför en fördel att kunna förebygga denna åldring av pyrolysvätskan så att lagring under längre perioder skulle vara möjlig.

2.3.3.3. Kemiska analyser

I pyrolysvätskor har mer än 200 föreningar detekterats. De flesta i mycket små andelar. De flesta ämnena har molekylvikter under 200 men några lignindimerers med molekylvikt omkring 272 har hittats. För vidare studier av de olika ämnen som kan finnas i pyrolysvätskor hänvisas till litteratur i ämnet. I ref 1, ref 4, m. fl finns sammanställningar av pyrolysvätskors innehåll.

2.3.3.4. Additiv till pyrolysvätskor

Vid lagring av pyrolysvätskor förändras egenskaperna för vätskan. De problem som föreligger med åldring av pyrolysvätskor visar sig i det att vätskornas viskositet stiger med tiden. För att minska denna olägenhet har försök gjorts med att späda pyrolysvätskan med olika ämnen såsom metanol, etanol, aceton, etylacetat och metylisobutylketon. Tillsatserna medför att pyrolysvätskans viskositet sjunker. Viskositeten stiger fortfarande med tiden men inte i samma omfattning som med ren pyrolysvätska.

Det förefaller som åldringen fortgår trots kemikalierna även om förändringen i viskositet inte är så stor. Kostnaden för tillsatserna är inte hög och dessa är också brännbara.

Pyrolysen anses ofta som en lovande teknik för framställning av flytande bränslen och andra produkter.

2.3.3.5. Upparbetning

För pyrolysvätskor ges olika användningsområden och olika behandling av den råa pyrolysvätskan. Det ena är förbränning av den rena vätskan och det andra är upparbetning av vätskan till mer värdefulla produkter. Detta gäller också den char som erhålls vid pyrolys.

För upparbetning av pyrolysvätskor pekas på olika metoder och processer. Kostnaderna för framställning av pyrolysvätskor samt uppgradering är dock oklar. Det är dock klart att varje upparbetning medför att mervärden tillförs produkterna. Det är dock oklart om det värde som en upparbetning medför kan motivera den extrakostnad som upparbetningen medför. Det framstår dock som ganska klart att en upparbetning medför fördelar vad gäller användningsområde.

De typer av upparbetning som kan vara aktuella är fysisk upparbetning, filtrering, katalytisk/kemisk upparbetning, katalytisk hydrotreating.

Olika typer av kvalitetsförhöjningar av pyrolysvätskor medför ökade kostnader för vätskan.

Pyrolysvätskor åldras som nämnts ovan. Denna åldring beror på ljus, värme och tid. Åldringen är ett viktigt motiv för upparbetning av pyrolysvätskor om de skall användas industriellt i framtiden.

Ett annat motiv för framställning av pyrolysvätskor och användning av dessa skulle kunna vara de kemikalier som kan framställas ur vätskan. De ämnen som har ett mervärde finns oftast i relativt begränsad omfattning. För att utvinna de kemikalier som kan komma i fråga krävs också upparbetning av pyrolysvätskan.

2.4. Hälsorisker

När det gäller hälsorisker associerade till pyrolys och pyroly produkter så är de dåligt belysta i litteraturen även om vissa undersökningar är gjorda. Det har antagits att de inte är större än för olja och kol.

Historiskt så har lågtemperaturpyrolys använts för att producera char och pyrolysvätskor. Historiskt har studier gjorts avseende akut och långvarig exponering av pyrolysvätskor som producerats med lågtemperaturpyrolys. Den nuvarande utvecklingen av pyrolys är dock inriktad på snabb pyrolys för att för att optimera utbytet av pyrolysvätska.

Inom detta område, hälsorisker, finns stora insatser att göra.

3. Aktörer

3.1 Företag

I världen finns det ett antal företag som är engagerade i utveckling av pyrolyprocesser. I Sverige finns några mindre företag som försöker eller har försökt utveckla pyrolyprocesser. Att göra en komplett lista på företag verksamma inom området är omöjligt då företag växer upp snabbt och försvinner lika snabbt.

Att bedöma varje enskild pyrolyprocess bedöms inte som meningsfullt. Detta då arbetsinsatsen som krävs är allt för stor och tekniken är under utveckling. Det är likaså mindre meningsfullt att peka ut företag och deras teknik som mindre bra eller bra då tekniken ständigt utvecklas och ny kunskap tas fram.

För de svenska företagen gäller att det oftast handlar om mycket små företag med knappa resurser såväl personellt som ekonomiskt. De företag som varit verksamma inom området pyrolys i Sverige under den senaste tioårsperioden har i flera fall varit inriktade på pyrolys av gummi. Dessa företag har ofta haft färre än tio anställda. Några av de svenska företag eller projekt som kan nämnas, som varit verksamma under 1990-talet, är följande:

- Återvinningsbolaget i Älvsbyn
- Crossmac AB i Lilla Edet
- Bjurholms kommun
- Pure Control i Lund/Olofsström
- Oroboros AB i Göteborg
- Energidalen i Sollefteå
- Ensyn, Söderhamn

Återvinningsbolaget och Crossmac har främst engagerat sig i pyrolys av gummi. För dessa företag har materialåtervinning varit det primära motivet för pyrolys. Avsikten har då varit att använda charen inom industrin.

Bjurholms kommun avsåg att i samarbete med en konsult utveckla en process för torr destillation av ved för att producera en char. Detta för att förenkla malning av biobränslen. Charen skulle sedan eldas i pulverbrännare.

Pure Controls projekt avsåg pyrolys av avfall. Processen utvecklades av en ungrare som var bosatt i Sverige. Projektet lades på is 1993 men tycks ha återuppstått under 1999.

Oroboros AB vill i första hand arbeta med upparbetning av produkterna från förgasning och pyrolys.

Energidalen har under en längre tid arbetet för att få tillstånd en pyrolysanläggning i Sollefteå. Anläggningen skulle då köpas från utlandet.

Söderhamns kommun har tillsammans med kanadensiska Ensyn försökt att få tillstånd en pyrolysanläggning i Söderhamn. Ansökan om koncession har lämnats in. Grannarna till den aktuella lokaliseringen har överklagat lokaliseringen. Lokaliseringen överklagades hösten 1998 och 1999 fattades beslut att den föreslagna lokaliseringen inte är lämplig. Projektets framtid är oviss.

Internationellt finns företag och organisationer som arbetar med pyrolyprocesser. De internationella företagen tycks karakteriseras av att vara små företag med en nära koppling mot forskningsorganisationer. De utländska företagen tycks ha tillgång på större ekonomiska resurser. Några av de företag som kan nämnas är:

- Ensyn, Kanada
- Dynamotive, Kanada
- Pyrovac, Kanada
- Creative Recycling Technologies, USA
- Biomass Technology Group B.V., Holland
- AEA, England

För att utröna utvecklingsläget för de olika företagen har fler av företagen kontaktats via e-mail eller fax. Inget av företagen har svarat dessa frågor. De frågor som ställts har avsett följande:

1. Utvecklingsläget
2. Beräknade kostnader eller pris för pyrolysvätskan.
3. Möjligheter att köpa pyrolysvätska på marknaden.
4. Eventuella miljöproblem och risker.
5. Marknaden för pyrolysvätskan och tillgänglighet av denna.
6. Behov eller förväntat behov av reningsutrustning i förbränningsanläggningar som använder pyrolysvätskor.
7. Antal levererade anläggningar.
8. Hur kommersiell företaget anser att tekniken är idag.

Anledningen till att inget av bolagen svarat på dessa frågor kan man endast spekulera i. En rimlig förklaring kan vara att teknikerna inte är kommersiella i den mening att man endast har en begränsad erfarenhet av mindre anläggningar. I olika sammanhang beskrivs teknikerna som kommersiella m.m. samtidigt så råder det en osäkerhet kring kostnader och vilket pris olika pyroly produkter kan betinga på marknaden.

De företag som bedöms ha kommit längst i sin utveckling är Pyrovac, Dynamotive och Ensyn.

3.1.1. Ensyn

Ensyn är ett kanadensiskt företag. Den teknik som används, snabb pyroly, utvecklades vid West Ontario Universitetet under tidigt 1980-tal.

Ensyn bedöms i de flesta sammanhang vara det bolag som kommit längst. Ofta sägs det att Ensyn är det enda kommersiella bolag som levererar pyrolysanläggningar. 1996 hade Ensyn levererat tre anläggningar med en kapacitet på 80 kg/h, 10 kg/h och 25 ton/dygn. Den minsta anläggningen var en forsknings- och utvecklingsanläggning. Vid denna tid var sex anläggningar under design och konstruktion. Dessa anläggningar var planerade för mellan 1 och 60 ton/dygn. I bilaga 1 redovisas byggda anläggningar enligt PyNe. Bland dessa redovisas ingen som motsvarar någon av dessa.

Ensyn har utvecklat ett antal olika konfigurationer som går under benämningarna RTP-I, RTP-II, RTP-III och RTP-IV, några har också varianter. Bilaga 2 Figur 1 visar en anläggning med betäckningen RTP-III detta är det koncept som föreslogs till ENEL i Italien. Det centrala i systemet är reaktorn där biomassan kommer i kontakt med het sand som strömmar uppåt. Partikelstorleken in i reaktorn är mindre än 6 millimeter och torkad till ungefär 10 % fukthalt. Produkterna från reaktorn passerar sedan två cykloner den första separerar bort sanden den andra separerar charen från gasen. I nästa steg kondenseras vätskan ut från gasen i en snabb quench. Den totala uppehållstiden kan kontrolleras exakt för att ”frysa” den ostabila pyrolysvätskan.

Processen har provats med olika material såsom trä, lignin, cellulosa, slam, jordbruksrester, tunga oljor, asfalt, däck etc.

3.1.2. Pyrovac

Pyrovac är liksom Ensyn ett kanadensiskt bolag. Pyrovac är beläget i Quebec. Grundaren av företaget Christian Roy har starka kopplingar till Laval Universitetet. Pyrovac har byggt en anläggning som startats upp under 1999. Kapaciteten är 3,5 ton torrsustans in i anläggningen per timme. Pyrovacs process bygger på en anläggning med undertryck.

I Pyrovac anläggningen används flytande salt som värmebärare. Saltet värms med gas. Den anläggning som byggts har en liggande reaktor som är 13 meter lång och 2,2 meter i diameter. Från reaktorn leds gasen till två kolloner för kylning för att sedan ledas till ett uppsamlingskärl. Charen kyls i slutet av reaktorn och förs sedan via en transportör till ett samlingskärl. Reaktorn är utrustad med en vaccumpump som ger ett tryck på 10-15 kPa. För att förebygga riskerna vid ett luftläckage in i reaktorn är den utrustad med ett kvävgassystem.

3.1.3. Dynamotive

Dynamotives teknik bygger liksom Ensyns på snabb pyrolys. Dynamotive har förhoppningen att starta konstruktion av en demonstrationanläggning på 25 till 35 ton per dygn under senare delen av 1999. Tekniken kommer från Recource Transforms International Ltd i Waterloo Ontario Kanada. Reaktorn i detta fall är

en bubblande fluidbädd. Utbytet anges till mellan 65 och 75 % vätska och 10 till 15 % gas och 10 till 25 % char.

3.2. Anläggningar

PyNe kom med en slutrapport 1998 avseende pyrolys och i denna finns en lista, kallad "Pyrolysis Liquids Production Processes, 1997", se bilaga 1, över pyrolysanläggningar i världen. I listan anges typ av utrustning, kapaciteten för de olika anläggningarna samt lokalisering av dessa. Den största upptagna anläggningen som tas upp i listan har en kapacitet på 2000 kg/h och var då under utveckling. De flesta anläggningarna som finns med i listan är att betrakta som laboratorieutrustning med en kapacitet på från något kilo per timme till något hundratal kilo per timme.

Den senaste pyrolysanläggningen som byggts är byggd av Groupe Pyrovac Inc i Kanada. Anläggningen är en av de största anläggningar som byggts. Denna anläggning har en kapacitet på 3,5 ton/h torrsbstans in till anläggningen. Anläggningen arbetar med ett undertryck om 10-15kPa. Till reaktorn har kopplats ett system med kväve av säkerhetsskäl. Detta för att undvika att luft kommer in i reaktorn. Reaktorn är 13 meter lång och har en diameter på 2,2 meter. Pyrolysvätskan skall användas för framställning av fenolformaldehydharts. Charen skall användas inom den metallurgi och mineral industrin. Någon ekonomisk kalkyl för anläggningen har inte stått att finna.

Den anläggning som ofta anges som den första kommersiella snabba pyrolysanläggningen är en anläggning levererad av Ensyn till Red Arrow Products i Wisconsin, USA. Denna anläggning producerar specialkemikalier återstoden levereras som bränsle. Anläggningen består av två reaktorer. Kapaciteten för dessa Red Arrow reaktorer är begränsad till 1250 och 1000 kg/h.

3.3. Pyrolysnätverk

Som följd av det intresse som finns och funnits, för pyrolys, från olika håll har det vuxit fram två internationella nätverk inom pyrolysområdet. Dessa två nätverk är PyNe och PyRA.

PyRA är IEAs (International Energy Agency) aktivitet inom området pyrolys.

PyNe står för "Pyrolysis Network for Europe". PyNe kom med en slutrapport 1998. PyNe leds av Bio-Energy Research Group, Aston University, UK. I rapporten finns en lista kallad "Pyrolysis Liquids Production Processes, 1997".

Inom båda dessa nätverk utges skrifter kring pyrolys. Dessa skrifter är bra källor för inskaffande av kunskap kring pyrolys. Ibland är artiklar och annat material överdrivet optimistiska i att beskriva pyrolys och en förestående kommersialisering av denna. Enligt Dr A.V, Bridgwater, som är ansvarig för PyNe, gäller följande för PyNe, citat " A network of active researchers and

enthusiasts in pyrolysis of biomass has been established in Europe. The overall objective of the network is to establish a forum for the discussion and exchange of information on new scientific and technological development on biomass pyrolysis and related technologies across Europe". Detta kan kanske förklara en del av den optimism dessa organisationer har kring pyrolysens status idag.

3.4. Svensk kompetens på området.

Under 1980-talet har insatser inom pyrolys gjorts i Sverige, varför kompetens och kunskap finns. De företag och högskolor som har störst erfarenhet av pyrolys i Sverige är TPS, KTH, LTH, ETC och CTH. Aktiviteten inom Sverige när det gäller pyrolys är för närvarande relativt låg.

4. Kostnader för framställning av pyrolysvätskor

Då de företag som levererar utrustning inte svarat på frågor kring detta så är det svårt att exakt veta kostnaden för pyrolysvätskor. Samtidigt finns det ingen direkt marknad för pyrolysvätskor. Det finns olika uppskattningar av produktionskostnader i litteraturen.

Dynamotiv anger på sin hemsida att priset för pyrolysvätska skulle vara mellan 0,05 och 0,10 US\$/kWh. Detta skulle motsvara mellan 0,42 och 0,85 kronor/kWh.

A.V. Bridgewater anger produktionskostnaderna för pyrolysvätskor enligt tabell 9. Förutsättningarna är att tillverkarna har levererat omkring tio anläggningar vilket medför att leverantörerna har lärt sig tekniken och därmed kunnat göra besparingar.

Anläggningskapacitet	1 ton/h	1 ton/h	10 ton/h	10 ton/h
Bränsle pris	0 ECU/ton	50 ECU/ton	0 ECU/ton	50 ECU/ton
Kostnad bränsle	0	4,80	0	4,80
Kapital kostnad	1,47	1,47	0,61	0,61
Drift	5,26	5,26	1,7	1,7
Totalt	6,73	11,53	2,31	7,11

Tabell 9. Produktionskostnader i ECU/GJ för pyrolysvätskor vid utvecklad pyrolysteknik enligt A.V. Bridgewater.

Table 9. Production costs in ECU/GJ for pyrolysis liquids with a developed technology. (A.V. Bridgewater)

Med en kurs på 8,80 kronor/ECU motsvarar det produktionskostnader på mellan 20 kronor/GJ och 101 kronor/GJ eller mellan 0,07 och 0,36 kronor/kWh. I dessa kostnader är kostnaden för råvaran en viktig del. Det är notabelt att energikostnaderna för processen inte redovisas separat i sammanställningen. Normalt åtgår ca 10 % av energin för upphettning.

Det finns även icke officiella kostnadsuppskattningar som pekar på kostnader kring 0,30 kronor/kWh. Dessa kostnader är då en ren produktionskostnad helt utan vinst etc.

I andra sammanhang har priser för pyrolysvätskor på omkring 0,35 till 0,40 kronor/kWh diskuterats. I vissa fall har också kostnaderna för råvaran diskuterats. I några fall har råvaran ansatts ett negativt värde. Vilket skulle kunna vara fallet för ett avfall.

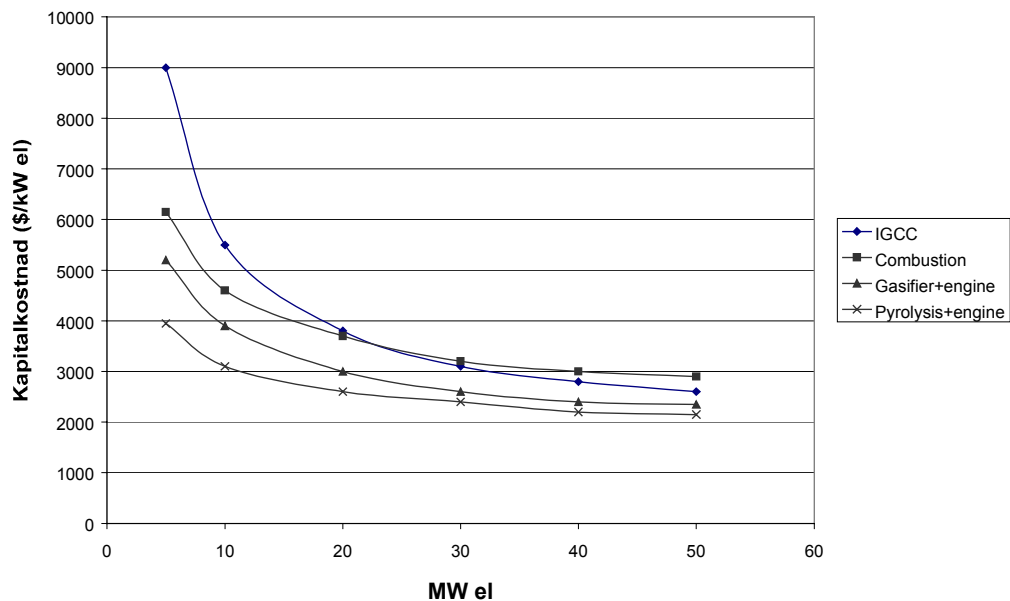
Sammanfattningsvis får man säga att det är svårt att hitta faktiska produktionskostnader och pris för pyrolysvätskor. Med utgångspunkt från de källor som uppgivit kostnader och priser tyder mycket på att priset skulle ligga i intervallet 0,40 och 0,80 kronor/kWh. Priset är beroende av råvarukostnaden.

De ovan redovisade kostnaderna och priserna är utan upparbetning. I händelse av att upparbetning krävs så stiger kostnaden för pyrolysvätska ytterligare.

Med de bränslepriser som redovisats förefaller då svårt att motivera användning av pyrolysvätskor i förbränningsanläggningar av ekonomiska skäl. I ett svenskt perspektiv med oljepriser för Eo 1 på omkring 40 öre per kWh inklusive skatter och ett pris för skogsbränsleflis på omkring 15 öre per kWh förefaller det svårt att motivera användning av pyrolysvätskor.

Bridgewater (ref.1) redovisar specifika anläggningskostnader för olika typer av anläggningar. Se Figur 6.

För de svenska förbränningsanläggningar som kommit tillstånd under början av 1990-talet inom det statliga kraftvärmestödet låg investeringskostnaderna på mellan 16 000 och 20 000 kronor per kW el. Bridgewaters siffror för förbränning förefaller något höga. Skillnaden i kostnader mellan olika typer av nya anläggningar är enligt dessa bedömningar endast marginell vid nyinvestering i större anläggningar.



Figur 6. Specifika investeringskostnaden för olika kraftproduktions tekniker.
Figure 6. Specific investment cost for different power generation systems.

5. Bedömning av teknikens status

5.1. Är pyrolysis kommersiellt tillgänglig teknik?

I många teknologiska applikationer utgör pyrolysen hjärtat i processen. Ett stort antal studier har gjorts under åren för att utvärdera teknikens förutsättningar att tillverka kemikalier för processindustrin, drivmedel för fordon, utgöra del i elproduktion mm. Inom det internationella samarbetet inom IEA (Internationell Energy Agency) sammanställdes en databank där 192 rapporter om pyrolysis av biobränslen, avfall mm finns redovisade fram till och med 1990. Inget av dessa projekt hade då lett till kommersiellt lyckade satsningar, bara några få anläggningar hade sålts, ett än mindre antal fungerade tillfredsställande.

I PyNes redovisning från 1997 lämnas en lång lista på anläggningar. Se bilaga 1. Kapaciteten för de flesta anläggningarna är i de flesta fall så begränsade att det omöjligt går att kalla pyrolysis för en kommersiellt tillgänglig teknik idag. Möjligen kan man säga att den är på väg mot en kommersialisering.

Huruvida pyrolysis är en kommersiell produkt/process eller inte är av stor betydelse för den eller de som ämnar investera i anläggningar eller ämnar köpa pyrolysisvätskor. I många fall ger leverantörerna en bild av att tekniken är kommersiell. Det är inte helt lätt att få riktig information från leverantörer. Det är inte heller ovanligt att företag vill leverera utrustning i fullskala trots att den erfarenhet som finns endast härstammar från utrustning i laboratorieskala.

Flera av de företag som är verksamma inom pyrolysområdet är små företag med begränsade resurser vilket också medför risker för eventuella köpare av utrustning.

För att besvara frågan om tekniken är kommersiell måste begreppet kommersiell teknik definieras. En rimlig definition borde vara följande:

1. Konkurrerar med annan energiteknik.
2. Fulla tekniska garantier.
3. Normala kommersiella ekonomiska åtaganden.
4. De produkter som produceras skall kunna konkurrera och ersätta befintliga produkter på ett ekonomiskt icke ofördelaktigt sätt.

Med denna definition av kommersiell teknik så är inte pyrolysen kommersiell idag. Denna fråga har ställts till flera olika leverantörer av pyrolysutrustning såsom Pyrovac, ENSYN, Dynamotiv, m.fl. Ingen av dessa har dock svarat på detta.

Oklarhet råder också om kostnadsbilden för produktionen och värdet av produkterna.

Bedömningen är att tekniken inte är i ett sådant skede att den kan kallas kommersiell idag. Möjligen kan pyrolysen stå inför en introduktion på marknaden. Innan pyrolysen är att betrakta som kommersiell så krävs det med all säkerhet ett 20 tal anläggningar från olika leverantörer. Dessa anläggningar skall då minst ha en kapacitet på omkring tre ton/h.

Groupe Pyrovac Inc, Kanada, har tillsammans med Ecosun BV, Holland; byggt en så kallad pilotanläggning i industriell skala, Anläggningens kapacitet är 3,5 ton/h torrt bränsle. Anläggningskostnaden är 9 miljoner CAN\$. Finansieringen av projektet sker dels genom bolagen Pyrovac Groupe och Ecosun och Sodexfor och SGF-Rexfor. Där SDF-Rexfor är ett kanadensiskt statligt holdingbolag. Detta är det närmaste en kommersiell anläggning man kan komma.

Det finns anläggningar som levererades i slutet av 1980 talet som betraktats som kommersiella av leverantörerna. Dessa anläggningar har främst producerat specialkemikalier. Det är skillnad mellan specialkemikalier och pyrolysvätskor för förbränning. Specialkemikalier kan betinga ett avsevärt högre pris än vätskor för förbränning.

Idag finns dessutom ingen etablerad marknad för pyrolyspanprodukter bortsett från specialkemikalier. Orsaken till detta är förmodligen det begränsade antal pyrolysanläggningar som finns och är i drift.

5.2. Problemområden

I litteraturen redovisas icke önskade egenskaper som pyrolysvätskor har. Dessa egenskaper medför problem. De problem som finns kan lösas vilket medför en

extra kostnad som skall adderas till kostnaden för pyrolysvätskan. I tabell 10 redovisas mindre önskvärda egenskaper hos pyrolysvätskor.

Egenskaper	Problem	Lösningar
Lågt pH	- Korrosion	- Materialval - Neutralisation - Katalytisk uppgradering
Hög viskositet	- Hanterings-svårigheter - Pumpsvarigheter	- Vatten tillsats - Lösningssmedels
Char och andra partiklar	- förbränningsproblem - erosion - igensättningar	- filtrering hetgas filter - vätskefiltrering
Alkali	- beläggningar	- bränsle preparering - hetgas filtrering - katalytisk uppgradering
Fukttinnehåll	- ger komplexa egenskaper på värmevärde, viskositet, pH, m.m.	- optimera och kontroll av vatteninnehåll i förhållande till applikation - problem lösning
Instabilitet och temperatur känslighet	- lagringsproblem - ökning av viskositet - fas separation - sönderdelning på heta ytor	- undvika kontakt med heta ytor - vatten eller andra tillsatser - stabilisering med katalytisk behandling
Ej substituerbar med fossil olja	-	- emulsioner - katalytisk raffinering

Tabell 10. Icke önskade egenskaper hos pyrolysvätskor och metoder för att förbättra egenskaperna.

Table 10. Non wanted behaviour for pyrolysis liquids and methods for avoiding them.

De möjligheter som finns att förbättra pyrolysvätskans egenskaper kostar, varför det är viktigt att göra så lite uppärbetning som möjligt för varje enskild applikation så att processen blir så ekonomiskt fördelaktig som möjligt.

5.3. Erfarenheter från förbränning av pyrolysvätskor

I litteraturen redovisas olika förbränningsförsök med biooljor och pyrolysvätskor främst producerad i flash pyrolysanläggningar. De försök som genomförts är genomförda i olika typer av anläggningar av olika storlek. Storleken på anläggningarna varierar mellan 30 kW och 50 MW. Utrustningarna som använts för prov är allt från flamtunnlar till pannor. De prov som gjorts visar på att

pyrolysvätskor är användbara som bränsle. De prov som gjorts är enskilda prov. I de rapporter som finns tillgängliga pekas på problemområden såsom:

1. Material måste vara mer syra beständiga än då oljor används. Detta gäller för tankar, pumpar, ventiler, rör och strypningar.
2. Pyrolysvätskan måste atomiseras för att brinna bra. Detta kräver omställningar av tryck och förvärmningstemperatur jämfört med vanliga oljor.
3. Värmning av lagringstankar ger ändring av pyrolysvätskans egenskaper. Förvärmning bör endast ske då vätskan skall användas.
4. Pyrolysvätska exponerad för luft medför att flyktiga beståndsdelar avgår och vätskan tjocknar.
5. Antändningsproblem. Förbränningsrum bör förvärmas och utrustas med en pilotlåga eller utrustning för flamstabilisering.
6. Pyrolysvätskan kan koksa vid förhöjd temperatur. Då anläggningar stängs ner kan upphettad olja koka i ventiler etc varför pyrolysvätska är lämpligast att använda med ett kontinuerligt flöde.
7. Partiklar i vätska. Kan medföra igensättningar. Men även ge problem med höjda halter av CO och THC i små system då partikelsystem bildas.

I de förbränningsförsök som gjorts så har emissioner mätts. I tabell 11 redovisas intervallet för de emissioner som mätts.

	CO (ppm)	NO _x (ppm NO)	SO _x (ppm SO ₂)	THC (ppm CH ₄)	Partiklar (mg/Nm ³)
Område	18-440	60-280	2-46	0,8-7	30-339

Tabell 11. Emissioner vid förbränning av pyrolysvätska.
Table 11. Emissions from combustion of pyrolysis liquids.

De emissioner som minskar i jämförelse med konventionell förbränning med biomassa är främst CO.

Prov har också genomförts med dieselmotorer.

5.4. Behov av FoU

Mycket tid och pengar har under åren lagts ner på forskning och utveckling kring pyrolys. Tekniken är trots detta inte kommersiell men står kanske inför en kommersialisering.

Det föreligger ett stort kunskapsglapp mellan forskare och utvecklare av pyrolystekniker. Till detta kommer att kunskapen kring pyrolys är begränsad hos de som är presumtiva användare av tekniken. Till de presumtiva användarna hör då anläggningsägare och leverantörer av energitekniskutrustning. Denna rapport pekar på problemområden vad gäller pyrolys. Fortfarande kvarstår ett antal områden som kräver svar innan pyrolystekniken kan anses vara kommersiell.

Behov av kunskap finns inom ett flertal områden vad gäller pyrolys. Bland områden där mer kunskap behövs är:

1. Verkliga kostnader.
2. Analyser av pyrolysvätskor.
3. Upparbetning av pyrolysvätskor.
4. Karakterisering av pyrolysvätskor.
5. Utbyte av produkter.
6. Värde för olika produkter.
7. Långtidstest av pyrolysvätskor.
8. Problem i samband med hantering av pyrolysvätskor.
9. Åldring av pyrolysvätskor.
10. Utveckling av brännare för pyrolysvätskor

6. Pyrolysvätskor ur ett myndighetsperspektiv

Vid produktion och konsumtion av pyrolysvätskor kan två frågor vara aktuella i ett myndighetsperspektiv. Dessa frågor är:

1. Hur skall pyrolysvätskan betraktas i ett beskattningsperspektiv?
2. Hur myndigheter kommer att betrakta pyrolys i ett miljöperspektiv?

Ingen av dessa två frågor går att ge ett riktigt klart svar på. Orsaken till detta är att produkten pyrolysvätska inte är tillgänglig i någon större omfattning, varför myndigheterna inte har haft att besluta i någon större omfattning kring pyrolysvätskan. Viss vägledning kan man dock få av lagar och myndigheternas hantering av frågor kring pyrolysvätskor.

För pyrolysvätskan som bränsle så gäller det idag att den med stor sannolikhet skulle betraktas som ett biobränsle dvs ingen beskattning då den används i en förbränningsanläggning. I händelse av att pyrolysvätskan skulle användas i fordon skulle den beskattas som andra bränslen för fordon. Möjligen skulle den vid prov kunna undandras beskattning men på lite längre sikt skulle den med all säkerhet beskattas.

Då det gäller pyrolysvätskor och användning av dessa och de krav som kan ställas på detta finns inte många fall att förlita sig på. Vid de eldningsförsök som gjorts har myndigheternas krav varit att emissionerna inte skall vara större än för det bränsle som används i normala fall i anläggningen.

7. Slutsatser och rekommendationer

Genom åren har relativt stora FoU-insatser ägnats åt pyrolys. En mängd olika processer och anläggningsvarianter har presenterats genom åren. Alla med olika prestanda och utbyte. Samtidigt har endast ett begränsat antal större anläggningar byggts. De anläggningar som byggts bör betraktas som demonstrationsanläggningar och pilotanläggningar. Resultat har redovisats under

åren kring problemområden med pyrolysisprodukterna. Slutsatsen måste vara den att tekniken inte är kommersiell och fortfarande kräver forskning och utveckling. Att tekniken inte är kommersiell kan motiveras på ett antal olika sätt. De viktigaste motiven torde dock vara det begränsade antalet anläggningar som är byggda samt att det fortfarande råder osäkerheter om kostnader, garantier, produkterna, m.m..

Bedömningen är att det idag finns ett antal leverantörer, främst nordamerikanska, som är villiga att leverera utrustning med olika grad av garantier, men tekniken har inte den mognad varken tekniskt eller ekonomiskt som konventionell energiproduktionsteknik har. Som följd av detta måste riskerna vid investering i pyrolysteknik bedömas vara större än för konventionell energiteknik.

Det faktum att de företag som utvecklar pyrolysteknik är relativt små företag gör att det föreligger ekonomiska risker.

Kunskap om pyrolysis finns inom den svenska högskolan och inom några forskningsinriktade bolag såsom ETC och TPS.

Med tanke på att det finns ett antal problemområden och samtidigt en mängd olika varianter att bygga anläggningar på samtidigt som anläggningarna kan köras på olika sätt torde det vara av stor vikt att en karakterisering och kravspecifikationer tas fram för bränslet om bränslet skall komma till användning.

8. Referenser

1. Bridgewater, Thermal Biomass conversion and utilisation – Biomass Information System, European Commission
2. Bridgewater, The status of fast pyrolysis of biomass in Europe, Biomass for Energy and Industry.
3. P.Chartier, G.L. Ferraro, U.M. Henius, S. Hultberg, Jsachau, M. Wiinblad, Biomass for energy and the environment, Pergamon 1996
4. A.V. Bridgewater, Advances in thermochemical biomass conversion, Blackie Academic & Professional
5. A.V. Bridgewater and D.G.B. Boocock, Development in thermochemical biomass conversion, Blackie Academic & Professional
6. IEA, Thermochemical biomass conversion database, 1990
7. James P. Diebold, A Review of the Toxicity of Biomass Pyrolysis Liquid Formed at low Temperatures, NREL, 1997
8. C.R. Shaddix, D.R. Hardesty, Combustion Properties of Biomass Flash Pyrolysis Oils: Final Project report, Sandia National Laboratories, 1999
9. James P Diebold, Stefan Czernik, Additives To Lower and Stabilize the Viscosity of Pyrolysis Oils during Storage, Energy & Fuels 1997, 11, 1081-1091
10. Oasmaa et al, Physical characterisation of biomass-based pyrolysis liquids Application of standard, VTT Publications :306
11. Sten Frostäng, Föredrag avseende pyrolys, NUTEK, 1993
12. Yrjö Solantousta, Tony Bridgewater & Dave Beckman, Electricity production by biomass power systems, VTT, 1996
13. Pyrolysis Network, Issue 6, Sept 1998
14. Pyrolysis Network, Issue 7, Mars 1999
15. Pyrolysis Network, Issue 8, Sept 1999

Adresser på nätet

<http://www.dynamotive.com/>

<http://www.nserc.ca/seng/ensyn.htm>

<http://www.oroboros.se/>

<http://btg.ct.utwente.nl/Pyrolysis/>

http://www.finbioenergy.fi/bio/_engl/31997/36flash.htm

<http://www.ceac.aston.ac.uk/general/staff/bridge.html>

<http://news.chemicalonline.com/companies-in-news/19990413-5246.html>

<http://www.ceac.aston.ac.uk/PyNE/>

<http://btg.ct.utwente.nl/Pyrolysis/>

Anläggningar för produktion av pyrolysvätska 1997 enligt PyNe.

Organisation	Land	Teknologi	Kapacitet (kg/h)	Status	Anm.
Castle Capital	Kanada	Ablative tub	2000	Avstängd	1
Dynamotive	Kanada	Fluidbädd	1500	Design 1997	
Interchem	USA	Ablative vortex	1360	Stängd 1994	
Red Arrow/Ensyn	USA	CFB	1250	I drift	
Red Arrow/Ensyn	USA	CFB	1000	I drift	
ENEL/Ensyn	Italien	CFB	625	I drift	
Alten	Italien	FB	500	Stängd 1992	
BTG/Kara	Holland	Roterande kon	200	Konstruktion	
Union Fenosa/ Waterloo	Spanien	FB	200	I drift	
Egemin	Belgien	Entrained förgasare	200	Stängd 1992	
Red Arrow/Ensyn	USA	CFB	125	I drift	
Ensyn	Kanada	CFB	100	I drift	
Pasquali/ ENEL	Italien	CFB	50	Stängd	
GTRI	USA	Medströms förgasare	50	Stängd 1990	
BBC	Kanada	Ablative tube	50	Stängd	
Bio-Alternative	Schweiz	Fixed bed	50	Stängd 1993	2
BTG	Holland	Roterande kon	50	I Drift	
Universitetet i Hamburg	Tyskland	FB	50	I drift	
Laval Universitetet	Kanada	Vacum moving bed	50	I drift	
Universitetet i Shenyang	Kina	Roterande kon	50	Stängd	
WWTC	Kanada	Augur kiln	42	I drift	2
Ensyn	Kanada	CFB	40	I drift	
Dynamotive	Kanada	FB	20	I drift	
NREL	USA	Ablative vortex	30	Nedmonterad 1997	
NREL	USA	Ablative vortex	20	I drift	
RTI	Kanada	FB	20	I drift	
VTT/Ensyn	Finland	CFB	20	I drift	

CRES	Grekland	CFB	10	I drift	
Ensyn	Kanada	CFB	10	I drift	
NREL	USA	Ablative vortex	10	I drift	
Universitetet i Tübingen	Tyskland	Augur kiln	10	I drift	2
Universitetet i Twente	Holland	Roterande kon	10	I drift	
BFG/TWC	Tyskland	Fluidbädd	6	I drift	
INETI	Portugal	FB	5	I drift	
Aston Universitetet	England	Ablative platta	5	Design	
RTI	Kanada	FB	3	Demonterad	
Aston Universitetet	England	Ablative platta	3	I drift	
Waterloo Universitetet	Kanada	FB	3	Flyttad till RTI 1995	
Aston Universitetet	England	FB	2	Idrift	
CPERI	Grekland	CFB	1	Ombyggnad	
BFH	Tyskland	FB	<1	I drift	
Colorado School Mines	USA	FB	<1	Demonterad 1990	
CPERI	Grekland	FB	<1	I drift	
NREL	USA	FB	<1	I drift	
RTI	Kanada	FB	<1	Idrift	
Aston Universitetet	England	FB	<1	I drift	
Universitetet i Leeds	England	FB	<1	I drift	
Oldenberg Universitetet	Tyskland	FB	<1	I drift	
Univ. Technology	Malaysia	FB	<1	I drift	
Universitetet i Santiago	Spanien	FB	<1	Konstruktion	
Universitetet i Sassari	Italien	FB	<1	I drift	
Universitetet i Stuttgart	Tyskland	FB	<1	Stängd	
Universitetet i Zaragoza	Spanien	FB	<1	I drift	
VTT	Finland	FB	<1	I drift	

Anmärkningar

1. Anläggning som körs som förgasare och alla gaser och ångor förbränns men med möjlighet att producera vätska.
2. Långsam pyrolys med vätskeproduktion.

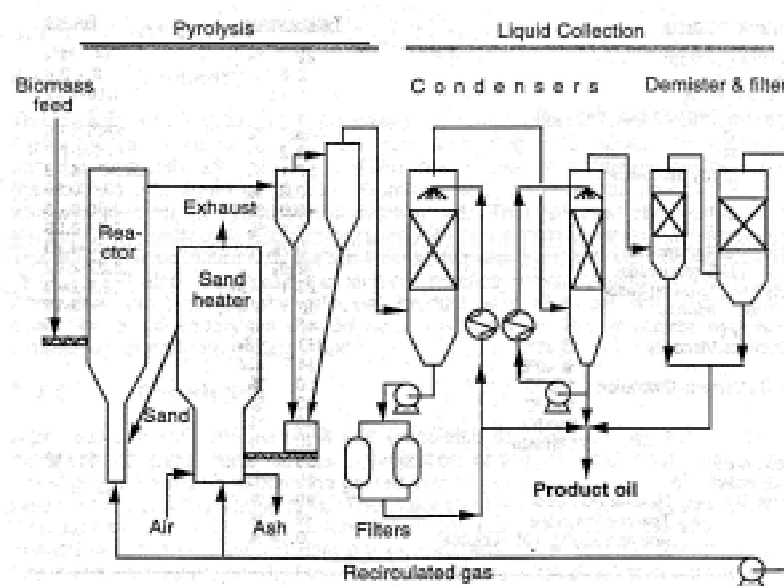


Bild 1. Flödesschema för Ensyns RTP-III
 Picture 1. Flowsheet of Ensyn RTP-III

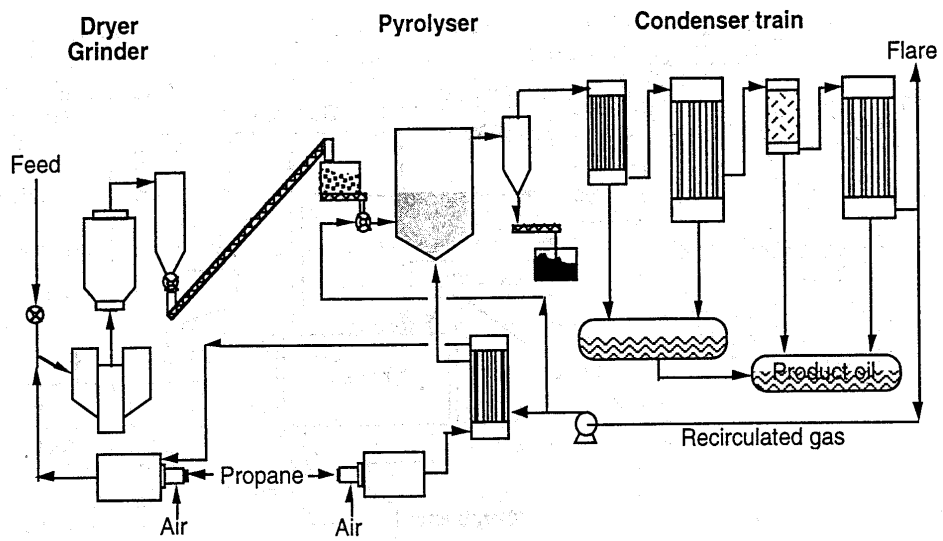


Bild 2. Flödesschema för Union Fenosa pilot anläggning
 Picture 2. Flowsheet of Union Fenosa pilot plant

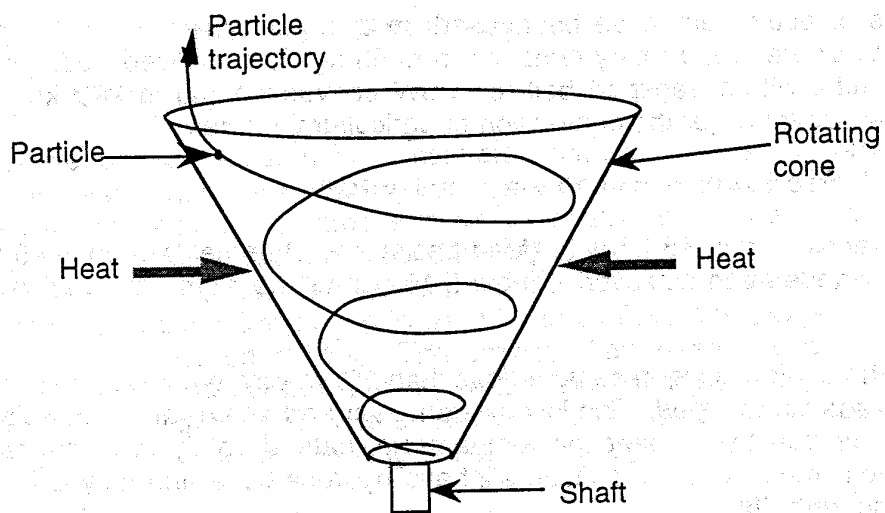


Bild 3. Principen för en roterande konreaktor.
 Picture 3. Principle of particle behaviour in rotating cone.

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
- Skogsindustrierna
- Övrig Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Energimyndighet.

VÄRMEFORSK Service AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80 • Fax 08-677 25 35

<http://www.varmeforsk.se>