

# Decentraliserad produktion av pyrolysolja för transport till storskaliga kraftvärmeverk och förgasningsanläggningar

---

Finansierat av



Gunnar Benjaminsson

Johan Benjaminsson

Nils Bengtsson

Gasefuels AB

Februari 2013

## Sammanfattning

---

I denna rapport studeras hur pyrolysolja kan få en roll i det svenska energisystemet. Produktion, distribution och konsumtion av pyrolysolja har undersökts utifrån tekniska, ekonomiska och miljömässiga aspekter. En systemjämförelse har gjorts kring hur väl pyrolysolja kan konkurrera med andra bränslen som flis, pellets, biooljor och eldningsoljor.

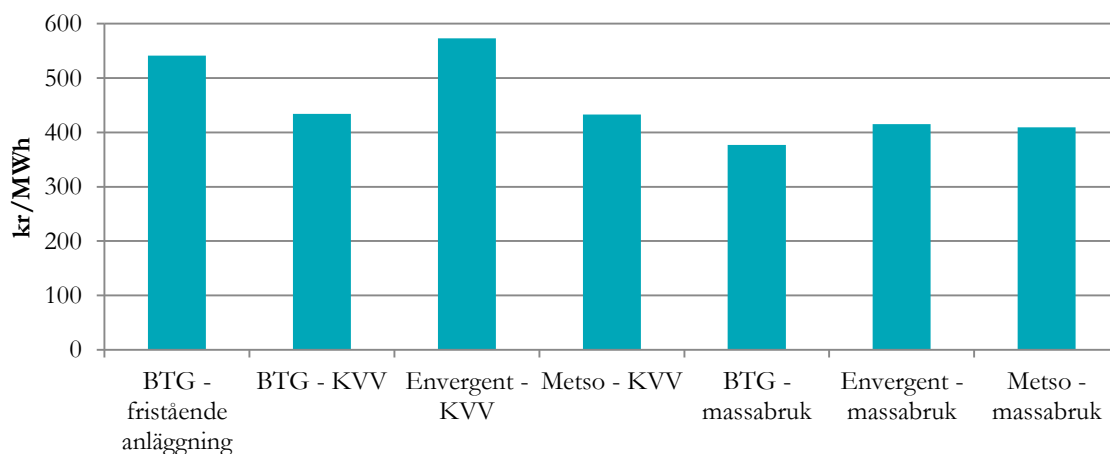
Pyrolys sker vid upphettning av träbränsle i temperaturintervallet 250-500 °C. En viktig skillnad mellan pyrolys och förgasning är att inget syre finns tillgängligt under pyrolyprocessen. En pyrolysanläggning består av flismottagning, tork, kvarn, pyrolyreaktor, panna, gasrening, kondensator och lagringstank. Processen börjar med att biomassa torkas till 90 % TS-halt och mals ned till 2-6 mm innan den blandas med varm sand i pyrolyreaktorn. Pyrolysgaser bildas som kondenseras och lagras som pyrolysolja. Snabb pyrolys vid 500 °C med en uppehållstid på 1 sekund ger högst utbyte i pyrolyreaktorn. Från 1,5 MWh biomassa erhålls omkring 1 MWh pyrolysolja och 0,5 MWh biprodukter i form av koks, icke kondenserbara gaser och spillvärme. Oljeutbytet har dock ett spann på 46-70 % där exempelvis låg andel bark och askhalt ger ett högre utbyte.

Pyrolyreaktorer kan idag levereras av BTG-BTL, Envergent och Metso. Leverantörerna använder två olika tekniker där BTG-BTL använder en roterande kon-reaktor medan Envergent och Metso erbjuder en cirkulerande fluidiserande bädd-reaktor. BTG-BTL och Metso kan även leverera all kringutrustning från tork till lagringstank

För att minska investeringskostnader och uppnå synergieffekter kan pyrolysanläggningar integreras med befintliga energianläggningar. Denna studie har jämfört fristående pyrolysanläggningar med pyrolysanläggningar integrerade med kraftvärmeverk och massabruk. En form för integrering är att sand från pannor av typen bubblande respektive cirkulerande fluidiserande bädd kan användas i pyrolyreaktorn. Därtill kan biprodukter användas till tork och processuppvärmning eller för att integreras med massabruk, värme- eller kraftvärmeverk.

I diagrammet nedan visas produktionskostnaden för pyrolysolja som varierar mellan 380-580 kr/MWh. Som fristående anläggning har BTG-BTL analyserats, därtill har alla tre teknikleverantörer studerats utifrån integrering med kraftvärmeverk (KVV) respektive massabruk (MB).

### Produktionskostnad för pyrolysolja



Distributionskostnaden för pyrolysolja är cirka 20 kr/MWh för lastbilstransport om 10 mil eller tågtransport om 50 mil. Om oljan används som spetslast tillkommer en lagringskostnad på uppskattningsvis 50 kr/MWh. Kraftvärmeverk ligger ofta i områden som redan har ett högt uttag av GROT och det beräknas ge en merkostnad för biomassa på upp till 40 kr/MWh. Sammantaget blir tillkommande kostnader utöver produktionskostnader mellan 20-110 kr/MWh beroende på transportavstånd, lagringsbehov och lokalisering.

För användning av pyrolysolja krävs anpassningar i anläggningar som tidigare använt konventionell olja eller biooljor. Då pyrolysolja är korrosiv krävs tankar i rostfritt stål, rostfria rör och nya brännarmunstycken. Det saknas idag erfarenheter kring hur länge pyrolysoljan kan lagras och lagringsbeständigheten beror även på oljans råvara, där en hög askhalt ger sämre lagringsegenskaper.

Pyrolysolja producerad i anläggningar integrerade med massabruk har störst potential att konkurrera med biooljor och eldningsoljor. Vid distribution till en näraliggande industrikund blir den totala kostnaden omkring 420 kr/MWh, vilket kan jämföras med tung eldningsolja som har en kostnad på 480 kr/MWh eller tjocka biooljor som kostar 560 kr/MWh. För konsumtion som spetsvärme blir kostnaden cirka 480 kr/MWh samtidigt som tung eldningsolja och tjock bioolja har kostnaderna 805 kr/MWh respektive 560 kr/MWh. Sammantaget bör pyrolysolja vara intressant till större användare som idag använder tung eldningsolja eller tjock bioolja.

Flis och pellets kostar omkring 200 kr/MWh respektive 300 kr/MWh och pyrolysolja tränger inte undan dessa bränslen. Däremot erbjuder pyrolysolja enklare tekniska system för hantering och användning. Således kan pyrolysolja ersätta oljor eller biooljor där användning av pellets eller flis inte sker.

## Innehåll

---

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Mål.....	1
1.3	Metodik.....	1
2	Teoretisk bakgrund - pyrolys av biomassa.....	2
2.1	Grundläggande teori.....	2
2.2	Tekniska system för flash- pyrolys .....	5
2.3	Produkter.....	14
3	Teknisk bakgrund – pyrolys av biomassa.....	15
3.1	Integrering av pyrolysanläggning med befintliga energisystem .....	15
3.2	Leverantörer av pyrolysanläggningar .....	16
4	Pyrolysoljan och dess användning.....	26
4.1	Pyrolysoljans egenskaper.....	26
4.2	Råvaran och dess inverkan på pyrolysoljan .....	29
4.3	Pyrolysoljans användningsområden .....	31
4.4	Konvertering av brännarsystem.....	33
5	Fallstudier – Produktion.....	36
5.1	Fristående anläggning.....	36
5.2	Integrering med kraftvärmeverk.....	36
5.3	Integrering med massabruk.....	39
6	Fallstudier – oljans produktionskostnad.....	42
6.1	Parametrar för modell .....	42
6.2	Resultat - Ekonomiska jämförelser .....	45
6.3	Utvärdering av produktionskostnader – känslighetsanalys .....	49
7	Miljöpåverkan .....	54
8	Systemanalys – Pyrolysolja i Sverige.....	55
8.1	Produktion av pyrolysolja i Sverige.....	55
8.2	Transport och lagring av pyrolysolja.....	61
8.3	Potential för användning av pyrolysolja i Sverige .....	65
8.4	Systemjämförelse och slutsatser.....	68
9	Litteraturförteckning.....	71
10	Appendix.....	76
10.1	Transport och lagring av pyrolysolja.....	76

---

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Förnybar energi är en viktig pusselbit för omställning till ett mer hållbart energisystem och samhälle. En stor potential för framställning av förnyelsebara bränslen finns hos skogsbruket. Genom tillverkning av pyrolysolja från skogsprodukter kan denna potential tas tillvara och underlätta ett framtida utnyttjande.

I vår nära omvärld växer intresset för pyrolysolja. I Finland byggs 2012-2013 världens första storskaliga pyrolysanläggning. I Sverige beviljade EU-kommissionen bidrag från NER300-programmet till BillerudKorsnäs projekt Pyrogrot gällande storskalig framställning av pyrolysolja.

Sedan 2011 stöttar Energimyndigheten genom tre olika bränsleprogram forskning som inriktar sig på ökad och effektiv användning av inhemska och förnyelsebara bränslen. Bränsleprogrammet omvandling riktar sig delvis mot forskning som ökar kunskapen om teknik till förädling av bränsle samt att stärka konkurrenskraften, effektiviteten och hållbarheten från råvara till slutanvändning.

För att studera hur pyrolysolja kan passa in i det svenska energisystemet genom tekniska och ekonomiska analyser av såväl produktion, distribution och konsumtion, där även miljömässiga aspekter vävs in, beviljades projektet full finansiering från Energimyndigheten ur Bränsleprogrammet omvandling.

## 1.2 Mål

Rapporten skall syfta till att göra en sammanställning över dagens tekniska och ekonomiska förutsättningar för produktion, transport och konsumtion av pyrolysolja i Sverige med hänsyn till miljöaspekter. För att skapa sig en bild över pyrolysoljans potentiella roll i Sverige görs jämförelser med i huvudsak flis och pellets men även med andra bränslen som pyrolysoljan kan tänkas konkurrera med, fossila såväl som förnyelsebara.

Resultaten från rapporten skall sedan kunna användas för kunskapsinhämtning och som bas vid inledande förstudier inom hela eller delar av produktionskedjan av pyrolysolja.

## 1.3 Metodik

Utredningen är genomförd av Gunnar Benjaminsson, Nils Bengtsson och Johan Benjaminsson på Gasefuels AB.

Studien har gjorts med stöd av en referensgrupp bestående av Ingemar Gunnarsson (Göteborg Energi AB), Åsa Karlsson (Energimyndigheten), Hans Kjellvander (Holmen Energi AB), Eva- Katrin Lindman (Fortum Värme), Anders Persson (BillerudKorsnäs AB), Klas Simes (Holmen Energi AB), Göran Strandberg (Lunds Energikoncernen AB (publ)), Henrik Svensson (E.ON Värmekraft Sverige AB) och Björn Åholm (Eskilstuna Energi & Miljö AB).

Studien har genomförts genom litteraturstudier, företagskontakter och studiebesök vid:

- Bioliq®, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Tyskland
- BTG-BTL, Enschede, Holland
- Gunnesboverket, Kraftringen Produktion AB, Lund, Sverige
- Metso Power, Tampere, Finland
- VTT, Espoo, Finland

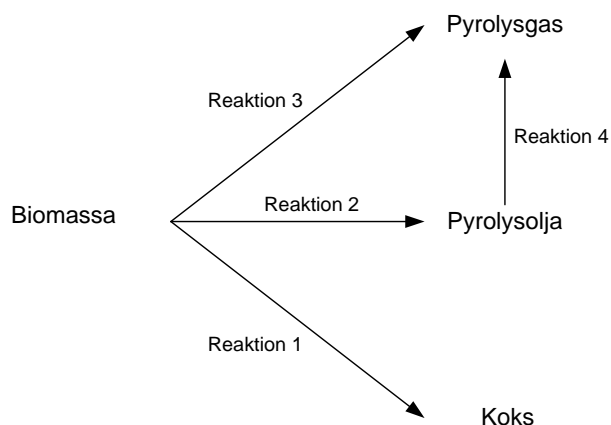
## 2 Teoretisk bakgrund - pyrolys av biomassa

### 2.1 Grundläggande teori

Pyrolys är en samling av termokemiska processer i vilka organiska föreningar bryts ner i mindre beståndsdelar till följd av uppvärmning till höga temperaturer under frånvaro av syre.<sup>1</sup> Denna process är den första processen i all termokemisk nedbrytning så som förgasning och förbränning,<sup>2</sup> dock gör frånvaron av syre att processen skiljer sig från dessa.

#### 2.1.1 Temperaturberoende

Pyrolys av träråvara sker normalt vid temperaturer runt 300-600 °C, varvid de olika komponenterna i cellulosa, hemicellulosa och lignin bryts ner till mindre enklare molekyler.<sup>3</sup> Hur de exakta reaktionsgångarna för den termokemiska nedbrytningen ser ut finns det i dags läge ingen klar bild över.<sup>4</sup> De översiktliga reaktionerna vid termokemisk nedbrytning och deras temperaturberoende går att se i Figur 1.



Figur 1 Förenklad bild över pyrolysisprocessens olika reaktioner.<sup>5</sup>

De olika reaktionerna i Figur 1 brukar vanligtvis betecknas med temperaturintervall och namn som:

- Reaktion 1 <250 °C Torrefiering
- Reaktion 2 250-550 °C Pyrolys
- Reaktion 3 >550 °C Förgasning

Vid lägre temperaturer upp till cirka 250 °C drivs bundet vatten ut från träet, resulterande i en produkt bestående till största delen av förkolad träråvara. Denna process kallas torrefiering, och illustreras av reaktion 1.<sup>6</sup>

Vid 250-550 °C börjar de största molekylerna i den organiska råvaran att brytas ner.

Nedbrytningsprocessen startar med hemicellulosa, fortsätter med cellulosa och avslutas med lignin. Dessa blir då irreversibelt förstörda. Som produkter bildas pyrolysgaser som är möjliga att kondensera till

<sup>1</sup> Biomass Pyrolysis; IAE Bioenergy; 2007:1

<sup>2</sup> Förgasning av biomassa till värme, elektricitet och biobränslen; Ulla Lassi och Bodil Wikman; 2011

<sup>3</sup> Flash-Pyrolyse zur Verflüssigung von Biomasse – Stand der Technik; Dietrich Meier; 2002

<sup>4</sup> Zur Bildung und Degradation von Teeren aus der Pyrolyse Nachwachsender Rohstoffe; Arndt-Peter Schinkel; Uni Kassel; 2008

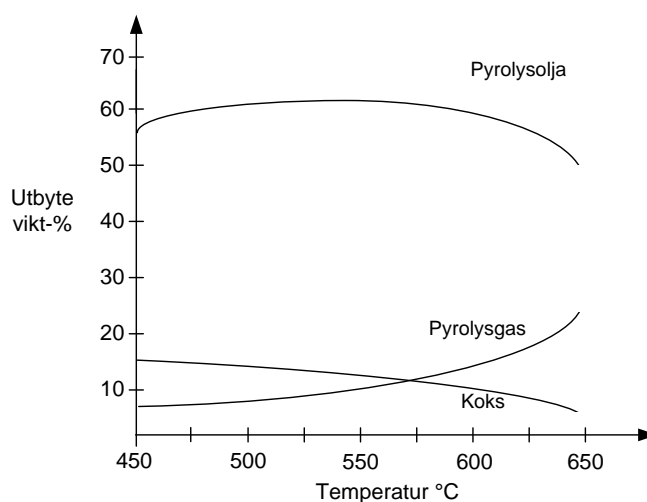
<sup>5</sup> Untersuchung von Wirbelschichtpyrolyse von Holzpartikeln; Hannes Klaubert och Dietrich Meier; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; 2002

<sup>6</sup> Umeå Universitets hemsida; <http://www.tfe.umu.se/forskning/etpc/forskningsomraden/torrefiering/>; 2011

flytande form. Nära 100 % av cellulosan bryts ner till produkter som går att kondensera till pyrolysolja.<sup>7</sup> I den producerade kondenserbara pyrolysgasen sker sekundärreaktioner som minskar den kondenserbara gasmängden. Processerna i dessa temperaturintervall illustreras av reaktion 2 och 4.

Över 550 °C övergår processen till förgasning som medför en ökad produktion av pyrolysgaser som inte är möjliga att kondensera. Därtill ökar sekundärreaktionerna hos de kondenserbara gaserna. Förgasningsprocesserna illustreras som reaktion 3 och 4 i Figur 1.<sup>8</sup>

I pyrolysisprocessen fortgår alla dessa delreaktioner samtidigt, resulterande i att koks, pyrolysolja och icke kondenserbar pyrolysgas alltid bildas parallellt med varandra. Med hjälp av vald processtemperatur är det dock möjligt att optimera produktionen med avseende på pyrolysolja. Hur produktionen av koks, pyrolysolja och icke kondenserbar pyrolysgas principiellt varierar med processtemperaturen går att se i Figur 2.<sup>9 10</sup>



Figur 2 Principskiss över utbyte av koks, pyrolysolja och pyrolysgas i förhållande till processtemperaturen

### 2.1.2 Tidsberoende

Utöver temperaturen beror den utgående produktsammansättningen även på under vilket tidsintervall de organiska föreningarna utsätts för vederbörande temperaturer. Man talar om långsam, mellansnabb och snabb pyrolysis, det sistnämnda vanligtvis kallat flash-pyrolysis. De tre är:

- Långsam pyrolysis: cirka 400 °C, lång uppehållstid för gaser och fasta partiklar
- Mellansnabb pyrolysis: cirka 500 °C, cirka 10-20 sekunder uppehållstid för gaser
- Snabb pyrolysis: cirka 500 °C, cirka 1 sekund uppehållstid för gaser

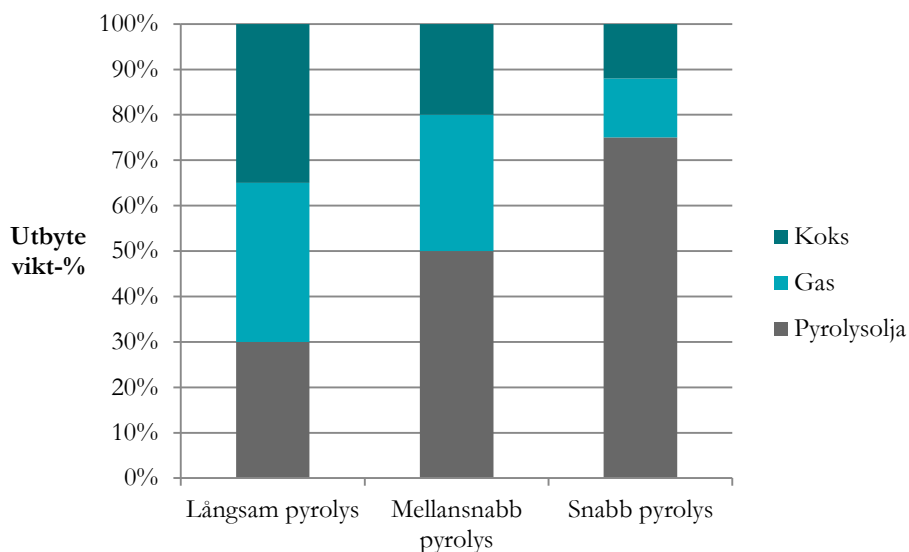
<sup>7</sup> Presentation; Pyrolysis & Torrefaction of Biomass, Andre Bezanson-Mech; <http://poisson.me.dal.ca/site2/courses/mech4840/Pyrolysis%20&%20Torrefaction%20of%20Biomass.pdf>

<sup>8</sup> Untersuchung von Wirbelschichtpyrolyse von Holzpartikeln; Hannes Klaubert och Dietrich Meier; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; 2002

<sup>9</sup> Biomass Pyrolysis; IEA Bioenergy; 2007

<sup>10</sup> Wirtschaftliche Realisierung der Flashpyrolyse von Altholz mit anschließender energetischer Verwertung in einem BHKW; Dietrich Meier et al.; 2007

Dessa olika typer av pyrolys ger upphov till olika andelar av pyrolysolja, koks och icke kondenserbar pyrolysgas, se Figur 3.



**Figur 3** Principiell produktfördelning av koks, pyrolysolja och icke kondenserbar gas för olika uppehållstider vid pyrolys av biomassa <sup>11</sup>

Med tanke på det höga utbytet av pyrolysolja är den snabba pyrolysen, flash-pyrolysen, mest intressant för framställning av pyrolysolja.

### 2.1.3 Flash-pyrolys

För att uppnå de förhållanden som krävs för flash-pyrolys spelar flera parametrar stor roll:

- **Upphettnings- och avkylningstider** – Snabba upphettnings- och avkylningstider spelar stor roll för att undvika att de enskilda träpartiklarna reagerar i oönskade temperaturintervall. Därigenom minimeras produktionen av oönskade produkter så som koks och gas. Snabbare upphettning leder även till snabbare reaktionstakt.
- **Partikelstorlek** – Träflis har relativt dålig värmeöverföringsförmåga, vilket leder till att den enskilda partikeln blir inhomogent uppvärmd. Stora partiklar med hög porositet håller även producerad kondenserbar pyrolysgas i porer i partikeln vilket kan leda till att oönskade sekundärreaktioner sker inom partikeln.<sup>12</sup>
- **Upphållstid** - För undvikande av oönskade sekundärreaktioner är det viktigt att hålla nere den genomsnittliga uppehållstiden för den i en reaktor upphettade träflisen. För kort uppehållstid leder till att kärnan på de enskilda träpartiklarna inte reagerar och lång uppehållstid till att oönskade sekundärreaktioner sker.
- **Vattenhalt** – Vatten bildas i delreaktioner i pyrolysisprocessen och vattenhalten i pyrolysolja från biomassa understiger därför aldrig 12 vikt-%, baserat på mätningar från torr råvara. Vattenhalter i pyrolysolja högre än så härstammar således från fukt i råvaran och vanligen blir vattenhalten cirka 25 vikt-% i pyrolysoljan med 10 vikt-% vatten i den ingående biomassan.<sup>13</sup> En vattenhalt i flisen <10 vikt-% är således önskvärd.

<sup>11</sup> Biomass Pyrolysis; IEA Bioenergy; 2007

<sup>12</sup> Untersuchung von Wirbelschichtpyrolyse von Holzpartikeln; Hannes Klaubert och Dietrich Meier; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; 2002

<sup>13</sup> Biomass Pyrolysis; IEA Bioenergy; 2007



Flera tekniker för flash-pyrolys har utvecklats för att processparametrarna för en optimerad pyrolysisprocess skall vara uppfyllda.

## 2.2 Tekniska system för flash- pyrolys

En anläggning för flash-pyrolys består av flertalet steg som tillsammans konverterar biomassa till en flytande pyrolysolja. En grov indelning kan göras i system för mottagning av biomassa, torkning, panna, pyrolysisreaktor, gasrening och kondenseringsteg.

### 2.2.1 Mottagning av biomassa

Till pyrolysanläggningen levereras biomassa så som flisad GROT (grenar och toppar), sågspån eller stamvedsflis från nedklassad stamved. Mottagningsystem omfattar system för mottagning av lastbilar, kvalitetssäkring av flisen, lagring och buffertkapacitet samt även inmatning av flis till torkningsanläggningen.

### 2.2.2 Torkningssystem

Torkning av flisad GROT sker med hjälp av trumtorkar eller bandtorkar, som är de två vanligaste typerna av torkar för torkning av biomassa.<sup>14</sup> Trumtorkar nyttjar vanligtvis högvärdig värme vid torkning, medan bandtorkar nyttjar lågvärdig värme.<sup>15</sup>

#### Torkning - Grundteori

Biomassan som lagrats på mottagningsanläggningens lagringsplats håller ofta en TS-halt kring 60-65 %<sup>16</sup> och måste torkas innan den går in i pyrolysisprocessen, som normalt kräver >90 % TS-halt.

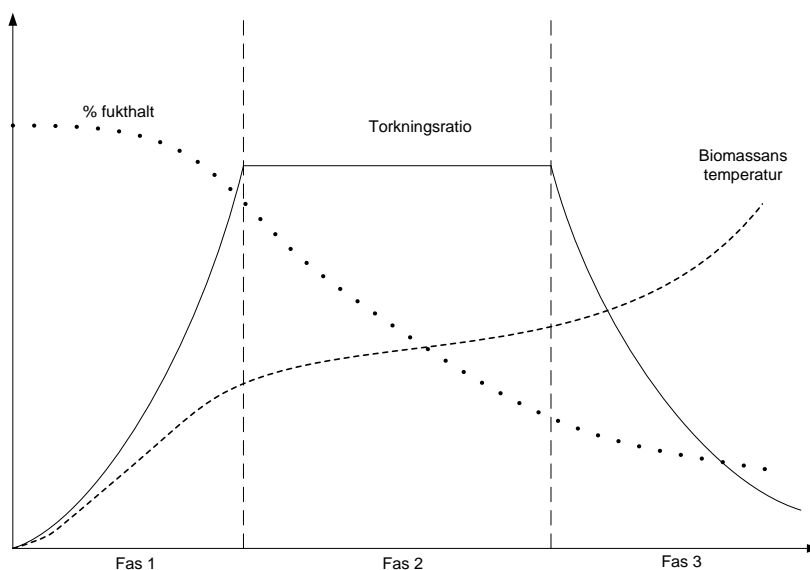
Torkning av biomassa grundar sig på två principer som begränsar torkningen. Dels på förångning av vatten som finns på biomasspartiklarnas yta och dels på de enskilda partiklarnas förmåga att transportera ut vatten från de inre delarna till de yttre. Egenskaperna för en biomassa vid torkning brukar sammanfattas i en torkningskurva som är indelad i tre faser. En principiell torkningskurva går att se i Figur 4.

---

<sup>14</sup> Presentation; Biomass Drying Technology Update; Matt Worley;  
<http://www.tappi.org/content/Events/11BIOPRO/19.2Worley.pdf>; 2011

<sup>15</sup> Potential för produktion av biodrivmedel vid bioraffinaderier i Värmland; Ekbom et al.; Energikontoret Värmland; 2012

<sup>16</sup> Lars Eliasson, Skogforsk; 2012-07-02



Figur 4 Samband mellan fukthalt, torkningsratio, biomassans temperatur och tid<sup>17 18</sup>

De tre faserna är:

- Fas 1 – Biomassan värms upp från sin ingående temperatur till den tänkta processtemperaturen genom övergång från torkens heta gasströmmar. Fukthalten börjar i slutet av denna fas avta, samtidigt som torkningsration ökar starkt. Denna fas kan undvikas om den ingående biomassan förvärms.
- Fas 2 – Under fas två förångas fritt vatten vilket medför att biomassans temperatur är relativt konstant. Fas två fortgår tills fukthalt ner mot 10 % är uppnådda och den största delen av det fritt bundna vattnet i biomassan är förångat. Torkningsration avtar då och torkningen går in i fas tre.<sup>19</sup>
- Fas 3 – I fas tre blir transport av fukt från partiklarnas inre till dess yttre delar den begränsade faktorn och biomassans temperatur stiger medan torkningsration sjunker. Viss del av fysiskt bundet vatten kan börja avgå. Höga temperaturer på biomassan innebär inga interna energiförluster i en pyrolysisprocess. Dock blir det viss energiförlust om utgående biomassa är varm men kyls innan vidare transport till pyrolysisreaktorn.

Torkning av flisad GROT är idag mycket ovanligt vid värme- och kraftvärmeanläggningar och sker i praktiken inte då de flesta värme- och kraftvärmeanläggningar är dimensionerade för att ta emot flis med TS-halter kring 60-70 %, som uppnås genom självtorkning i skogen.<sup>20</sup>

### Bandtork

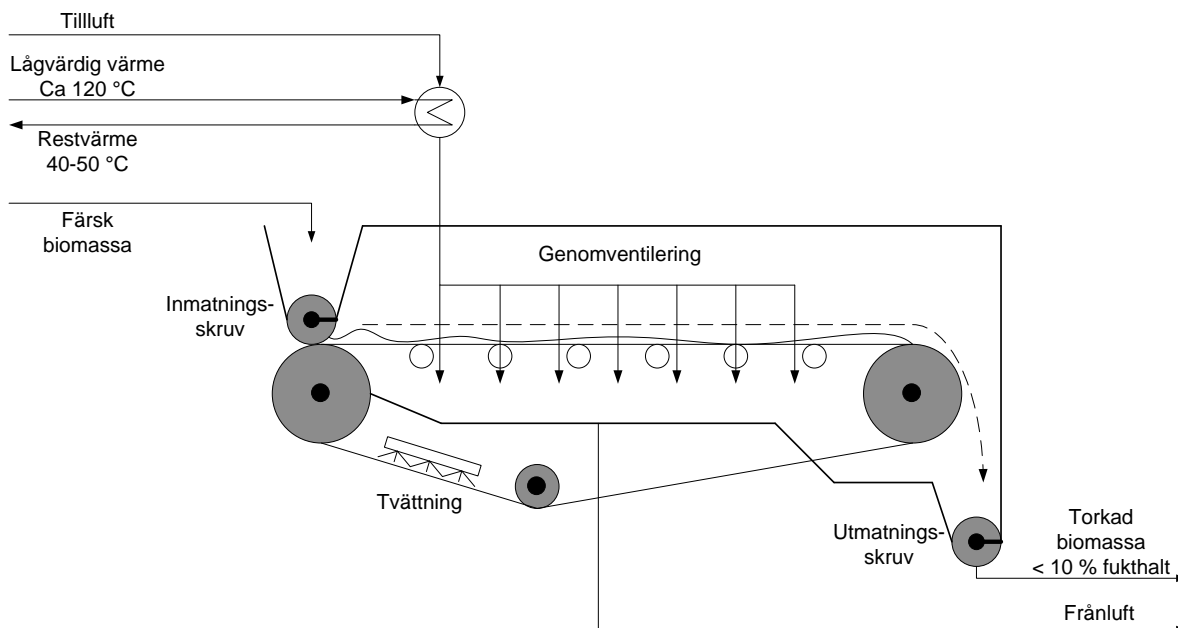
I bandtorkar torkas biomassa genom att biomassa fördelas jämnt på ett transportband som transporterar biomassan genom ett uppvärmt luftflöde som ventileras genom biomassan och bandet. Principskiss över bandtork går att se i Figur 5.

<sup>17</sup> Best Practice Manual – Dryers; [http://www.energymanagertraining.com/bee\\_draft\\_codes/best\\_practices\\_manual-DRYERS.pdf](http://www.energymanagertraining.com/bee_draft_codes/best_practices_manual-DRYERS.pdf)

<sup>18</sup> Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations; P.C.A. Bergman et al.; ECN 2005

<sup>19</sup> Torrefiering av bark; Ellinor Folkesson et. al.; Lunds Tekniska Högskola; 2011

<sup>20</sup> Lars Eliasson, Skogforsk, 2012-07-02



Figur 5 Principskiss över bandtork för torkning av biomassa<sup>21</sup>

Den torkande varmluften i bandtorken värms via värmeväxlare av en källa med lågvärdig värme. Värmeväxlaren kan t.ex. vara sekundärvärme eller lågtrycksånga.<sup>22</sup>

Exempelvis Stela Trocknungstechnik levererar bandtorkar i kapaciteter mellan 1-60 ton förångat vatten/h för priser mellan 300 000 € till 2 000 000 €. Värmeåtgången för bandtorken är omkring 1,1 MWh/ ton förångat vatten och har en elåtgång på 10-25 kWh/ton förångat vatten.<sup>23</sup>

De typiska temperaturerna för den varma torkluften kring 120 °C förstör inte heller de kemiska strukturerna i biomassan och bidrar inte heller till någon brandrisk i materialet.<sup>24</sup> Den avgående frånluften kan normalt släppas rakt ut i atmosfären på grund av de låga temperaturerna i processen och innehåller låga halter av t.ex. volatila ämnen.<sup>25</sup>

### Trumtork

Trumtorken torkar biomassa genom att låta biomassa transporteras genom en roterande cylinder vilket resulterar i att biomassa faller genom en varm gasström. Principskiss över trumtork går att se i Figur 6.

<sup>21</sup> Produktblad; SWISS COMBI Bandtrockner;

[http://www.swisscombi.ch/files/downloads/de/SWISS\\_COMBI\\_Bandtrockner.pdf](http://www.swisscombi.ch/files/downloads/de/SWISS_COMBI_Bandtrockner.pdf)

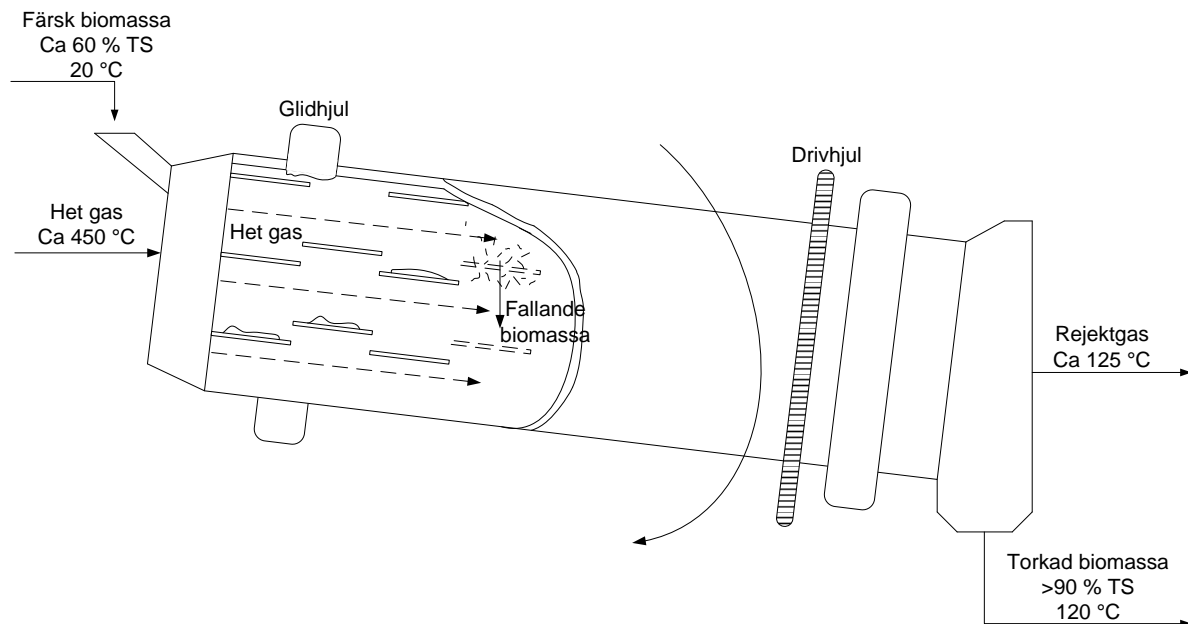
<sup>22</sup> Artikelutklipp; [http://www.metso.com/MP/Marketing/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-080618-2256E-F220E/\\$File/Page6from2\\_08\\_EX\\_SWE\\_web.pdf?openElement](http://www.metso.com/MP/Marketing/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-080618-2256E-F220E/$File/Page6from2_08_EX_SWE_web.pdf?openElement); 2012

<sup>23</sup> Tobias Latein; Stela Trocknungstechnik; 2012-07-03

<sup>24</sup> Presentation; Biomass Drying Technology Update; Matt Worley;

<http://www.tappi.org/content/Events/11BIOPRO/19.2Worley.pdf>; 2011

<sup>25</sup> Potential för produktion av biodrivmedel vid bioraffinaderier i Värmland; Energikontoret Värmland; 2012



Figur 6 Principskiss över roterande trumtork med medströms värmefflöde

Roterande trumtorkar låter biomassan passera en roterande cylinder i vilken sidorna är täckta med skoveljärn som transporterar biomassan från botten av cylindern mot toppen genom cylinderns roterande rörelse. Biomassan faller därefter genom den varma gasen ner mot botten av cylindern och i kontakt med den varma gasen torkas biomassan. Genom cylinderns lutning flyttas biomassan framåt i takt med att dess roterande rörelser förtlöper.

Principen är densamma för alla typer av roterande trumtorkar. Dock kan det varma gasflödet gå med eller motströms biomassan och därtill kan den heta gasen värmas upp på olika sätt. Vanligt vid torkning av biomassa är att de varma gaserna går medströms för att undvika att biomassan blir för varm, vilket ett motströms flöde skulle ge ökad risk för, då den torraste biomassan då får möta den varmaste gasen. För den varma gasen är det vanligt att använda rökgaser eller återcirkulerad gas som värms i en brännare.<sup>26</sup>

En trumtork kan torka flis från biomassa från 50 % fukthalt ner till <3 % fukt. Temperaturen på den ingående heta gasen ligger vanligtvis kring 450-650 °C, och restgasens temperatur kring 90-120 °C. Restgastemperaturer över 100 °C verkar undvikande för kondensation av syror och kåda. Uppehållstiden för den ingående biomassan varierar mellan 1-30 minuter beroende på partiklarnas storlek.<sup>27</sup>

TSI levererar trumtorkar i ett stort kapacitetsspann. En trumtork med kapacitet för 100 000 ton biomassa med 40 % fukthalt med torkningskapacitet ner till 18 % fukthalt bedöms vara 10 m lång och 2,5 m i diameter. Den heta gasen kan värmas i brännare med hjälp av naturgas, olja eller biomassa. Torken kräver 0,9 MWh/ ton avdunstat vatten och kräver en effekt kring 100 kW för att driva rotation, fläktar och brännare. Inköpskostnaden bedöms ligga kring 600 000-700 000 \$.<sup>28</sup>

Trumtorken har ett flertal fördelar så som låga drift- och servicekostnader och höga torkningskapaciteter.

<sup>26</sup> Best Practice Manual – Dryers; [http://www.energymanagertraining.com/bee\\_draft\\_codes/best\\_practices\\_manual-DRYERS.pdf](http://www.energymanagertraining.com/bee_draft_codes/best_practices_manual-DRYERS.pdf)

<sup>27</sup> Presentation; Biomass Drying Technology Update; Matt Worley; <http://www.tappi.org/content/Events/11BIOPRO/19.2Worley.pdf>; 2011

<sup>28</sup> Andrew Johnson, TSI, 2012-07-03

### 2.2.3 Kvarn

En kvarn används för att mala ner biomassan till mindre partiklar med önskad storlek. Normalt ligger önskad storlek inom intervallet 2-6 mm, där det är det minsta måttet på partikeln som räknas då denna är begränsande vid värmeöverföring.<sup>29</sup> Kvarnen kan mala biomassan både före och efter torkning av biomassa med olika för- och nackdelar som följd.

En kvarn som maler ned biomassan till mindre partiklar före torkning drar cirka 20 % mer ström, jämfört med malning efter torkning. Dock så minskar energibehovet för torkning om man maler före torkning.<sup>30</sup> Nedmalning av biomassa efter torken använder mindre energi och fungerar även som tork där den sista delen av vattnet avgår för att nå ner till önskad fukthalt, allt som allt en torkning från cirka 10 % fukthalt ner till cirka 6-8 % fukthalt. Dock ger malning efter torkning viss risk för brand i torken, varmed extra säkerhetssystem behövs.<sup>31</sup>

Ett problem för kvarnar är hantering av sten och grus som kan komma in och försämra kvarnens egenskaper och prestanda. Dock väntas detta ej medföra några stora problem.<sup>32</sup>

### 2.2.4 Panna

Pyrolysisprocessen sker genom uppvärmning av biomassa under frånvaro av syre och som värmebärare används ofta varm sand. Uppvärmningen av sanden kan ske i system som i dag är konventionell teknik i befintliga kraftvärme- och värmelanläggningar såväl som i industriella anläggningar.

I Sverige finns huvudsakligen tre typer av pannor för förbränning av biomassa och avfall:

- Bubblande fluidiserande bäddpanna (BFB)
- Cirkulerande fluidiserande bäddpanna (CFB)
- Rostpanna

I en rostpanna brinner bränslet i botten av pannan på ett sluttande band som matas i toppen och tömmer av askan i nedre delen. Då rostpannor inte använder sig av sand som värmebärare går de inte att använda tillsammans med en pyrolysisreaktor.

Bubblande och cirkulerande fluidiserande bäddpannor använder däremot båda sand som värmebärare. Den varma sanden förångar vattnet och pyrolyserar bränslet som sedan antänds. Luft trycks in från botten av pannan och strömmar upp genom sanden. I en bubblande fluidiserande bäddpanna ligger sanden i botten av pannan som en bädd, som har en fluidiserande karaktär på grund av luften som strömmar genom den. I Figur 7 visas system för uppvärmning av sand i en bubblande fluidiserande bäddpanna.

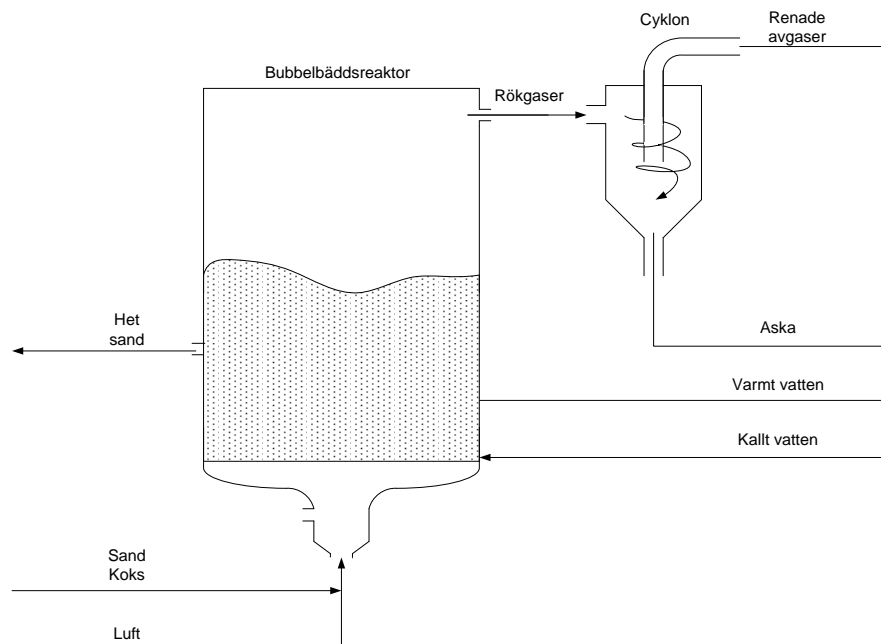
---

<sup>29</sup> Jani Lehto, VTT, 2012-08-13

<sup>30</sup> Ardy Toussaint, BTG-BTL, 2012-07-27

<sup>31</sup> Jussi Mäntyniemi, Metso Power Oy, 2012-08-14

<sup>32</sup> Joakim Autio, Metso Power Oy, 2012-08-14



Figur 7 Principskiss för bubblande fluidiserande bäddpanna

I en cirkulerande fluidiserande bäddpanna är luftens strömningshastighet så stor att sanden flyger med upp i pannan och följer med rökgaserna. Sanden och rökgaserna separeras senare i en cyklon och sanden återförs tillbaka till brännkammarens botten via ett sandlås. Med en cirkulerande fluidiserande bäddpanna ökar spannet av möjliga bränslen som kan eldas och samtidigt behålla den högre ångdatan.<sup>33</sup>

### 2.2.5 Pyrolysreaktor

Torkad biomassa konverteras till pyrolysolja, koks och icke kondenserbar pyrolysgas i en pyrolysreaktor. Idag finns ett flertal tekniker för flash-pyrolys framtagna på lab-, pilot- eller demoskala. En sammanställning över befintliga tekniker, deras nuvarande status, komplexitet och skalbarhet visas i Tabell 1. Lab-, pilot- och demoskala motsvarar inmatningsflöden om 1-20, 20-200 respektive 200-2000 kg biomassa/h.

Tabell 1 Sammanställning över befintliga tekniker för flash- pyrolys tillgängliga på lab-, pilot- eller demoskala<sup>34</sup>

Reaktorteknik	Status	Komplexitet	Intern gasanvändning	Storlek	Skalbarhet
Bubblande fluidiserande bädd	Demo	Medium	Stor	Medium	Stor
Cirkulerande fluidiserande bädd	Pilot	Hög	Stor	Stor	Stor
Entrained flow		Hög	Stor	Stor	Stor
Roterande kon	Pilot	Hög	Liten	Liten	Liten
Ablative	Lab	Hög	Liten	Liten	Liten
Vacuum	Demo	Hög	Liten	Stor	Liten

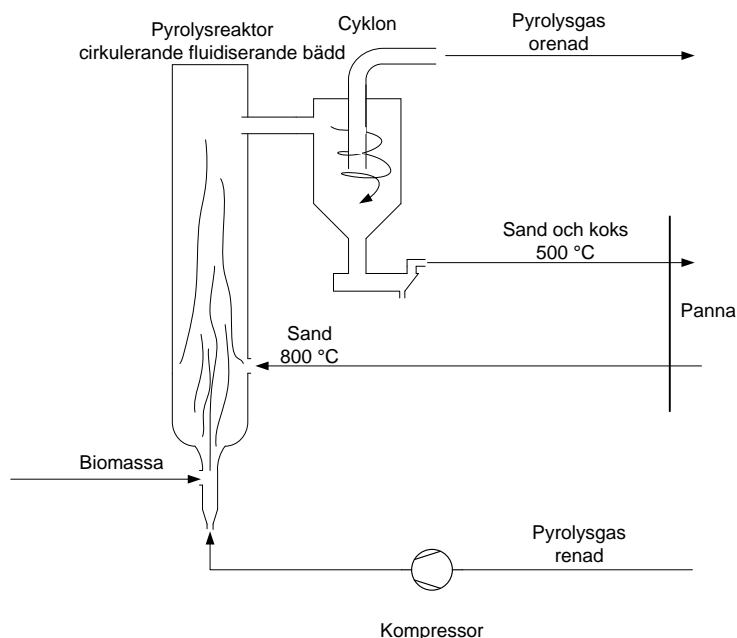
<sup>33</sup> Värmforskrappport 868 ”Moderna panndata inom samförbränning”; Ola Thorson; 2004

<sup>34</sup> Bio-oil, solid and gaseous biofuels from biomass pyrolysis processes – An overview; D. Vamvuka; Technical University of Crete; 2010

De tekniker som anses vara närmast en kommersialisering av ovan nämnda är roterande kon och cirkulerande bubblande bädd, som båda representeras av bolagen BTG BTL respektive Envergent och Metso.

#### Cirkulerande fluidiserande bädd-reaktor

Pyrolysreaktor av typen cirkulerande fluidiserande bädd tillhandahålls av företagen Metso och Envergent. En principskiss över reaktortypen går att se i Figur 8.



Figur 8 Principskiss över pyrolysreaktor av typ cirkulerande fluidiserande bädd

I pyrolysreaktorn av typen cirkulerande fluidiserande bädd blåses varm sand in som blandar sig med den uppåt strömmande biomassan, varvid pyrolys sker vid kontakt mellan sanden och biomassan. Pyrolysgaser, koks och sand strömmar upp mot reaktorns övre delar där de tas ut och frånges varandra i cykloner. Pyrolysgasen går vidare mot kondensering varefter ett biflöde av icke kondenserbara gaser återcirkuleras som blåsmedium på grund av sin avsaknad från syre, vilket medför att förbränningsprocesser undviks. Sanden och koksen går tillbaka till värmepanna för att undergå återhettnings respektive förbränning.

Pyrolysreaktorer av typen cirkulerande fluidiserande bädd har höga hastigheter för värmeöverföring och kort uppehållstid för de bildade pyrolysgaserna på omkring 0,5-1 sekunder. Det är just pyrolysgasens uppehållstid som är något kortare än partiklars uppehållstid på grund av att gaserna i pyrolysreaktorn byts ut varje sekund. Den korta uppehållstiden medför att biomassans partikelstorlek bör ligga kring 1-5 mm för att de skall hinna undergå pyrolys innan de gått igenom reaktorn. Större partiklar leder till att biomassa hamnar tillsammans med koksen och återförs till värmepannan för förbränning.<sup>35</sup>

Sandflödet i reaktorn är normalt mellan 10-20 gånger flödet av biomassa. Det stora sandflödet är förknippat med stor energiförbrukning för att blåsa sanden runt i den cirkulerande fluidiserande bädden.<sup>36</sup>

Vanliga problem som den cirkulerande fluidiserande bädden har är svårigheter i förflyttning av sanden i kombination med temperaturkontrollen av densamma. Sanden verkar också eroderande i rör och

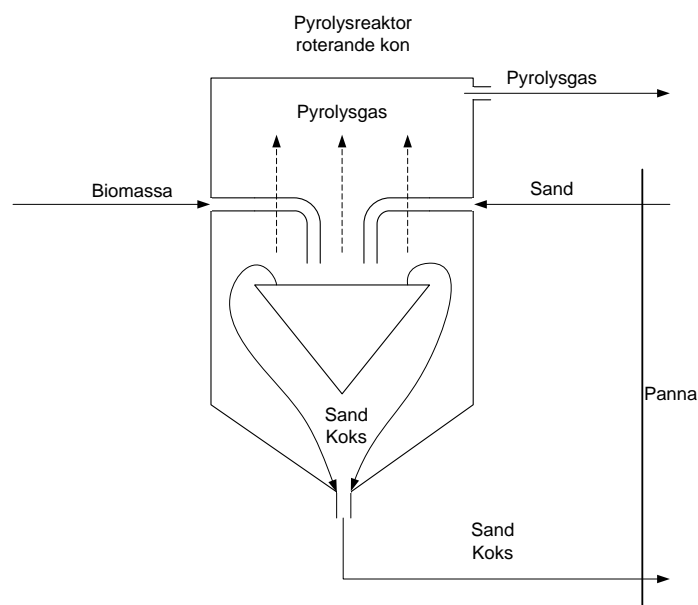
<sup>35</sup> Fast Pyrolysis of Biomass in a Circulating Fluidised Bed; Manon Van de Velden et al.; 2007

<sup>36</sup> Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis; M. Ringer et al.; National Renewable Energy Laboratory; 2006

reaktorer. Därtill är reningen av den återcirkulerade pyrolysgasen av stor vikt för att undvika igensättning i cirkulationskompressorn.<sup>37</sup>

### Roterande kon

En pyrolyisreaktor av typen roterande kon har utvecklats av University of Twente. Principen för en roterande kon-reaktor går att se i Figur 9.



**Figur 9** Principskiss över pyrolyisreaktor av typ roterande kon

Biomassa med låg fukthalt och sand från en panna leds in i reaktorn och ner i en roterande kon. I kontakten mellan den varma sanden och biomassan uppstår värmeövergång och biomassan undergår pyrolyis. Pyrolysgasen strömmar uppåt där den leds ut och restprodukten koks pressas med sanden till följd av centrifugalkrafter över konens kanter och faller nedåt i reaktorn där sand och koksblandningen tas ut och leds tillbaka till pannan.<sup>38</sup>

Fördelen med en roterande kon jämfört med en cirkulerande fluidiserande bädd är flera. Däribland krävs med denna teknik ingen rening av de icke kondenserbara gaserna då de inte återcirkuleras som blåsmedium i processen med igensättningar i kompressorer som följd. Detta ger utöver förhöjd energieffektivitet då icke kondenserbara gaser inte används för återhettning även en renare pyrolysolja då mindre sand följer med pyrolysgaserna, jämfört med pyrolyisreaktorer av CFB-typ.<sup>39</sup> Den mekaniska blandningen av sand och biomassa som sker på konen möjliggör även större storlek på partiklarna i den ingående biomassan. Partikelstorlekar upp till 10 mm är möjligt att använda i processen<sup>40</sup>, även om optimum ligger kring 6 mm.<sup>41</sup>

Reaktor av typen roterande kon kräver ett sandflöde på cirka 25:1 viktförhållande till biomassan och att sanden måste hålla en lägre temperatur jämfört med vad som krävs för cirkulerande fluidiserande bäddreaktorer. För en optimal process krävs drygt 500 °C vilket kräver kylning då sanden från en fluidiserande bäddpanna typiskt är mellan 700-850 °C.<sup>42</sup>

<sup>37</sup> Fast pyrolysis technology development; RH. Venderbosch et al.; Biofpr; 2009

<sup>38</sup> Study of Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: State of the Art and Modelling, Ana Rengel, 2007

<sup>39</sup> Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis, Ringer, M. et al, 2006

<sup>40</sup> Fast pyrolysis technology development, Venderbosch et. Al, Biofpr 2009

<sup>41</sup> Study of Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: State of the Art and Modelling; Ana Rengel; KTH; 2007

<sup>42</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-07-27



### 2.2.6 Separation av koks, aska och fasta partiklar

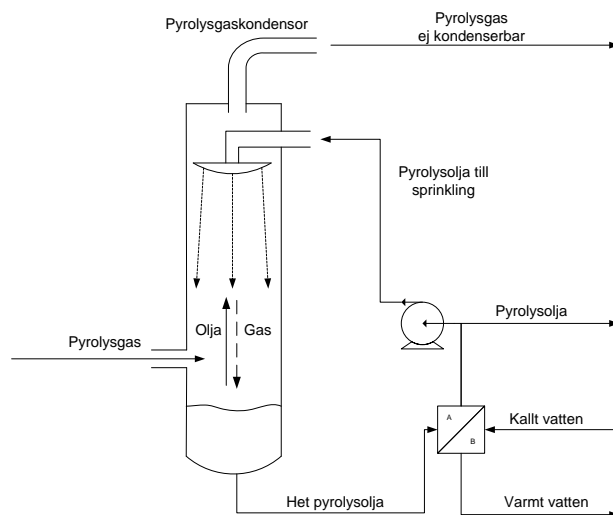
Små partiklar i form av koks och andra fasta partiklar följer med pyrolysgasen från reaktorn, varmed gasrening som syftar till att separera dessa från den varma pyrolysgasen är nödvändig.

Merparten av askan i den ingående biomassan återfinns efter pyrolysisprocessen i koksen och en effektiv gasrening av pyrolysgaserna före kondensering medför således en låg askhalt i pyrolysoljan. Utan rening innan kondenseringen av pyrolysgas till pyrolysolja återfinns över 0,5 vikt-% koks och aska i oljan. Dessa inverkar negativt på oljans stabilitet och gör den svår att använda i brännare.

För rening av pyrolysgaser finns flera olika tekniker som varmgasfilter, in-situ-filter och cykloner. Svårigheterna med olika filter har lett till att anläggningar i kommersiell skala idag bara använder cykloner för att rena ut koks, aska och partiklar från pyrolysgaserna.<sup>43,44,45</sup>

### 2.2.7 Kondensering

För att erhålla pyrolysolja måste pyrolysgaserna kondenseras. Figur 10 visar system för kondensering av pyrolysgas till pyrolysolja med hjälp av en skrubber.



Figur 10 System för kondensering av pyrolysgas till pyrolysolja

Den reade pyrolysgasen kondenseras i en kondensator där ingående pyrolysgas sprinklas, och därmed avkyls, med redan kondenserad och avkyld pyrolysolja. Pyrolysgasen kondenserar härmed och lägger sig i botten av kondensorn som pyrolysolja. Pyrolysoljan tas ut och kyls med värmeväxling. Den pyrolysgas som är icke kondenserbar tas vanligtvis ut i toppen av kondensorn.

### 2.2.8 Rening av de icke kondenserbara gaserna

Efter kondenseringssteget kan den icke kondenserbara gasen innehålla stora mängder pyrolysoljedimma. Rening av gasen är nödvändig om den ska återcirkuleras som blåsmedium i reaktorn, då gasen utan åsamkar skada på recirkulationskompressorn. Reningen medför även att flertalet volatila ämnen kondenseras ner till vätskefas och det totala oljeutbytet för anläggningen ökar. De tekniker som används är avdimmare i form av fläns- och nätfilter eller el-filter.

<sup>43</sup> Dave Cepla; Envergent; 2012-10-29

<sup>44</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-08-14

<sup>45</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-07-27

## 2.3 Produkter

I pyrolysisprocessen erhålls koks, pyrolysolja och icke kondenserbar gas. Koksen och den okondenserbara gasen används vanligtvis internt på plats för internvärme i processen, blåsmedium eller till annan lokal extern avsättning så som värme till torkar eller värmeverk.

Pyrolysoljans egenskaper avhandlas i kapitel 4, varmed ingen närmare genomgång av denna görs här även om det är en erhållen produkt i pyrolysisprocessen.

### 2.3.1 Koks

Koksen kan användas internt i pyrolysisprocessen och motsvarar cirka 20 vikt-% av den ingående biomassan. Koksen höga energitätheter medför dock att cirka 30-50 % av energin avgår till koksen. Koksen som bildas är reaktiv och om den avskiljs måste den oxideras för att den skall inaktiveras.

Koksens bränsleegenskaper påverkar eldstadens värmebalans i de pannor där den förbränns.<sup>46</sup> Därmed begränsar pannorna hur stor andel koks som kan eldas i en befintlig BFB eller CFB. En tumregel är att upp till 50 % av pannans totala effekt kan komma från koksen men en bedömning måste göras från fall till fall.<sup>47</sup>

### 2.3.2 Icke kondenserbara gaser

De icke kondenserbara gaserna svarar för 5-10 % av energin i den ingående biomassan och kan användas internt, eller externt, för att driva t.ex. tork, generator, panna eller mesaugn. Sammansättning på gasen och dess värmevärde framgår av Tabell 2.

Tabell 2 Sammanställning över exempel på sammansättning och värmevärde för de icke kondenserbara gaserna.<sup>48</sup>

Exempel på sammansättning		
CH <sub>4</sub>	12	vikt- %
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2	vikt- %
H <sub>2</sub>	7	vikt- %
CO	45	vikt- %
CO <sub>2</sub>	31	vikt- %
H <sub>2</sub> O	4	vikt- %
Övre värmevärde	10,0	MJ/kg
Undre värmevärde	7,9	MJ/kg

<sup>46</sup> Presentation; Seminarium Praktisk Förbränningsteknik Fluidpannor; Jan Olofsson, Metso Power, 2011

<sup>47</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-08-14

<sup>48</sup> Coll'Energia Srl Milano, Italia – Impianto per la produzione di un bio-liquido (olio di pirolisi) e generazione di energia elettrica Colle Val D'Elsa; Doc. No. 10-108-H9; 2011

### 3 Teknisk bakgrund – pyrolys av biomassa

#### 3.1 Integrering av pyrolysanläggning med befintliga energisystem

Pyrolysanläggningar har flera mass- och energiströmmar som kan integreras med befintliga energisystem. Möjliga integreringsfall är exempelvis:

- Mottagningsanläggning – Använda befintlig mottagningsanläggning för flis i samband med anläggande av pyrolysanläggningen
- Torkning – Värmeflöden till och från torkar för biomassa integreras med restvärmefflöden från extern anläggning
- Pyrolysoaktor – Sandflöden till och från pyrolysoaktor integreras med extern BFB eller CFB
- Rökgasar – Rökgasar från pyrolysanläggning integreras med befintligt system för energiutvinning
- Rökgasrening – Befintlig anläggning för rökgasrening används för minskade investeringskostnader
- Den icke kondenserbara gasen – avsätts externt för att skapa högvärdig värme, t.ex. i massabruk eller kraftvärmeverk.

I denna rapport undersöks möjlighet med pyrolysoljeproduktion integrerat med kraftvärmeverk och massabruk.

##### 3.1.1 Kraftvärmeverk och massabruk

Kraftvärmeverk används i Sverige för samproduktion av el och värme i anslutning till fjärrvärmenät. Massabruken producerar pappersmassa från träråvara och använder i sina processer stora mängder energi, men verkar också som energiproducenter på samma sätt som kraftvärmeverk.

Kraftvärmeverk och massabruk med fluidiserande pannor har många delar som är intressanta för integrering med en pyrolysanläggning. Därbland mottagning av biomassa, panna med het sand, rökgasrening, ångtryck-/ varmvattensystem, avsättning för de icke kondenserbara gaserna, el-produktion och mottryckssystem:

- Mottagningssystem - En pyrolysanläggning måste ta in, sortera och lagerhålla olika kvaliteter av biomassa. Detta kräver ett mottagningssystem som tar stor yta och kräver personal i form av kunniga tekniker och inköpare. Vid en integrering med ett kraftvärmeverk eller massabruk kan stora synergieffekter utnyttjas, dock måste hänsyn tas till de ökade volymerna hanterad biomassa.
- Pannsystemet - Pannan som förbränner koksen och värmer sanden i pyrolysoprocessen kan vara samma som förbränningspannan i ett kraftvärmeverk eller t.ex. barkpannan vid ett massabruk.
- Rökgasystem - Rökgasrening krävs för att klara utsläpkraven från myndigheter. Kraftvärmeanläggningar har idag påkostade system för rening och många har även installerade rökgaskondenseringssteg för energibesparing. Dessa utnyttjas automatisk vid en integrering av fluidiserande panna och skulle även vara möjliga att använda om en fluidiserande panna för pyrolysoprocessen byggs separat.
- Den icke kondenserbara gasen – kan användas i applikationer som kräver höga temperaturer, t.ex. i en mesaugn eller brännas direkt i en panna.
- Ångflöden

Att integrera energiflödena mellan en pyrolys- och kraftvärme- eller massaanläggning kräver långtgående analyser. Pyrolysprocessen med dess avsättning av värme i kondensering, värmebehov vid torkning och överskott av brännbara gaser ger många möjligheter till samverkan. Bilden blir än mer komplicerad då optimeringen kan ske mot olika mål; optimal produktion av pyrolysolja, maximerad elproduktion, begränsad avsättning på mottrycksnätet, förlängd driftsäsong och maximal avkastning.

### 3.2 Leverantörer av pyrolysanläggningar

Idag finns i huvudsak tre leverantörer av färdiga pyrolysanläggningar; BTG-BTL, Metso och Envergent. Nedanstående beskrivningar är sammanställningar över de tekniska lösningarna som respektive företag erbjuder. Sammanställningarna har förankrats genom samtal med representanter för de olika företagen, studiebesök, samtal med tillverkare av enskilda komponenter, vetenskapliga rapporter om de olika teknikerna och samtal med expertis inom pyrolysområdet.

#### 3.2.1 BTG- BTL

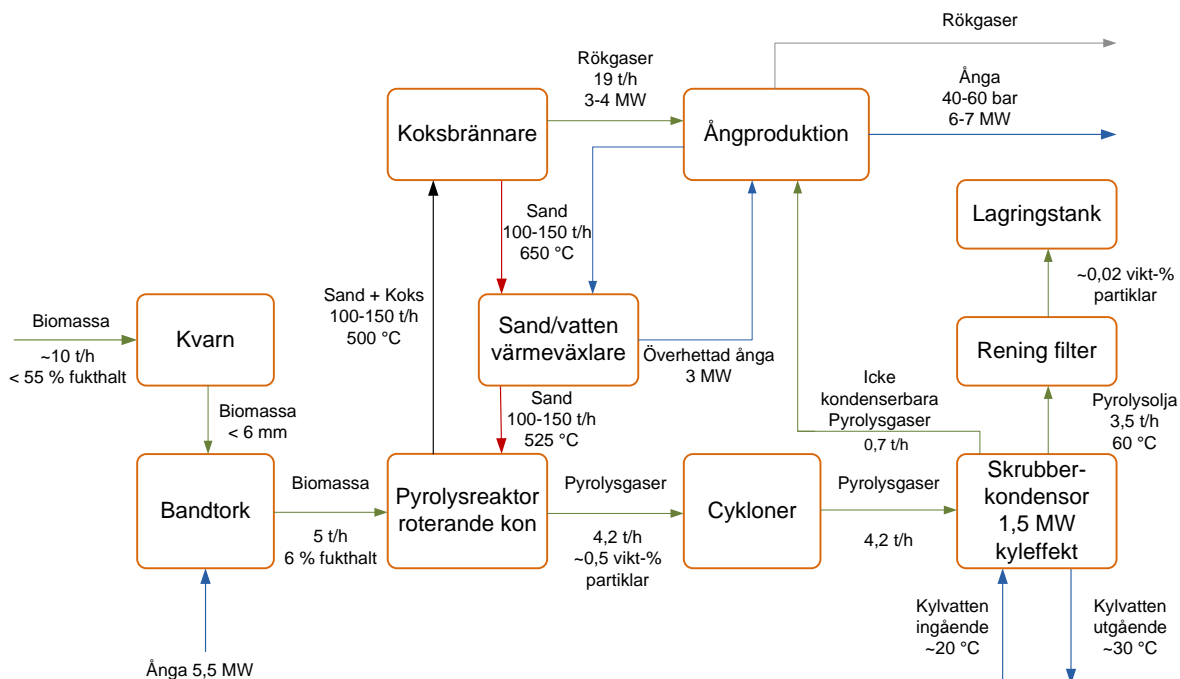
BTG-BTL är ett dotterbolag till BTG, Biomass Technology Group, som är operativt sedan 2007 och erbjuder en teknisk lösning för produktion av pyrolysolja. BTG-BTL använder en pyrolyreaktor av typen roterande kon, utvecklad vid Universitetet i Twente i Holland, som huvudkomponent för sin process.

BTG-BTL kan leverera standardiserade anläggningar för pyrolysoljeproduktion baserat på ett modulsystem. De vill tillverka en standardreaktor med tillhörande komponenter vilka levereras färdigmonterade i ramcontainrar. Anläggningen ska vara enkel att sätta upp och kräva en liten arbetsinsats på plats. Storleken kommer vara 5 ton torr biomassa per timme in i reaktorn vilket motsvarar 15 MW utgående pyrolysolja för råvara med bra utbyte. Önskas större anläggningar kan flera reaktorer parallellkopplas med gemensam kringutrustning.

Anläggningen är tänkt att fungera som en fritt stående enhet, det vill säga en stand alone anläggning ej integrerad med befintliga industriella produktionsanläggningar.

#### Teknik

BTG-BTL levererar en nyckelfärdig pyrolysanläggning dimensionerad för att hantera ett flöde torkad biomassa motsvarande 5 ton/h. Det motsvarar en ungefärlig effekt om 25MW råvaruinmatning, resulterande i en oljeproduktion med en effekt om 15 MW. Skiss över BTG-BTLs system går att se i Figur 11.



**Figur 11** Principskiss över BTG-BTLs pyrolysanläggning

I BTG-BTLs pyrolysanläggning mals biomassan ner till en partikelstorlek om max 6 mm innan biomassan går in i en bandtork för torkning. Biomassans fukthalt är efter torkning under 6 %. Då biomassan mals före torkning är torkningsegenskaper för biomassan bättre, resulterande i mindre el- och värmeåtgång i torken. Dock ökar elåtgången i kvarnen med cirka 20 %.<sup>49</sup>

Från torken går biomassan in i pyrolysisreaktorn av typen roterande kon där sand används som värmebärare. Vid normal drift behövs ett sandflöde motsvarande ett viktförhållande 20-30:1 mot biomassa, som tas från koksbrännaren och kyls ner till 525(±10)°C. För detta har BTG-BTL utvecklat en speciell värmeväxlare som kyler sanden genom antingen värmeväxling mot ånga eller mot vatten. På så sätt kan värmeväxlaren fungera både som förångare och överhettare. Koksen som bildas följer med sanden tillbaka till koksbrännaren där den förbränns.<sup>50</sup>

De bildade pyrolysgaserna från reaktorn renas från större partiklar i två cykloner innan de går vidare mot kondenseringsstegen. Kondenseringen sker i två steg med skrubbar där det utgående kylvattnet håller en temperatur om 30 °C. De pyrolysgaser som inte går att kondensera går vidare mot en efterbrännare för ångproduktion. Den kondenserade pyrolysoljan renas efter kondenseringen i ett filter ner till en partikelhalt på 0,02 vikt-% innan pyrolysoljan går vidare mot lagring för vidare transport.<sup>51</sup>

### Energiflöden

Energiflödena i en pyrolysanläggning är generellt svåra att beskriva då de i stor utsträckning beror på den ingående biomassans egenskaper. Ett bränsle med hög vattenhalt leder till stor värmeåtgång i torken, höga askhalter till stor andel koks etc.

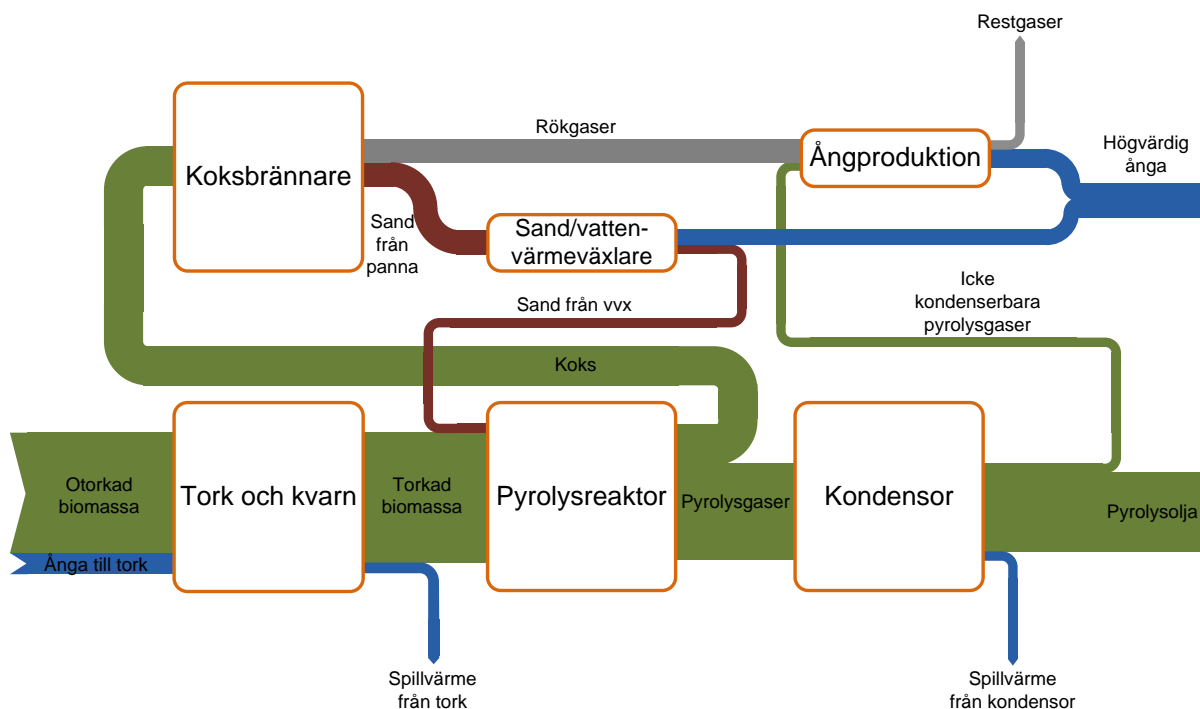
För integrering av BTG-BTLs pyrolysanläggning är det dock viktigt att förstå anläggningens energiflöden. Nedan ges en beskrivning av de ingående energiflödena för ett referensfall där stamvedsflis med en askhalt

<sup>49</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-07-27

<sup>50</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-07-04

<sup>51</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-07-27

kring 1 % och fukthalt på 45 % används. Skiss över energiflödena i BTG-BTLs pyrolysanläggning går att se i Figur 12, med underliggande energiflöden sammanställda i Tabell 3.



Figur 12 Energiflöden vid användning av stamvedsflis i BTG-BTLs pyrolysanläggning

Tabell 3 Sammanställning över storlek av de i Figur 12 ingående energiflödena.

Typ av flöde	Energiflöde (MW)
<i>Flöden av biomassa</i>	
Otorkad biomassa	25
Torkad biomassa	26,5
Koks	8
Pyrolysgaser	18
Icke kondenserbara pyrolysgaser	2
Pyrolysolja	16
<i>Flöden av vatten/ånga</i>	
Ånga till tork	4
Spillvärme från tork	2,5
Spillvärme från kondensor	2
Högvärdig ånga	7
<i>Sand och rökgasflöden</i>	
Sand från koksbrännare	4
Sand från vvx	2
Rökgaser	4
Restgaser	1

I torken åtgår ånga för att torka biomassan med motsvarande 1,1 MWh/ton evaporerat vatten. Värmeåtgången är således beroende av fukthalten på det ingående bränslet. En del av den ingående ångan, motsvarande cirka 40 %, avgår som spillvärme. Den andra delen åtgår till att evaporera vatten från den blöta biomassan, och därigenom höja biomassans undre värmevärde, samt att värma upp biomassan.

I pyrolyisreaktorn går sedan tillsammans med biomassan ett flöde med sand in i reaktorn, motsvarande 5 % av den ingående biomassans effekt. Förutom en liten del energi som åtgår till att driva den endoterma processen, så går energin i sanden och den torkade biomassan över till koksen och de varma pyrolyisgaserna. Av koksen och de icke kondenserbara gaserna produceras ånga med en total verkningsgrad om 70 %.<sup>52</sup>

De varma pyrolyisgaserna går till kondensorn där ett vattenflöde används för att kyla gaserna. Den bortkylda effekten i kondensorn motsvarar det sandflöde som går in i pyrolyisreaktorn om cirka 5 % och avgår som spillvärme.

### **Befintliga projekt**

BTG-BTL är idag inblandade i projekteringen av en demonstrationsanläggning för pyrolysoljeproduktion i Hengelo i Nederländerna. Produktionstakten är planerad till 15 MW pyrolysolja, motsvarande 3,5 tons produktion per timma.

Byggstarten är preliminärt planerad till september 2012. I anslutning till anläggningen skall den producerade ångan användas för att driva en ångturbin för el-produktion om 0,8 MW. De ska även leverera processånga till AkzoNobels anläggning som ligger intill med en ångström på 3 bar 150 °C. Den totala investeringskostnaden för Hengeloverket är 18 M€. Underhållskostnaderna är beräknade till 150 000 €/år och anläggningen bedöms ha ett personalbehov på 4-6 anställda. BTG-BTL arbetar även med två projekt i Frankrike och Spanien.

BTG-BTL har även driftsatt en kommersiell anläggning i Malaysia som använde sig av fruktresten där den producerade oljan användes i ett pappersbruk. Anläggningen är dock inte längre i drift.

### **Fördelar**

BTG-BTLs process för pyrolysoljeproduktion har flera för- och nackdelar.

Fördelen med BTG-BTLs reaktortyp roterande kon gentemot en CFB-reaktor är att de slipper recirkulera den icke kondenserbara pyrolyisgasen för användning som blåsmedium. Detta ger minskad elförbrukning på grund av avsaknad av kompressor och minskat behov av rening av gasen då den kan gå direkt till förbränning. Det gör även att avlagringar på kompressor kan undvikas.<sup>53</sup> Deras lösning innebär vidare att en del av energiuttaget i form av varm sand från koksbrännaren tillförs ångsystemet som högvärdig ånga. Reaktorn kräver inte någon cirkulationsgas vilket minskar den termiska energin i pyrolyisgaserna som lämnar reaktorn och som återfås i form av lågvärdig värme i kylvattnet i kondenseringssteget.

En annan fördel med BTG-BTLs teknik är att vid avskiljning av pyrolyisgaser från pyrolyisreaktor så följer inte sand med i samma utsträckning som med CFB-reaktorer, till följd av att inga blåsgaser används med deras teknik. Detta leder till en låg ask- och partikelhalt, där <0,02 vikt-% kan uppnås.<sup>54</sup>

### **3.2.2 Metso**

Metso startade sin satsning på pyrolyis 2007 baserat på teknik sprungen ur forskning utförd vid VTT:s forskningscentrum i Helsingfors. Tekniken för produktion av pyrolysolja bygger på en CFB-reaktor som integreras med en fliseldad BFB eller CFB. Metso vill bygga större anläggningar över 50 MW råvarutillförsel anpassade för var kunds behov.

---

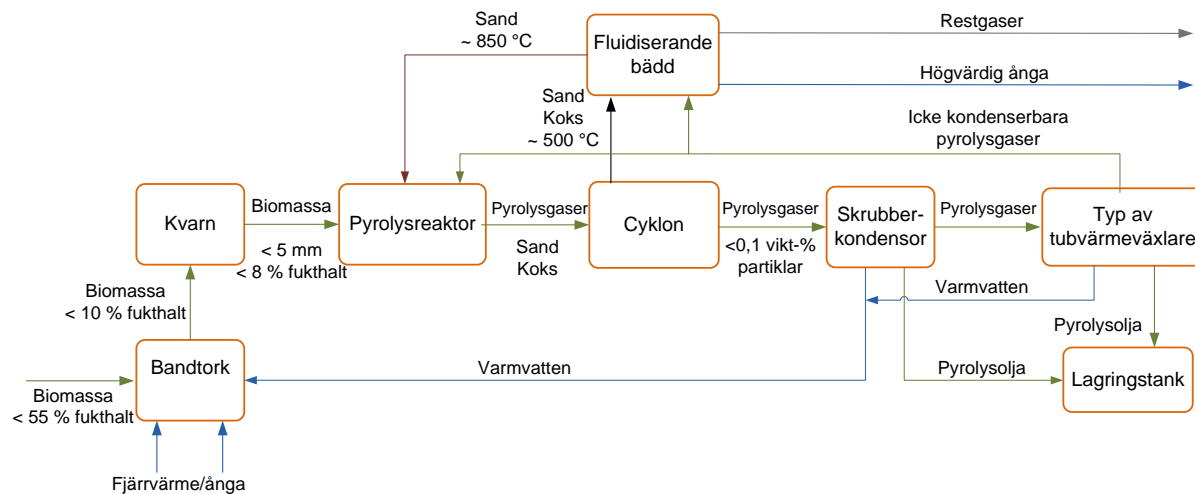
<sup>52</sup> Edwin Noomen; Treepower; 2012-07-10

<sup>53</sup> Gerhard Muggen; BTG-BTL; 2012-07-02

<sup>54</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-08-14

**Teknik**

Metso kan leverera anläggningar för produktion av pyrolysolja innehållande torkningssystem, pyrolysoaktor, integrering med en befintlig BFB eller CFB, kondenseringssteg samt lagring. Principskiss över Metsos teknik för pyrolysoljeproduktion går att se i Figur 13.



**Figur 13** Principskiss över Metsos pyrolysanläggning integrerad med en kraftvärmeanläggning

Biomassan som går in till Metsos pyrolysanläggning torkas i det första steget i en bandtork som nyttjar restvärme från pyrolysanläggningens kondenseringssteg. För att värma vattnet upp till erforderlig kvalitet spetsas denna restvärme med fjärrvärme. I torken torkas biomassan ner till en fukthalt kring 10 % innan den går vidare mot kvarnen där biomassan mals ner till en partikelstorlek < 5 mm.<sup>55</sup> Kvarnen blir mycket varm och fungerar därigenom även som tork, och fukthalten i biomassan är efter kvarnen < 8 %.

Biomassan matas in till de nedre delarna av CFB-reaktorn där även ett sandflöde från en integrerad fluidiserande panna matas in. Den ingående sanden håller en temperatur kring 850 °C. För att blåsa biomassan och sanden uppåt i reaktorn används icke kondenserbara pyrolysgaser då dessa ej innehåller syre som kan frambringa förbränning i reaktorn.

I toppen av reaktorn tas sand, koks och pyrolysgaser ut varefter sanden och koksen avskiljs i två cykloner. Sanden och koksen går mot den fluidiserande pannan med en temperatur på cirka 500 °C där koksen förbränns och sanden värms upp. Flödet av sand är 10:1 i förhållande till vikten på den ingående biomassan.

Pyrolysgaserna har efter de dubbla cyklonerna en ask- och partikelhalt < 0,1 vikt-% när de går vidare mot kondenseringsstegen. Metsos pyrolysolja kommer troligtvis innehålla högre halter av partiklar än BTG-BTLs som följd av reaktorvalet med CFB-teknik.

Kondenseringen av pyrolysgaser sker med Metsos teknik i två steg där det första steget representeras av en skrubberkondensor och det andra av en typ av rörvärmeväxlare. Pyrolysoljan från de båda kondenseringsstegen går efter kondenseringen utan vidare rening mot lagringstankar. Den icke kondenserbara gasen förbränns i pannan eller används som blåsmedium i pyrolysoaktorn.<sup>56</sup>

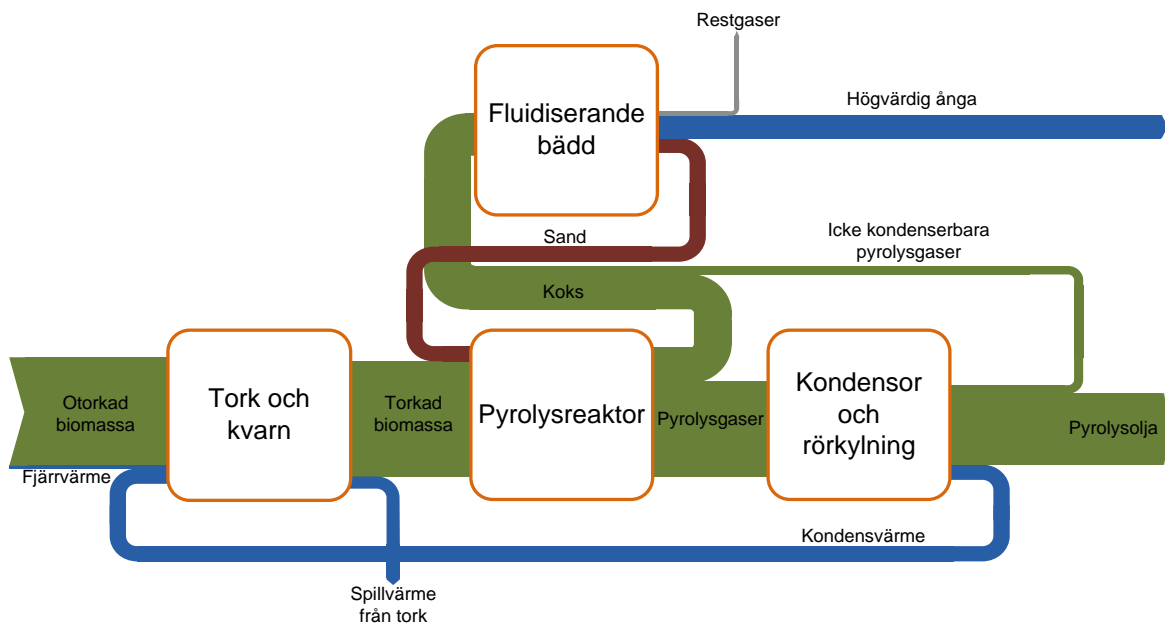
<sup>55</sup> Presentation; Bio-oil production plant to Fortum power plant in Joensuu, Finland; Kai Mäenpää; 2012-07-03

<sup>56</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-08-14



### Energiflöden

De huvudsakliga energiflödena för en pyrolysanläggning från Metso går att se i Figur 14, med underliggande energiflöden presenterade i Tabell 4. Vid beskrivning av energiflöden nedan utgås ifrån att pyrolysanläggningen matas med stamvedsflis med en askhalt omkring 1 % och 45 % fukthalt.



Figur 14 Energiflöden vid användning av stamvedsflis i pyrolysanläggning från Metso vid integrering med en fluidiserande panna.

Tabell 4 Sammanställning över storlek av de i Figur 14 ingående energiflödena.

Typ av flöde	Energiflöde (MW)
<i>Flöden av biomassa</i>	
Otorkad biomassa	50
Torkad biomassa	53
Koks	16,5
Pyrolysgaser	36,5
Icke kondenserbara pyrolysgaser	4
Pyrolysolja	33
<i>Flöden av vatten/ ånga</i>	
Kondensvärme	7
Fjärrvärme	1
Spillvärme från tork	5
Högvärdig ånga	11
<i>Sand- och restgasflöden</i>	
Sand från panna	7
Restgaser	2

Den tillförda värmen i torken och kvarnen motsvarande cirka 17 % av den ingående råvarans energimängd. Värmen tas till största delen som kondensvärme från kylningen i kondenseringsstegen, men spetsas även med värme från fjärrvärmenätet. Värmen som åtgår i torken är cirka 1,1MWh/ton förångat vatten.

Likt i BTG-BTLs anläggning åtgår cirka 40 % av den ingående värmen i torken som spillvärme. Övrig värme åtgår till att värma upp samt att förhöja undre värmevärdet hos biomassan genom förångning av vatten.

I pyrolynsreaktorn matas ett energiflöde av varm sand in motsvarande 13 % av den ingående biomassan. Energin i sanden och biomassan övergår sedan till pyrolysgaserna och koksen.

I kondensorn försvinner cirka 20 % av ingående energi i pyrolysgaserna som kondensvärme. De höga energiförlusterna i kondensorn går att koppla till de icke kondenserbara pyrolysgaserna som används som blåsmedium. I varje cykel kyls pyrolysgaserna ner till 50 °C för att med sanden värmas upp i reaktorn till en temperatur kring 500 °C. De varma pyrolysgaserna kyls därefter ned återigen innan de går in i nästa cykel.

### Fördelar

Metsos CFB-teknik för pyrolysoljeproduktion är skalbar till större anläggningar och lättare att anpassa till en storlek aktuell för en specifik förbränningsanläggning.

Sandflödet på cirka 1:10 mot biomassaflödet är hälften mot BTG-BTLs teknik. Däremot kyls sanden endast i reaktorn vilket gör att all tillförd värme försvinner med pyrolysgaserna. Gaserna kyls sedan i kondenseringsystemet och energin återfås via det lågvärdiga kylvattnet. Metso återanvänder dessa i torken.

### Befintliga projekt

Fortum bygger 2012-2013 vid sin BFB-anläggning i Joensuu en demonstrationsanläggning tillsammans med Metso. Vid färdigställandet kommer den att vara världens första kommersiella pyrolysanläggning integrerad med ett kraftvärmeverk. Anläggningen kommer att vara i kommersiell skala om 30 MW pyrolysoljeproduktion, men anses vara en demonstrationsanläggning där målet är att samla på sig drifterfarenhet.<sup>57</sup>

Demonstrationsanläggningen som byggs i Joensuu kommer producera 30 MW olja men Metso anser att större anläggningar är att föredra för att få god ekonomi. Vid integrering med en befintlig fluidiserande panna måste denna vara något större än pyrolysanläggningen för att få en stabil pyrolyprocess.

### 3.2.3 Envergent

Ensyn är ett familjeägt bolag från USA som utvecklat en pyrolyprocess de kallar RTP, Rapid Thermal Processing. Ensyn har varit verksamma sedan 1980-talet och har levererat flertalet pyrolysanläggningar till matindustrin för produktion av kemikalier. Sedan 1990-talet har de arbetat med att skala upp och kommersialisera sin teknik för energiproduktion. 2007 drifttog de en demonstrationsanläggning i Ontario Kanada om 100-150 ton råvarumassa per dag, 20-30 MW. För att nå ut med sin produkt på den internationella marknaden bildades 2008 Envergent vilket är ett samägt bolag mellan Ensyn (49 %) och Honeywells dotterbolag UOP (51 %).

Envergent saluför anläggningar i storlekar 100, 200 och 400 ton torr råvarutillförsel per dag vilket motsvarar cirka 23, 46 och 92 MW. Anläggningarna byggs centralt och levereras i moduler.

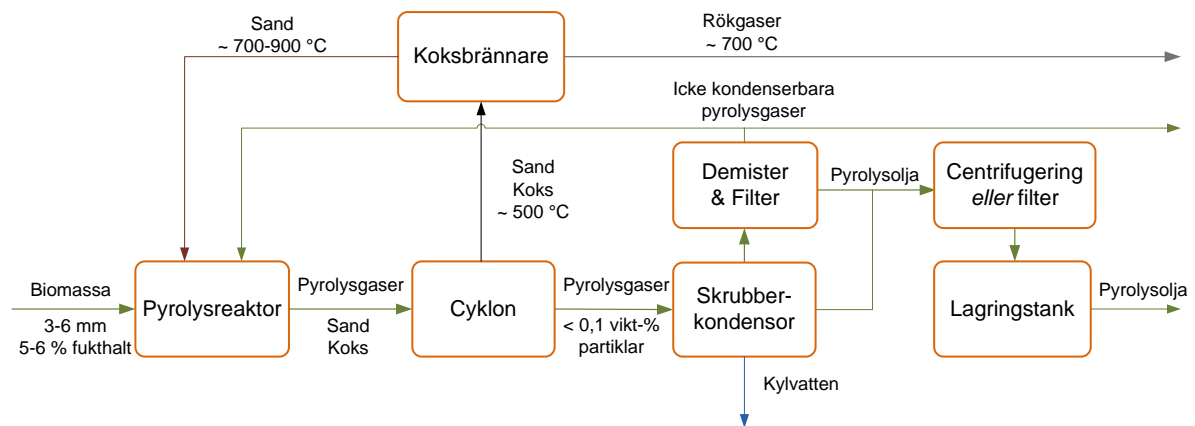
Envergent pointerar att för varje anläggning sker en viss anpassning till kundens behov och önskemål. Råvara, oljeutbyte, produktionskapacitet och askhalt är alla nära sammankopplade och vid projektering av anläggningen måste kunden bestämma de parametrar som passar dess affärsmodell.<sup>58</sup>

<sup>57</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-08-14

<sup>58</sup> Seth Bergström; Honeywell; 2012-10-17

### Teknik

Envergent levererar endast de delar i pyrolysanläggningen som är specifika för pyrolyprocessen. Deras systemgräns börjar vid inmatingen i reaktorn och slutar med de tre flödena varma rökgaser, icke kondenserbara pyrolysgaser och pyrolysolja. Principskiss över Envergents teknik framgår av Figur 15.



**Figur 15** Principskiss över Envergents teknik för framställning av pyrolysolja

Biomassan in i anläggningen ska hålla en fukthalt om 5-6 vikt-% och vara mald en storlek mellan 3-6 mm. Reaktorn är av typen CFB och består av ett vertikalt rör vilket är över 10 meter högt. Råvaran matas in i reaktorn något över sandinmatningen och transporteras upp av återcirkulerade icke kondenserbara pyrolysgaser. Uppehållstiden är cirka 2 sekunder och reaktortemperaturen är cirka 500 °C. I toppen av reaktorn leds sand, koks och de varma pyrolysgaserna till en cyklon där koks och sand skiljs ut och leds till koksbrännaren. Designen av cyklon skiljer beroende av specifikationerna på anläggningen.

Koksbrännaren är en integrerad komponent och består av en panna av typen BFB men saknar helt ångsystem. Energi tas ut i form av het sand till reaktorn och varma rökgaser.

De varma pyrolysgaserna från pyrolysoaktorn leds från cyklonen till en dubbel skrubberkondensator. I de båda kondensatorerna sprinklas de varma pyrolysgaserna med 30-40 °C varm pyrolysolja. Kapaciteten skiljer sig mellan de båda kondensatorerna och i den första används cirka 10-20 liter pyrolysolja/sekund och ton producerad pyrolysolja per timma och i den andra cirka 2-5 liter pyrolysolja/sekund. De kondenserade pyrolysgaserna kyls ned till 40-60 °C.

Gasströmmen som lämnar den andra kondensorn innehåller icke kondenserbara gaser och stora mängder pyrolysoljedimma. Dimman måste filtreras ut för att den icke kondenserbara gasen ska kunna användas som blåsmedium i reaktorn. Filtringen sker i två steg, först en fläns- och nätavdimmare, kallad demister, och sedan ett fiberbäddsfiltre med två alternerande linjer.<sup>59, 60, 61</sup>

Anläggningen levereras med lagringstankar för några dagars produktion.

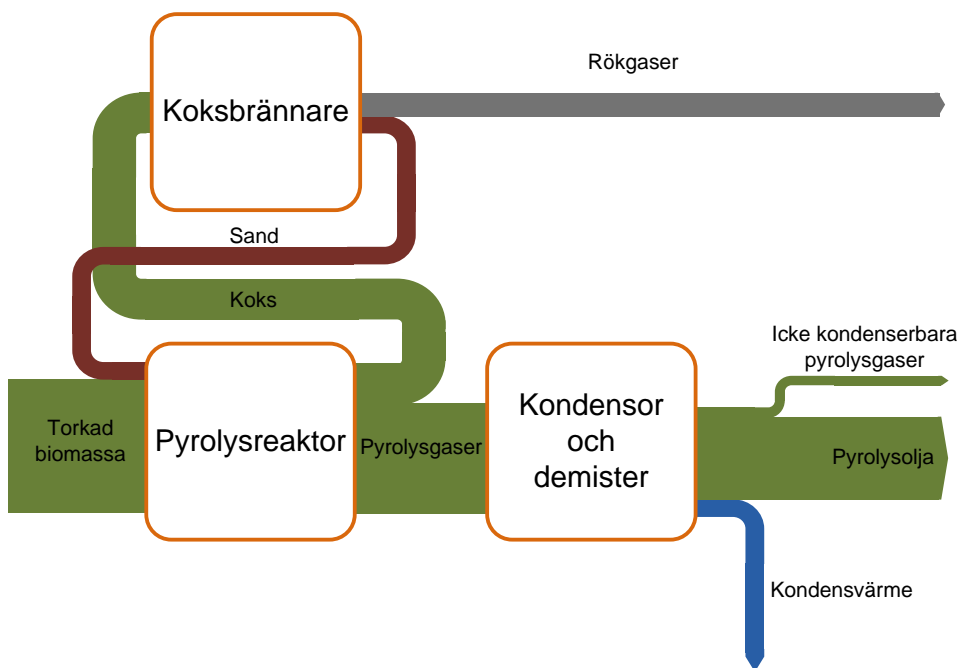
### Energiflöden

Figur 16 visar de övergripande interna energiflödena för en anläggning där råvaran motsvarande stamvedsflis används med en askhalt kring 1 %. Den torkade råvaran håller en fukthalt på 6 % och antas vara levererad från en tork utanför Envergents systemgräns. Underliggande värden på energiströmmar visas i Tabell 5.

<sup>59</sup> United States Patent Application Publication; No:US2011/0123407 A1; 2011

<sup>60</sup> Coll'Energia Srl Milano, Italia – Impianto per la produzioe di un bio-liquido (oilo di pirolisi) e generazione di energia elettrica Colle Val D'Elsa; Doc. No. 10-108-H9; 2011

<sup>61</sup> Dave Cepla; Envergent; 2012-10



Figur 16 Energiflöden vid användning av stamvedsflis i Envergets pyrolysanläggning

Tabell 5 Sammanställning av energiflöden i Figur 16.

Typ av flöde	Energiflöde(MW)
<i>Flöden av biomassa</i>	
Torkad biomassa	53
Koks	16,5
Pyrolysgaser	36,5
Icke kondenserbara pyrolysgaser	3,5
Pyrolysolja	33
<i>Spillvärme-, rökgas- och sandflöden</i>	
Spillvärme från kondensor	7
Rökgaser	9,5
Sand från panna	7

Den torkade biomassan blandas med varm sand med ett termiskt energinnehåll motsvarande cirka 13 % av biomassans effektiva värmevärde. Den varma pyrolysgasen tillsammans med den cirkulerande icke kondenserbara pyrolysgasen förs vidare till kondensorn där den kyls och kondenseras ned till vätska. Spillvärmern från kondensorn motsvarar den tillförda termiska energin i reaktorn bortsett från små värmeförluster i processen och den termiska värmen i koksen. Spillvärmern från kondensorn tas inte tillvara.<sup>62,63,64</sup>

Från koksbrännaren tas varm sand till processen och resterande energi avges i form av varma rökgaser.

<sup>62</sup> United States Patent Application Publication; No:US2011/0123407 A1; 2011

<sup>63</sup> Coll'Energia Srl Milano, Italia – Impianto per la produzioe di un bio-liquido (oilo di pirolisi) e generazione di energia elettrica Colle Val D'Elsa; Doc. No. 10-108-H9; 2011

<sup>64</sup> Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues; Anja Oasmaa; VTT; 2009

**Befintliga projekt**

Green Fuel Nordic Oy är ett finländskt bolag som med hjälp av teknik från Envergent planerar byggnation av bioraffinaderier i Finland. Bioraffinaderierna planeras i ett första skede producera bioolja från träbaserade råvaror för ersättning av eldningsolja.

Enligt pressreleaser så planerar bolaget i ett första steg byggnation av 3 bioraffinaderier, där platsen för de första två nyligen fastställts.<sup>65</sup>

**Fördelar**

Fördelarna för Envergens teknologi liknar generellt dem för Metsos teknik, då de två bolagens teknik grundar sig på samma reaktortyp. Dock är Envergent därutöver tydliga med att de har möjlighet att anpassa tekniken i anläggningen för att styra pyrolysoljeproduktionen mot önskat optimum, så som oljekvalité eller total volym.

---

<sup>65</sup> Hemsida; Green Fuel Nordic Oy; <http://www.greenfuelnordic.fi/>; 2012

## 4 Pyrolysoljan och dess användning

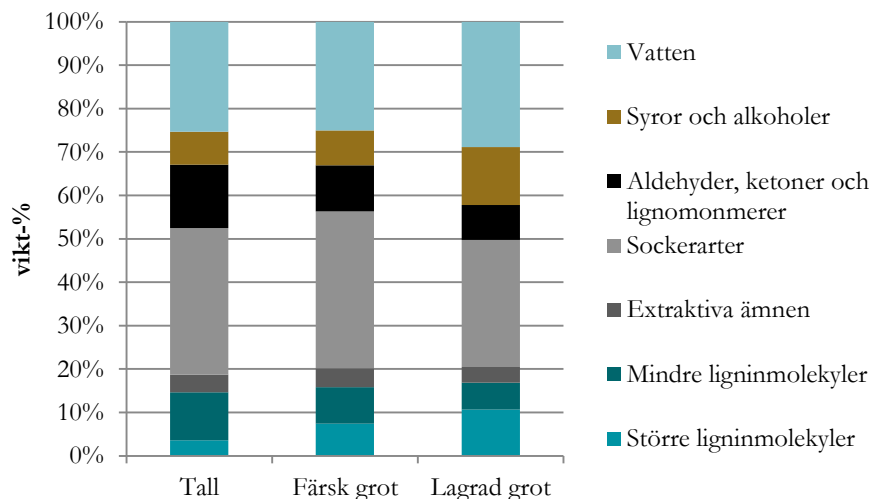
### 4.1 Pyrolysoljans egenskaper

Sammansättningen av en pyrolysolja varierar kraftigt och det fokuseras därför ofta på egenskaperna hos pyrolysolja. Pyrolysoljan karakteriseras av hög vattenhalt, hög densitet och låg pH. En sammanställning över pyrolysoljans egenskaper med jämförelse med lätt och tung eldningsolja visas i Tabell 6.

Tabell 6 Pyrolysoljans egenskaper jämfört med eldningsolja<sup>66 67 68</sup>

	Pyrolysolja	Lätt eldningsolja (EO 1)	Tung eldningsolja (EO 5)	Enhet
Vattenhalt	15-30	0,025	< 7	vikt-%
pH	2,0-3,7	-	-	-
Densitet	1 100-1 300	830	900-1 020	kg/m <sup>3</sup>
Viskositet	13-80	6	140-380	cSt vid 50 °C
Energiinnehåll (LHV)	16-19	42,8	~ 40	MJ/kg
Askhalt	0,01-0,20	0,01	0,1	vikt-%
Flampunkt	45-100	70	100	°C
Ångpunkt	-9 - -36	-15	> 15	°C
C	32-49	90	90	vikt-%
H	6-8	10	10	vikt-%
O	44-60	0,01	0,01	vikt-%
S	0-0,6	0,18	1,0	vikt-%
Fasta fraktioner	0,01-1	0	0	vikt-%

De för pyrolysoljan, jämfört med eldningsoljor, avvikande egenskaperna hänger samman med pyrolysoljans kemiska sammansättning. Pyrolysolja består av en mängd olika kemiska föreningar som påverkar dess egenskaper. Därtill varierar denna sammansättning med vilken typ av bränsle som används i processen. Sammansättningen för pyrolysolja för tre olika ursprungsbränslen framgår av Figur 17.



Figur 17 Pyrolysoljans sammansättning för färsk GROT, lagrad GROT och tallråvara<sup>69</sup>

<sup>66</sup> Untersuchung von Wirbelschichtpyrolyse von Holzpartikeln; Hannes Klaubert och Dietrich Meier; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; 2002

<sup>67</sup> Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis; M. Ringer; National Renewable Energy Laboratory; 2006

<sup>68</sup> Alphakat-process för framställning av dieselbränsle ur träråvara; Anders Öhman; Kemiinformation AB på uppdrag av Energimyndigheten; 2007

Hos de ingående komponenterna i pyrolysoljan varierar vattenlösligheten vilket medför att pyrolysoljans egenskaper som vätska varierar.

Den del av pyrolysoljan som inte är fullt vattenlöslig består av hög- och lågmolekylära ligninmolekylerna samt extraktivämnen. Indelningen av ligninderivat som icke vattenlösliga är dock svår till följd av dess mycket varierande längd i molekylkedjorna. Det händer därför att olika analyser av samma prov pyrolysolja visar olika grad av vattenlöslighet.<sup>70</sup> Övriga ämnen ses som vattenlösliga.

#### 4.1.1 Densitet och energiinnehåll

Pyrolysoljan har en hög densitet på omkring 1 100-1 300 kg/m<sup>3</sup> med ett undre värmevärde på 16-19 MJ/kg. Detta medför att pyrolysoljan har cirka 40 % av energin i råolja av samma vikt, och cirka 60 % på volymsbasis.

#### 4.1.2 Vattenhalt och löslighet

Pyrolysoljans vatteninnehåll är normalt omkring 25 vikt-%, men kan variera mellan 15-30 vikt-%. Vattnet har sitt ursprung dels i att reaktionsvatten motsvarande 12 vikt-% av pyrolysoljan alltid bildas under pyrolysisprocesserna, dels som ursprunglig vattenhalt i ingående biomassa.<sup>71</sup>

Sammanställningen av pyrolysoljan, beträffande vattenlösliga och icke vattenlösliga delar, beror på egenskaperna hos den använda biomassan. De ämnen som inte är vattenlösliga består till stor del av fasta partiklar, extraktivämnen och olika typer av lignin. Andelen icke vattenlösliga ämnen ökar med lagringstiden till följd av att polymerisering av olika ligninderivat. Den vattenlösliga andelen av pyrolysoljan består till största delen av vatten, sockerliknande molekyler, syror, aldehyder, ketoner, pyraner och furaner.<sup>72</sup>

Pyrolysoljan är till viss del blandbar med vatten, men skiktar sig vid för stor inblandning där gränsen går vid cirka 35 vikt-% vatten. Oljan är blandbar med polära lösningsmedel som metanol och aceton. Med bränslen som härstammar från råolja är pyrolysoljan inte blandbar.<sup>73</sup>

#### 4.1.3 Skiktning

Skiktning av pyrolysoljan kan uppstå till följd av lagring eller speciella egenskaper hos den använda biomassan. Biomassa med hög andel av extraktivämnen såsom olika lipider och kådor, och i synnerhet vissa av dessa, bidrar till att bilda en toppfas. Bark och lagrad GROT har högre andel extraktivämnen än t.ex. sågspån.<sup>74</sup> När en skiktning uppstått är det inte möjligt att åter blanda de olika faserna.

#### 4.1.4 Ph

Pyrolysoljans pH är cirka 2,5 och den låga pH-halten kan härröras från dess organiska syror.<sup>75</sup> En pH-halt kring 2,5 är lågt och innebär bland annat att pyrolysolja uppför sig korrosivt och måste hanteras med aktsamhet. pH 2,5 är dock inte så lågt att det innebär någon direkt hälsofara vid kontakt. Naturvårdsverkets gräns för vad som automatiskt klassas som farligt avfall går vid pH <2.<sup>76</sup>

<sup>69</sup> Fast Pyrolysis of Forest Residue. 2. Physiochemical Composition of Product Liquid; A. Oasmaa et al.; Energy & Fuels; 2003

<sup>70</sup> Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues; A. Oasmaa et al. Energy & Fuels; 2009

<sup>71</sup> Yrjö Solantausta, VTT, 2012-08-13

<sup>72</sup> Properties and fuel use of biomass derived fast pyrolysis liquids ; A. Oasmaa; VTT; 2010

<sup>73</sup> Biomass Fast Pyrolysis, Anthony Bridgewater, 2004

<sup>74</sup> Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues; A. Oasmaa et al. Energy & Fuels; 2009

<sup>75</sup> Biomass Fast Pyrolysis; Anthony Bridgewater; 2004

<sup>76</sup> Hemsida; Naturvårdsverket; <http://www.naturvardsverket.se/Start/Produkter-och-avfall/Avfall/Hantering-och-behandling-av-avfall/Klassning-av-farligt-avfall/Valj-lampligaste-koden-i-avfallsforteckningen/Avfall-som-klassas-som-farligt/Lista-over-avfall-som-klassas-som-farligt/> ; 2012

#### 4.1.5 Aska och koks

Koks och aska som hamnar i den slutliga oljan är oönskade i förbränningsapplikationer där de kan sätta igen och skada förbränningsutrustningen. De bidrar även till att göra pyrolysoljan mer instabil. Askan katalyserar de polymeriserande processerna av lignin som över tid ökar oljans viskositet, en process som fortgår även för en olja lagrad i låga temperaturer. Övervägande del av askan i pyrolysoljan är knuten till den ingående koksen.<sup>77</sup> Effektiv rening av koks medför således låga askhalter i pyrolysoljan.

#### 4.1.6 Flyktighet

Pyrolysoljans flyktighet varierar stort till följd av den varierande sammansättningen hos pyrolysoljor. Pyrolysoljan börjar normalt sett koka kring cirka 100 °C, till följd av den stora vattenandelen, men slutar inte koka förrän vid temperaturer uppemot 250 °C. 35-50 vikt-% av pyrolysoljan är icke-volatila ämnen som blir kvar när destillering av oljan är klar. Detta innebär bland annat att pyrolysolja inte kan användas i applikationer där total förångning av oljan innan förbränning är nödvändig.<sup>78</sup>

#### 4.1.7 Syrehalt

Pyrolysolja har en syrehalt kring 40 vikt-% som inte ger upphov till energiutveckling vid förbränning. Istället bidrar syrehalten till pyrolysoljans låga energiinnehåll, i jämförelsen med oljebaserade bränslen.

Syrehalten svarar även för den stora skillnaden hos olika pyrolysoljor och försvårar lagring. Syrehalten i pyrolysoljan kan påverkas av processparametrar som temperatur, uppehållstid och upphettningshastighet. Processer som leder till en lägre andel olja, men högre andel gas, ger upphov till en olja med lägre syrehalter.<sup>79</sup>

#### 4.1.8 Pumpbarhet – Viskositet

Viskositeten är ett mått på hur lättflytande en vätska är och tjänar därigenom som ett mått på pyrolysoljans pumpbarhet. Viskositeten för pyrolysolja ligger ofta kring 30-80 cSt vid 50 °C.

Högflyktiga ämnen hjälper till att sänka viskositeten och är viktiga att tillvarata i oljan. Vid produktionen är de svåra att få med vid kondensationssteget och efteråt kan speciella filter användas för att separera dem från de icke kondenserbara gaserna. Vid lagring är det viktigt att inte hålla oljan i kontakt med luft för att minska avdunstningen av dessa ämnen. Metanol eller aceton kan tillsättas för att kraftigt sänka pyrolysoljans viskositet.

Viskositeten ökar med tiden, vid t.ex. lagring. Detta tros bero på att syre från luft reagerar med oljan, samt att kemiska reaktioner i oljan medför polymerisering av molekyler.

#### 4.1.9 Åldrande

Pyrolysolja är ingen stabil produkt utan förändras med tiden på grund av olika processer. Främst beror åldrandet på den höga halten syre i pyrolysoljan, främst då i reaktiva föreningar, samt oljans volatila ämnen. Åldrandet tar sig främst uttryck i form av ökad viskositet och fasseparering.

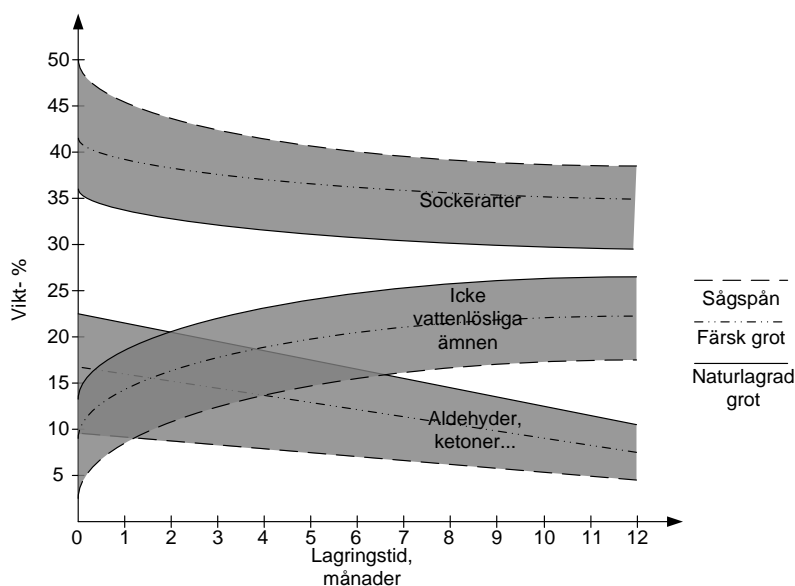
De volatila ämnena avdunstar lätt, och medför förändrade egenskaper för den kvarvarande pyrolysoljan. Främsta konsekvensen av avdunstningen är energiförluster och stigande vatteninnehåll i oljan. Vid uppvärmning ökar problemen med polymerisation och viskositeten ökar ytterligare. Kontakt med luft, och därmed luftens syre, bidrar även det till ökad takt för polymerisering. De stora molekyler som bildats vid polymerisering sjunker mot botten och bildar en bottenfas. Vid flertalet av polymeriseringsreaktionerna bildas vatten som biprodukt. De reaktioner som påverkar åldrandet går som snabbast de första veckorna. Hur förändringen av pyrolysoljan fortgår vid lagring visas i Figur 18.

<sup>77</sup> Biomass Fast Pyrolysis; Anthony Bridgewater; 2004

<sup>78</sup> Biomass Fast Pyrolysis; Anthony Bridgewater; 2004

<sup>79</sup> Biomass Fast Pyrolysis; Anthony Bridgewater; 2004





Figur 18 Schematisk bild över förändringar i sammansättning över tid <sup>80</sup>

#### 4.1.10 Korrosivitet

Pyrolysoljans korrosivitet beror främst på dess låga pH och dess höga vatteninnehåll. Pyrolysoljan agerar därför korrosivt mot material som kolstål och aluminium. Rostfritt stål står dock emot pyrolysoljans korrosiva egenskaper väl. Packningar och förseglingar påverkas av korrosiviteten.

#### 4.1.11 Standarder

Det finns inga internationellt erkända standarder för pyrolysolja. ASTM International, tidigare ASTM, är ett amerikanskt standardorgan som har tagit fram en standard för pyrolysolja, ASTM D7544-10 Standard Specification for Pyrolysis Liquid Biofuel<sup>81</sup>

Dock hävdas ofta att det idag inte finns tillräckligt med underlag från användning av pyrolysolja för att det ska kunna vara möjligt att göra en meningsfull standard.<sup>82</sup>

## 4.2 Råvaran och dess inverkan på pyrolysoljan

Som råvara till produktion av pyrolysolja används olika typer av biomassa som bestämmer pyrolysoljans sammansättning. Därtill har den ingående biomassan stor inverkan på utbytet av pyrolysolja, gentemot koks och icke kondenserbara pyrolysgaser.

### 4.2.1 Påverkan på oljeutbytet

Småskalig produktion av pyrolysolja är både dyr och tidskrävande. Erfarenhet visar dock att dyra test för produktion av pyrolysolja för olika typer av biomassa i ett initialt skede, så som vid grundläggande förstudier, ej är nödvändiga. Som alternativ kan ett vanligt TGA-test (Thermal Gravimetric Analysis) göras för att bestämma halten flyktiga ämnen och askhalt, då utbytet av pyrolysolja följer dessa halter tämligen väl.<sup>83</sup>

I ett TGA-standardtest mäts biomassans andel fukt, flyktiga ämnen, koks och aska. Provet är en variant av långsam pyrolys där de avgående pyrolysgaserna motsvarar de flyktiga ämnena i biomassan. Standardtestet är utvecklat då andelen flyktiga ämnen i ett bränsle påverkar ämnets egenskaper när det kommer till

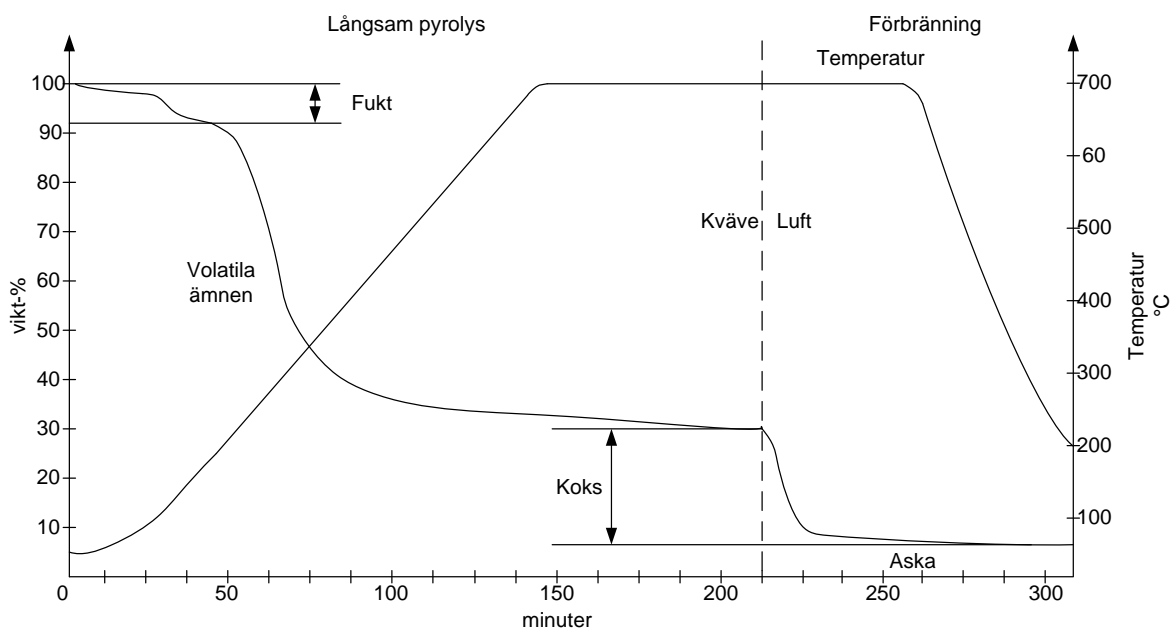
<sup>80</sup> Results of the IEA Round Robin on Viscosity and Stability of Fast Pyrolysis Bio-Oil; D.C Elliot et al.; Energy & Fuels; 2012

<sup>81</sup> Hemisda; ASTM; <http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D7544-09.htm>; 2012

<sup>82</sup> Properties and fuel use of biomass derived fast pyrolysis liquids ; A. Oasmaa; VTT; 2010

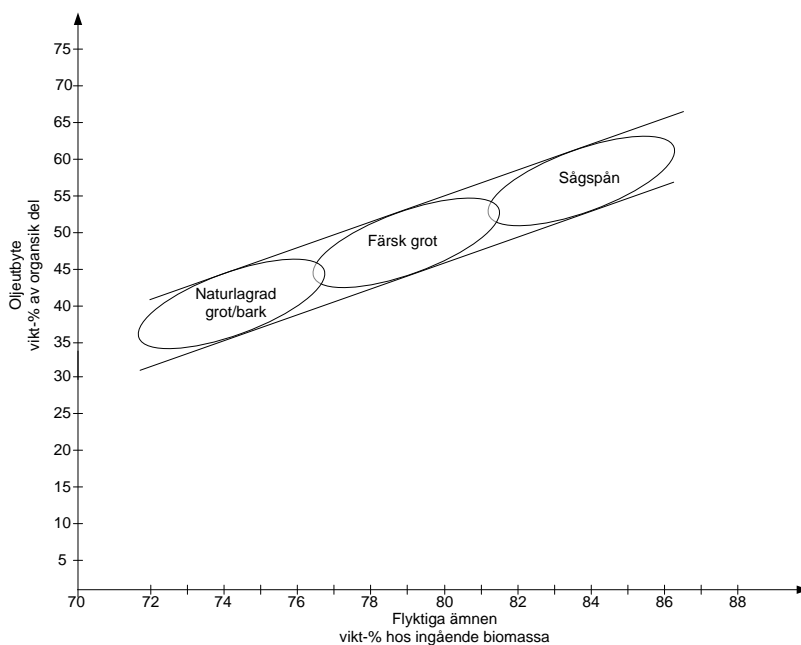
<sup>83</sup> Yrjö Solantausta, VTT, 2012-08-13

förbränning. En principiell bild över TGA-test går att se i Figur 19. I TGA-testet framgår andelen flyktiga ämnen och askhalten för den testade biomassan.



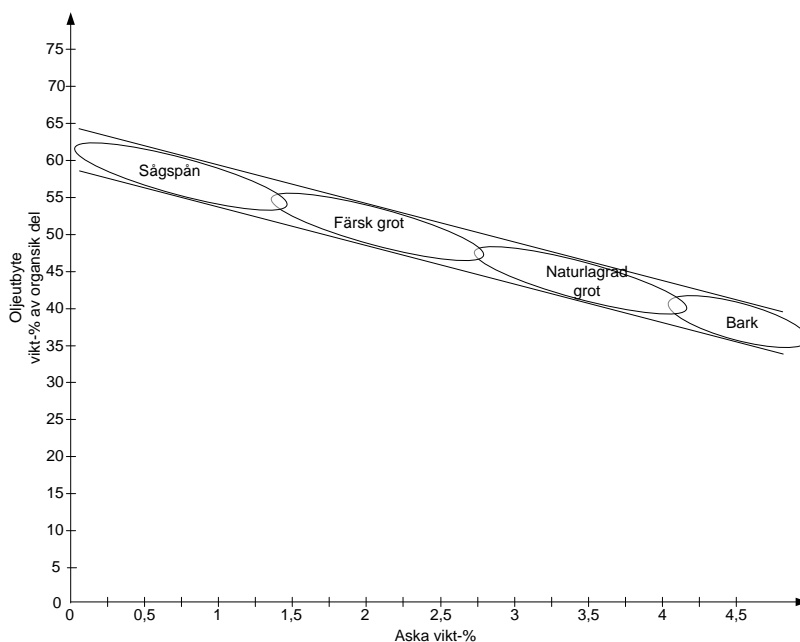
Figur 19 Principiell bild över ett TGA-test <sup>84</sup>

Det praktiska utbytet av pyrolysolja, exklusive vatten, för olika typer av biomassa har visat sig korrelera med andelen flyktiga ämnen och askhalten i olika typer av biomassa. Även för biomassans askhalt och utbyte av pyrolysolja föreligger det en korrelation. Hur andelen flyktiga ämnen och askhalt i biomassan korrelerar med utbytet av pyrolysolja går att se i Figur 20 och Figur 21.



Figur 20 Principiell bild över biomassans utbyte av pyrolysolja, exklusive vatten, i förhållande till andelen extraktiva ämnen i biomassan <sup>85 86</sup>

<sup>84</sup> Definition of a standard biomass; Forschungszentrum Karlsruhe; [http://www.renew-fuel.com/download.php?dl=del\\_sp2\\_wp1\\_2-1-1\\_05-01-10-fzk.pdf&kat=13](http://www.renew-fuel.com/download.php?dl=del_sp2_wp1_2-1-1_05-01-10-fzk.pdf&kat=13); 2004



**Figur 21** Principiell bild över biomassans utbyte av pyrolysolja, exklusive vatten, i förhållande till andelen extraktivännen i biomassan<sup>87, 88</sup>

Askans påverkan på utbytet ligger i innehållet av alkalimetaller, så som natrium och kalium, som katalyserar kemiska reaktioner under pyrolysen, varvid en större andel vatten- och gasfraktion bildas. Ökande askhalt får därmed som följd att den totala konverteringen från biomassa till pyrolysolja minskar. Korrelationen mellan askhalt och utbyte till pyrolysolja gäller främst för askor rika på natrium och kalium, och askor med t.ex mycket nickel så som halm avviker därför från denna trend.

Sågspån har lägst askhalt, färsk GROT något högre medan lagrad GROT och bark har relativt höga askhalter som resulterar i uppemot 20 procentenheters lägre konvertering från biomassa till organiska ämnen i vätskefas jämfört med sågspån. Askhalterna varierar även inom träslag, men inte lika mycket.<sup>89</sup>

Tester i större demonstrationsanläggningar i Finland indikerar att pyrolysoljor därifrån har lägre utbyte till organisk vätska jämfört med mindre labbskalanläggningar. Förklaringen till detta kan ligga i att alkalimetaller ackumuleras i demonstrationsanläggningens sandbädd, vilket leder till ökade katalyserande effekter.

### 4.3 Pyrolysoljans användningsområden

Pyrolysoljan har potential till att användas inom en mängd olika områden. Tänkt användningsområden kan exempelvis vara:

- Värmeverk – Bioolja används idag i stor utsträckning till spetsvärme vintertid där biooljor av stort varierande kvalitet eldas. Intresset för en mer homogen olja att elda är stort.
- Industriella applikationer – Där idag eldningsolja används kan pyrolysolja på sikt användas som miljövänligt substitut.
- Elproduktion – Användning vid idag oljeeldade kraftverk för spets och reservkraft eller som reglerkraft för vindkraft.

<sup>85</sup> Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues; A. Oasmaa et al. Energy & Fuels; 2009

<sup>86</sup> Hemsida; Database for biomass and waste; ECN; <http://www.ecn.nl/phyllis2/>; 2012

<sup>87</sup> Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues; A. Oasmaa et al. Energy & Fuels; 2009

<sup>88</sup> Fast pyrolysis technology development; RH. Venderbosch et al.; Biofpr; 2009

<sup>89</sup> Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues; A. Oasmaa et al. Energy & Fuels; 2009

- Gasturbiner – Som bränsle i gasturbiner. Det holländska bolaget OPRA har tagit fram en design av gasturbin till pyrolysolja.
- Förgasningsanläggningar – Förgasningsanläggningar förgasar biomassa till syntesgas och byggs i mycket stora anläggningar i närheten av städer. En lätthanterlig olja har potential att minska logistikproblemen kopplade till anförskaffning av biomassa.
- Raffinaderier – Pyrolysolja anses ha potential att hydreras och gå in i existerande raffinaderier och kan därigenom tjäna som råvara till fordonsbränsleindustrin.
- Kemikalier – De många olika ämnena i pyrolysolja kan ligga till grund för utvinning av olika kemikalier.

#### 4.3.1 Ersättning av biooljor

Biooljor är vanliga ersättare till fossila oljor i svenska värmeanläggningar och står idag för en majoritet av oljeförbrukningen i dessa. Oljepannorna används vanligen som bränsle i spets- och reservkraftanläggningar men i vissa fall som baskraft.<sup>90</sup>

Tillgängligheten av bioolja är en stor begränsande faktor för dess användning. Många oljor baseras på restprodukter från annan produktion eller så tillverkas oljorna i mindre anläggningar med begränsad råvarutillgång. Även oljor från etiskt tveksamma framställningsmetoder finns men undviks oftast då kunderna inte vill bidra till exempelvis skövling av regnskog.<sup>91</sup>

Tekniskt är biooljor svårare att hantera än fossila oljor och kräver ofta att anläggningen uppgraderas till syrafasta pumpar, rör och brännarmunstycken. Dess lagringskapacitet är begränsad på grund av kemisk nedbrytning i form av oxidation vilket gör att många leverantörer rekommenderar lagerhållning på under två år. Många biooljor behöver värmehållning för att inte stelna, till följd av sin höga fryspunkt. De billigare oljorna kan kräva att rökgasrening i form av elektrofilter installeras för att tillgodose miljökraven på utsläpp av stoft och NO<sub>x</sub>. Driften av anläggningen kräver kontinuerliga justeringar på grund av varierande energinnehåll men är i övrigt likvärdig med fossil olja.

De redan gjorda tekniska ändringarna av biooljeeldade anläggningar medför att dessa lämpar sig väl för användning av pyrolysolja. Endast brännare anses vara nödvändiga att byta i anläggningar som redan eldar bioolja.<sup>92</sup>

#### 4.3.2 Ersättning av fossila eldningsoljor

Pyrolysoljan kan ersätta fossil eldningsolja i många applikationer. De användningsområden som anses ligga närmast realisering, och som är mest intressant ur systemperspektiv i Sverige är eldnings av pyrolysolja i industriella applikationer, värmeproduktion respektive spets- och reservkraftsproduktion.

##### EO 2-5

De tyngre eldningsoljorna klassade EO 2-5 kan ersättas med pyrolysolja direkt från produktionsanläggningar utan någon form av efterbehandling. Ask- och solidhalten i pyrolysoljan bestämmer vilken kategori den lämpligast ersätter. Innan gängse standarder är upprättade och innan en marknad med utbytbara produkter är på plats bör producenter och användare stämma av vilka kvalitéer som ska levereras.<sup>93</sup>

<sup>90</sup> Hemsida; Pressmedelände Svebio; <http://www.svebio.se/svebionytt/mer-bioolja-fossil-olja-i-den-svenska-fjarvarmen>; 2013

<sup>91</sup> Värmeforsk rapport 1132 "Flytande biobränslen för el- och värmeproduktion"; Anna-Maria Sandgren; 2010

<sup>92</sup> Kari Palo; Oilon Oy; 2012-09-12

<sup>93</sup> Seth Bergström; Honeywell; 2012-10-17

## EO 1

Pyrolysoljan borde även kunna ersätta den lätta eldningsoljan EO 1 om askhalterna är låga.<sup>94</sup> För att producera en pyrolysolja med låg askhalt kan en produktionsanläggning där råvaran håller en låg askhalt vara aktuell, ex sågspån. Om sämre råvara används skulle anläggningen kunna driftoptimeras mot låga askhalter eller efterrening av olja användas.

## Diesel

För att kunna ersätta diesel i applikationer för motorbaserad kraftproduktion och sjöfartsmotorer krävs att pyrolysoljan uppgraderas. Uppgradering sker genom hydrogenering, tillsätts av väte vid speciella anläggningar. De anläggningarna som finns idag är bara för forskning- och demonstration.

## Fossiloljeeldade pannor

Inom svensk industri används fossil eldningsolja ofta inom processer där höga temperaturer är nödvändiga. Exempel på sådana processer är mesaugnar i massabruk, smältugnar i glasbruk och brännugnar inom kalk- och stenindustrin.

Pannor som är eldade med fossila oljor kan konverteras till eldning av pyrolysolja genom utbyte av rör, pumpar och brännare samt genom invändig ytbehandling av lagringstankar.

## Mesaugnar

Det fungerar att elda pyrolysolja i mesaugnar, och utsläppen av CO, SO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> liknar de för naturgas. Bland annat har tester utförts vid University of British Columbia i Kanada.<sup>95</sup> Test har även skett på fullskaliga mesaugnar där det visat sig att oljan är möjlig att bränna, utan mekaniska ändringar, med resultat i linje med naturgaseldning som följd.<sup>96</sup>

Användning av biomassa, så som pellets och sågspån, är möjlig i mesaugnar men kräver ofta tekniska ombyggnationer i torkningssystem, kvarnar etc. Tillgängligheten på dessa är generellt omkring 60-80 %.<sup>97</sup>

### 4.3.3 Förgasning

Förgasning av pyrolysolja är tekniskt möjlig och har testats på bland annat på KIT i Karlsruhe och ETC i Piteå, i båda fallen med en entrained flow-förgasare.<sup>98</sup> <sup>99</sup>I en entrained flow-förgasare sker förgasningen under tryck, vilket betyder att den använda råvaran måste trycksättas innan den går in i förbränningskammaren, något som är möjligt med pyrolysolja. Den trycksatta förgasningen har fördelar i att den bland annat ger upphov till låga tjärkoncentrationer, vilket underlättar för efterföljande reningssteg.<sup>100</sup>

Dock anses det på sikt vara svårt att förgasa pyrolysolja ur ekonomisk synvinkel, då kostnaden för råvaran är en ansenlig del av den totala kostnaden för förgasning.

## 4.4 Konvertering av brännarsystem

Användning av pyrolysolja i värmelanläggningar har inte skett i större skala och långa drifterfarenheter från eldning av pyrolysolja finns således inte tillgängliga.

<sup>94</sup> Henrik Wiinikka; ETC; 2012-10-29

<sup>95</sup> Current Status of Alternative Fuel Use in Lime Kilns; Sabrina Francey et al.; University of Toronto; 2008

<sup>96</sup> European Market Study for BioOil (Pyrolysis Oil); Doug Bradley;

[http://www.unecefaoiufro.lsu.edu/biofuels/documents/2007July/SRN\\_009.pdf](http://www.unecefaoiufro.lsu.edu/biofuels/documents/2007July/SRN_009.pdf); 2006

<sup>97</sup> Värmeforsk Rapport 1040 "Konvertering av mesaugnar från olje- till bibränsleeldning – drifterfarenheter och modellering"; Rickard Wadsborn et al; 2007

<sup>98</sup> Olov Öhrman; ETC; 2012-10

<sup>99</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-07-27

<sup>100</sup> Entrained Flow Gasification of Bio-Oil for Syngas; R.H. Venderbosch et al.; Handbook Biomass Gasification; 2012

Mycket av forskningen som gjorts på området förbränning av pyrolysolja har fokuserat på brännarmunstycken och konstruktionen av dessa för att uppnå förbränning med önskad droppstorlek, men med minskade risker för igensättning till följd av koks bildning. De flesta testerna som gjorts tyder dock på att det är möjligt att förbränna pyrolysolja med godtagbara egenskaper i brännarmunstyckena. Vidare visar tester på att supportbränsle ofta är nödvändigt för att uppnå en stabil förbränning av oljan. De tester som gjorts på förbränning av pyrolysolja har ofta även använt sig av uppvärmning av pyrolysoljan för att minska dess viskositet.<sup>101</sup>

#### 4.4.1 Konvertering av brännare

Flera företag har även låtit utföra tester på pannor, bränslesystem och brännare för att undersöka pyrolysoljans påverkan på dessa:

- Stork Technical Services har i samarbete med BTG-BTL utfört test med pyrolysolja från pilotanläggningen i Enschede
- Oilon Oy har utfört en rad tester tillsammans med VTT och Metso.

##### Stork Technical Services

BTG-BTLs tester i samarbete med Stork Technical Services krävde exempelvis sameldning av naturgas, motsvarande cirka 20 % av det totala energiflödet. I testerna observerades även lägre temperaturer på flaman, till följd av pyrolysoljans låga värmevärde och höga vatteninnehåll. Stork menar efter testerna att de kan konstruera brännare för pyrolysolja i storleksordningarna 5-100 MW termisk effekt.<sup>102</sup>

Andelen supportbränsle mellan 15-20 % av ingående bränsle som behövs beror enligt Stork på andelen vatten i den ingående pyrolysoljan. Supportbränslet eldas i ett separat brännarmunstycke i fallet olja eller gas, eller kan blandas med pyrolysoljan i brännaren om egenskaperna för supportbränslet är de rätta. Anledningen till användning av supportbränsle är att pyrolysolja har svårt att antända, och att supportbränslet därmed ger en stabilare flamma.<sup>103</sup>

##### Oilon Oy

Oilon Oy är ett finskt företag som även levererar brännare för pyrolysolja och har testat förbränning av densamma i industriell skala. Till skillnad från Stork Technical Services så kräver inte Oilon supportbränsle, beroende på skillnader i teknik. Oilon kan leverera i brännare i storlekarna 1-60 MW.

Brännare för pyrolysolja, inklusive monteringskostnader, medför en kostnad kring cirka 250 000 € för en brännare på 25 MW effekt. Oilon har redan idag levererat en brännare på en effekt på 12 MW för förbränning av pyrolysolja för 175 000 €. <sup>104 105</sup>

#### 4.4.2 Konvertering av rör, pumpar och tankar

För integrering av pyrolysolja i en oljepanna eldad med konventionell olja krävs ombyggnationer till syrafasta material i rör, tankar och brännare. Även pumpar som inte är självmörjande behöver bytas.

---

<sup>101</sup> Pyrolysis oil combustion characteristics and exhaust emissions in a swirl-stabilized flame; Derek Wissmiller; Iowa State University; 2009

<sup>102</sup> Combustion of pyrolysis oil in a 9 MWth water tube boiler; BTG-BTL; <http://www.btg-btl.com/uploads/documents/Stork%20TS%20pyrolysis%20oil%20burner%20tests.pdf>

<sup>103</sup> Maarten Rinket; Stork Technical Services; 2012-09-12

<sup>104</sup> Kari Palo; Oilon Oy; 2012-09-12

<sup>105</sup> Maarten Rinket; Stork Technical Services; 2012-09-12

I svenska befintliga biooljeeldade värmeanläggningar där rör och tankar redan idag är utformade i rostfritt eller syrabeständigt material är integrering av pyrolysolja ingen källa till större tekniska problem. Vid konverterade biooljeeldade pannor är oftast rör och pumpar utbytta, varför endast brännare återstår.

## 5 Fallstudier – Produktion

I detta avsnitt behandlas olika fallstudierna för produktion av pyrolysolja. De olika fall som studerats är:

- Fristående pyrolysanläggning
- Pyrolysanläggning integrerad med massabruk
- Pyrolysanläggning integrerad med kraftvärmeverk

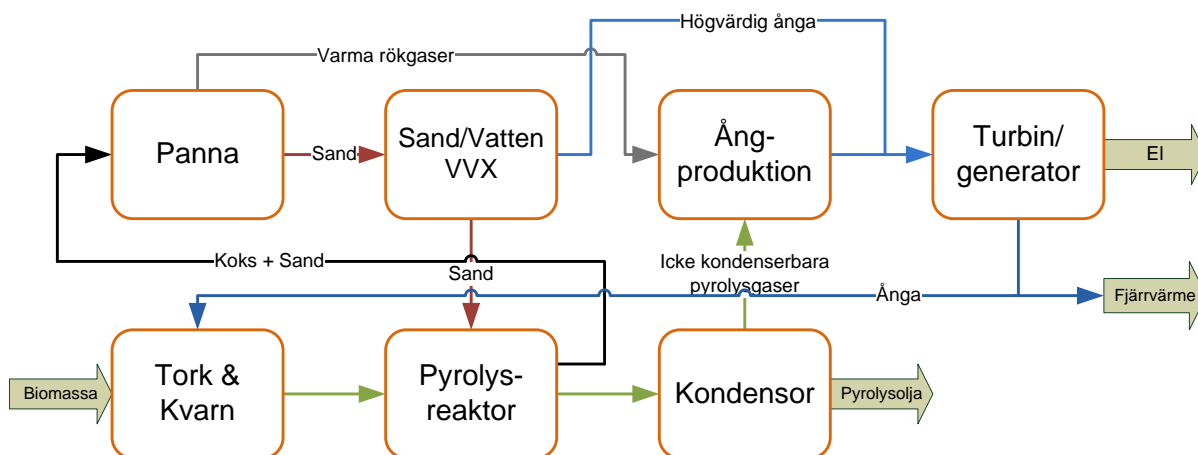
I jämförelsen mellan integration med massabruk och kraftvärmeverk har vi jämfört de tre leverantörerna BTG-BTL, Metso och Envergent. För den fristående anläggningen har endast BTG-BTLs anläggning tagits med för analys, då Metso och Envergent inte erbjuder någon sådan lösning.

### 5.1 Fristående anläggning

Inom branschen för pyrolysolja är flera överens om att olika former av integreringar är nödvändiga för att produktion av pyrolysolja ska vara lönsam. BTG-BTL levererar dock fristående anläggningar för produktion av pyrolysolja.

#### 5.1.1 Fall: BTG-BTL – Fristående anläggning

En fristående produktionsanläggning för pyrolysolja levererad av BTG-BTL med en storlek motsvarande 15 MW pyrolysolja analyseras. En liknande anläggning har skisserats av BTG-BTL som demonstrationsanläggning i kommersiell skala i Hengelo, Nederländerna. Flödesskiss över BTG-BTLs fristående anläggning går att se i Figur 22.



Figur 22 Pyrolysoljeproduktion i fristående produktionsanläggning levererad av BTG-BTL

I den fristående anläggningen eldas den producerade koksen i en förbränningskammare, här kallad koksbrännare. De varma rökgaserna, värmen från sandvärmväxlaren samt de icke kondenserbara gaserna används för ångproduktion. Ångan leds genom turbin för elproduktion och den lågvärdiga ångan används i första hand i torken och överbliven ånga avsätts i fjärrvärmenätet. Ångproduktionen antas ske med en totalverkningsgrad på 80 % och elverkningsgraden antas vara 20 %.

### 5.2 Integrering med kraftvärmeverk

För integrering med kraftvärmeverk har pyrolysanläggningar om 30 MW olja valts för att passa en integration med en 100 MW flispanna. Både koksen och de icke kondenserbara gaserna används för ångproduktion i den befintliga pannan. För värmeförsörjning till torken används vid behov den varma sidan av fjärrvärmenätet.



### 5.2.1 Påverkan på driftsäsong

Det är svårt att generellt avgöra hur en pyrolysanläggning skulle inverka på en fluidbäddspannas driftsäsong. Detta eftersom många anläggnings-specifika betingelser spelar in då pyrolysanläggningen både konsumerar och levererar energi. Huruvida den ökade ångproduktionen av restprodukterna väger upp den ökade fjärrvärmekonsumtionen i torken beror bland annat av utbytet biprodukter/pyrolysolja, fukthalten i råvaran, utetemperaturen, alfavärdet för pannan etc.

Det som begränsar hur låg delast en fluidbäddspanna kan köra är temperaturen i sandbädden. Blir temperaturen för låg kommer förbränningen att bli ofullständig och miljövärdena dåliga.<sup>106</sup> Ett torrare bränsle, exempelvis koks, skulle kunna hjälpa till att höja bäddtemperaturen.

I Envergents och BTG-BTLs anläggningar beror påverkan på driftsäsongen av två saker; tillförsel av energi från koksförbränning och konsumtion av fjärrvärme i torken. För dessa anläggningar bränns koksen i en separat brännkammare och energin tillförs i form av varma rökgaser till konvektionsdelen av pannan eller via en separat ångpanna direkt till ångsystemet i kraftvärmeverket. Därmed produceras mer ånga i kraftvärmeanläggningen varför behovet av tillfört bränsle till sandbädden minskar och således kan temperaturen i bädden vara svår att hålla upp vid låga laster. Detta verkar förkortande på kraftvärmeanläggningens driftsäsong. Samtidigt konsumerar torkarna i dessa anläggningar energi i form av konsumtion av fjärrvärme, vilket verkar förlängande på driftsäsongen.

Metsos teknik innebär att koksen förbränns i kraftvärmeverkets egen panna där den tränger undan användningen av flis. Koks är ett torrare och energirikare bränsle vilket höjer bäddtemperaturen och verkar förlängande på driftsäsongen. Samtidigt avskiljs varm sand från bädden till pyrolyprocessen och återförs något avkyld vilket förkortar driftsäsongen. Torken använder spillvärmens från processen men även fjärrvärme och bidrar också till en ökad driftsäsong. Den sammanlagda effekten är svår att avgöra och vid samtal med Metso medger de att inga generella slutsatser kan dras, utan resultatet kommer variera mellan olika anläggningar.<sup>107</sup>

### 5.2.2 Storleksbegränsning hos fluidiserande pannor

#### Metso

Metsos pyrolysanläggningar baseras på en integration med en fluidiserande panna i form av en BFB eller en CFB, där storleken på pyrolysanläggningen begränsas av storleken på pannan. Begränsningen i kapacitet ligger i att koksen som återförs till pannan har andra bränsleegenskaper än flis och avfall som är vanliga vid svenska kraftvärmeanläggningar.

Stor andel koks ändrar energibalansen i pannan med svåranalyserade konsekvenser som följd. Bedömningar måste således göras från fall till fall. Dock kan dubbel storlek på den integrerade fluidbäddspannan gentemot pyrolysanläggning, bränsleinmatning mätt, anses vara ett lämpligt riktvärde, även om distinkta gränser är svåra att dra.<sup>108</sup>

#### BTG-BTL och Envergent

BTG-BTLs och Envergents pyrolysanläggningar går inte att integrera med ett kraftvärmeverks fluidbäddspanna på samma sätt som för Metsos teknik. Detta då deras anläggningar levereras med en integrerad koksbrännare där koksen förbränns och sanden värms. Därifrån leds sedan rökgas till en separat ångpanna. Detta system för koksförbränning öppnar däremot upp för en integration där de varma

<sup>106</sup> Björn Ånholm; Eskilstuna Energi & Miljö; 2012-10-31

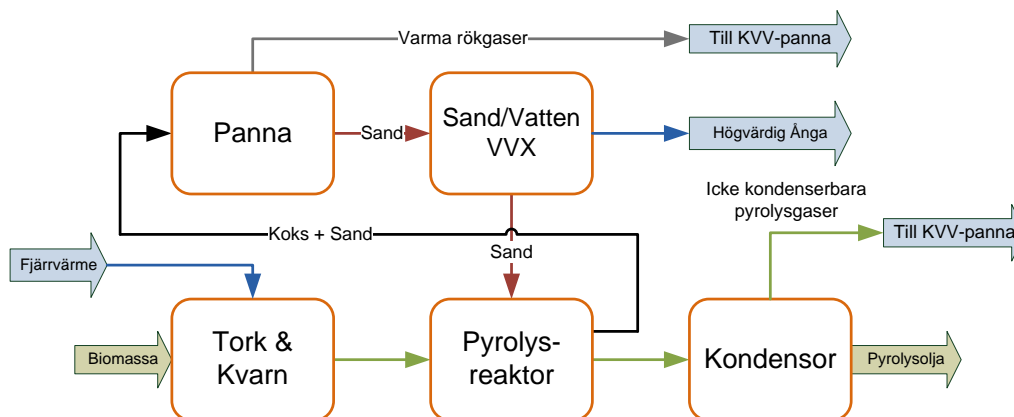
<sup>107</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-10

<sup>108</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-08-14

rökgaserna leds in ovanför eldstaden och innan rökgasöverhettarna i en idag befintlig panna. Även här begränsas naturligtvis pyrolysanläggningen av kraftvärmeverkets storlek.<sup>109</sup>

### 5.2.3 Fall: BTG-BTL – kraftvärmeverk

Flödesskiss över den med kraftvärmeverk integrerade pyrolysanläggningen från BTG-BTL framgår av Figur 23.

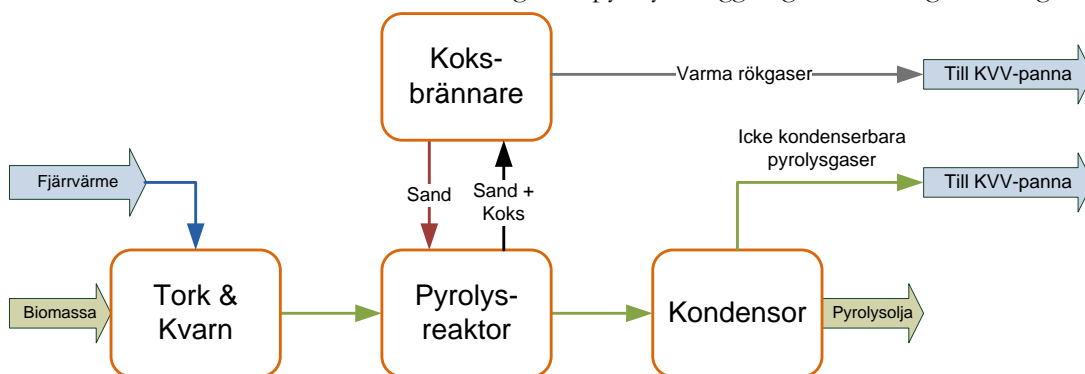


Figur 23 Pyrolysoljeproduktion i anläggning levererad av BTG-BTL integrerad med kraftvärmeverk

Två parallella moduler av BTG-BTL standardstorlek används med en kapacitet på totalt 10 ton torr råvara i timmen motsvarande 30 MW pyrolysoljeproduktion. Koksen eldas i den egna koksbrännaren och de varma rökgaserna leds till den befintliga pannan för ångproduktion. Rökgaserna kopplas in i kraftvärmeverket strax ovanför eldstaden men under de första överhettarna. De icke kondenserbara gaserna eldas direkt i den befintlig pannan. Sandvärmväxlaren används för ångöverhettning.

### 5.2.4 Fall: Envergent – kraftvärmeverk

Flödesskiss över en med kraftvärmeverk integrerad pyrolysanläggning från Envergent framgår av Figur 24.



Figur 24 Pyrolysoljeproduktion i anläggning levererad av Envergent integrerad med kraftvärmeverk

Integreringen utgår från en anläggning med specificerad storlek om 200 ton torr biomassa per dag. För att harmonisera fallet med BTG-BTLs och Metsos anläggningar för kraftvärmeverk så antas en matningshastighet på 240 ton torr biomassa per dag, vilket motsvarar cirka 30 MW produktion av pyrolysolja.

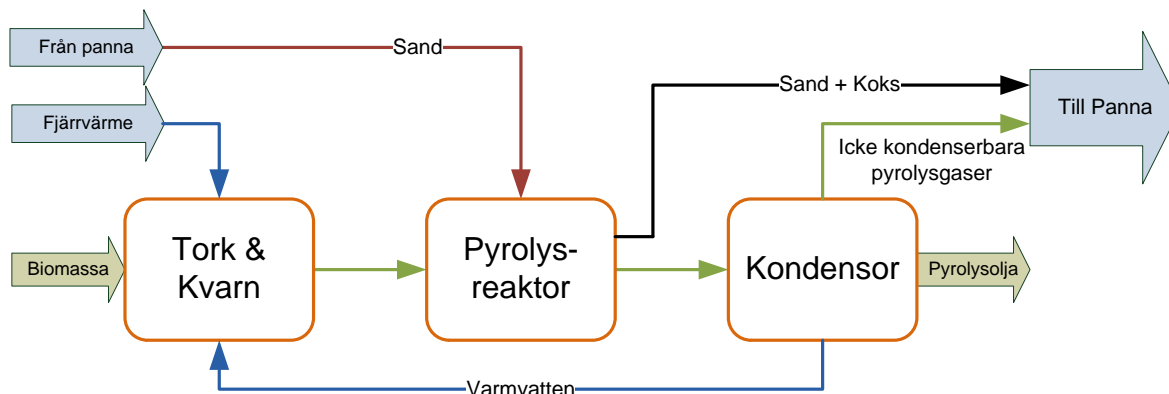
Biomassan torkas i en bandtork matad med värme från fjärrvärmenätet. Koksen eldas i egna koksbrännaren och de varma rökgaserna leds in i kraftvärmeverket ovanför eldstaden och under

<sup>109</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-07-27

överhettarna för att nyttgöras i kraftvärmeverkets ångsystem. De icke kondenserbara gaser eldas direkt i den befintliga pannan.

### 5.2.5 Fall: Metso – kraftvärmeverk

Flödesskiss över en med kraftvärmeverk integrerade pyrolysanläggning från Metso framgår av Figur 25.



Figur 25 Pyrolysoljeproduktion i anläggning levererad av Metso integrerad med kraftvärmeverk

Integreringen utgår från Metsos koncept för integrering med befintliga fluidiserande pannor där sanden i pannan används direkt i reaktorn. En reaktor byggs med kapacitet för 30 MW oljeproduktion. Koksen förs tillbaka till pannan där den förbränns i sandbädden. De icke kondenserbara gaserna eldas direkt i pannan. Kondensorkylvattnet används i torken och extra värmebehov tas från fjärrvärmenätet.

### 5.3 Integrering med massabruk

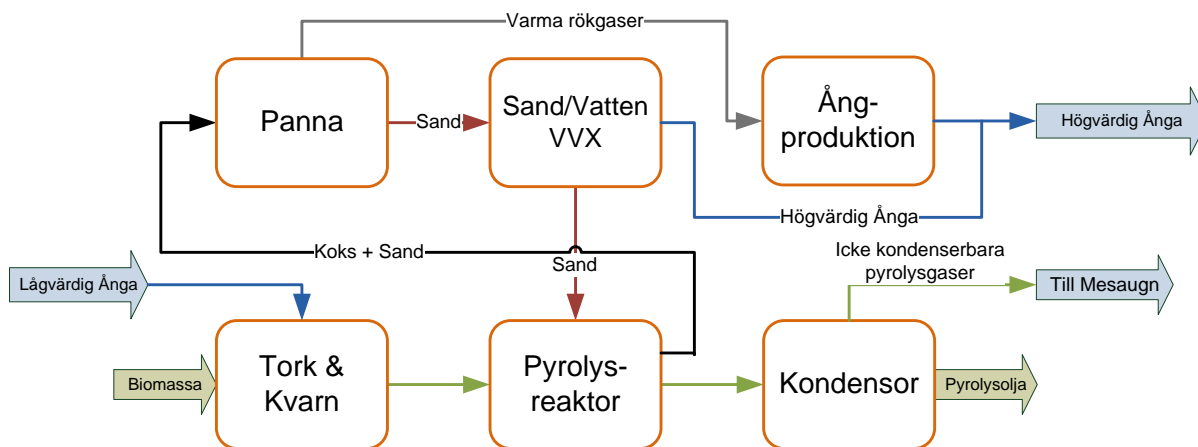
Integrering vid massabruk sker med en pyrolysanläggning i storlek motsvarande 60 MW pyrolysoljeproduktion. Integreringen sker vid kemiska massabruk, där det antas att de icke kondenserbara gaserna används i mesaugnen där de ersätter fossil olja. Den högvärdiga ångan producerad av koksen antas kopplas till befintligt ångsystem för användning i bruket och elproduktion. Värmen till torken tas från lågvärdiga restflöden på bruket. Dessa flöden är inte alltid uppenbara i de komplexa ångsystem som utgör ett massabruk. Metso som även är tillverkare av massatillverkningsutrustning hävdar att det oftast finns restflöden men att de är svåra att identifiera.<sup>110</sup>

Storleken på pyrolysanläggningen gör integration med befintlig fluidiserande panna enligt Metsos modell svår. För CFB reaktorer skulle det krävas en panna på uppemot 200 MW vilket är större än många pannor vid massabruken idag. För Envergent och BTG-BTL innebär det att den befintliga pannan skulle ta emot cirka 15 MW rökgaser. Då 15 MW sannolikt skulle påverka det befintliga systemet mer än på marginalen antas det därför att nya pannor för ångproduktion byggs till anläggningarna integrerade med massabruk.

<sup>110</sup> Möte med Metso Power Oy; 2012-08-14

### 5.3.1 Fall: BTG-BTL – massabruk

Flödesskiss över den med massabruk integrerade pyrolysanläggningen från BTG-BTL framgår av Figur 26.

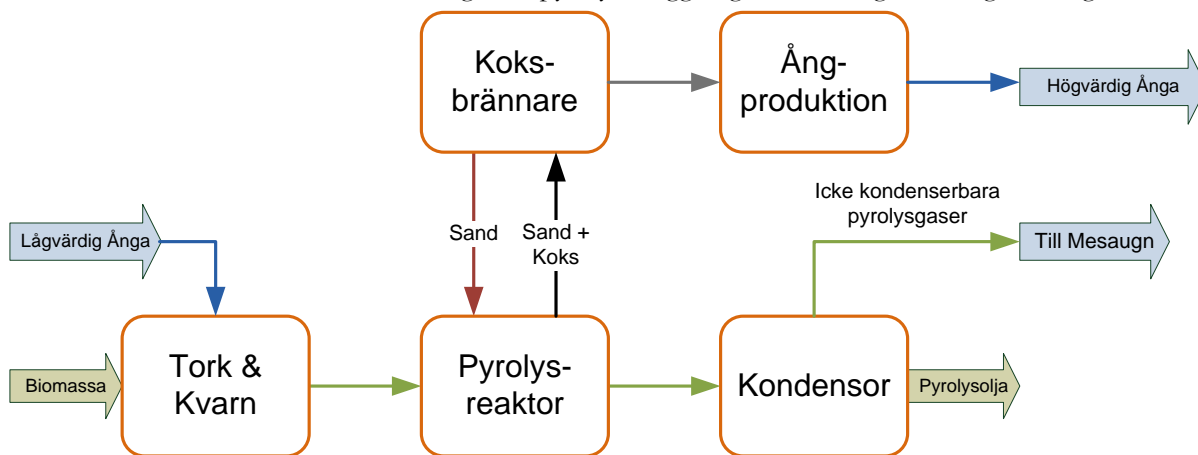


Figur 26 Pyrolysoljeproduktion i anläggning levererad av BTG-BTL integrerad med massabruk

Två parallella dubbla modulsystem används med en total kapacitet om 20 ton torr biomassa per timma vilket motsvara cirka 60 MW pyrolysolja. Kokspanna tillsammans med sandvärmväxlare producerar högvärdig ånga som matas till bruket. Värmen från oljekondensorn kyls bort. Lågvärdig ånga från bruket är det enda värmeflödet till torken.

### 5.3.2 Fall: Envergent – massabruk

Flödesskiss över en med massabruk integrerad pyrolysanläggning från Envergent framgår av Figur 27.



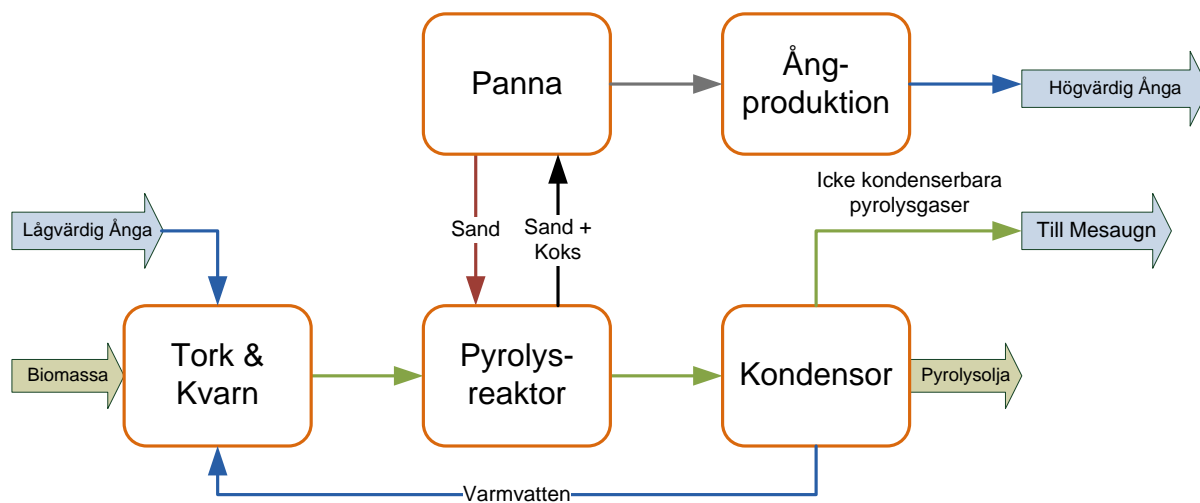
Figur 27 Pyrolysoljeproduktion i anläggning levererad av Envergent integrerad med massabruk

Integreringen utgår från en anläggning med specificerad storlek 400 ton torr biomassa per dag. För att harmonisera fallet med BTG-BTLs och Metsos anläggningar för massabruk antas en matningshastighet på 480 ton torr biomassa per dag, vilket motsvarar cirka 60 MW pyrolysoljeproduktion.

Biomassan torkas i en bandtork matad med lågvärdig ånga från bruket. Koksen eldas i den egna koksbrännaren och de varma rökgaserna leds till en ny ångpanna som producerar högvärdig ånga som levereras till bruket.

### 5.3.3 Fall: Metso – massabruk

Flödesskiss över den med massabruk integrerade pyrolysanläggningen från Metso framgår av Figur 28.



Figur 28 Pyrolysoljeproduktion i anläggning levererad av Metso integrerad med massabruk

En reaktor med kapacitet för produktion av 60 MW pyrolysolja byggs tillsammans med en ny fluidbäddspanna för både koksförbränning och ångproduktion. Ångan matas in i brukets befintliga ångsystem. Energin tillförd reaktorn via den varma sanden återfås som lågvärdig värme i kondensorkylvattnet. Metsos teknik medger att kylvärmern kan tas tillvara i torken. Vid blöt råvara spetsas torken med lågvärdig ånga från bruket.

## 6 Fallstudier – oljans produktionskostnad

### 6.1 Parametrar för modell

#### 6.1.1 Investeringskostnader, kalkylvariabler, driftparametrar och priser

Investeringskostnaderna för anläggningarna i de olika integreringsfallen framgår av Tabell 7 där kostnaderna grundas på uppgifter lämnade av de tre leverantörerna av teknik för pyrolysoljeframställning.

**Tabell 7** Investeringskostnader för de olika integreringsalternativen, grundade på leverantörernas uppgifter.<sup>111, 112, 113</sup>

	<b>Fristående anläggning</b>	<b>Kraftvärmeverk</b>			<b>Massabruk</b>			
	BTG-BTL	BTG-BTL	Envergent	Metso	BTG-BTL	Envergent	Metso	
Bränslehantering, tork och malning	22	29	30	30	54	54	54	MSEK
Pyrolysoaktor, kondenseringssteg, råvaruinmatning, oljehantering och styrsystem	72	122	270	162	270	315	252	MSEK
Panna, ångsystem, ev. turbin	35	17	17	4	81	81	234	MSEK
Konstruktionsarbete, konsultkostnader, drifttagande och integrationsarbete	47	66	104	77	101	153	135	MSEK
<b>Total investering</b>	<b>176</b>	<b>234</b>	<b>420</b>	<b>272</b>	<b>506</b>	<b>603</b>	<b>675</b>	<b>MSEK</b>
Påslag oförutsett 20 %	35	47	84	54	101	121	135	MSEK
<b>Total investering inklusive påslag 20 %</b>	<b>211</b>	<b>281</b>	<b>504</b>	<b>326</b>	<b>607</b>	<b>724</b>	<b>810</b>	<b>MSEK</b>

Pyrolysoaktorn med tillhörande utrustning har den högsta investeringskostnaden. Dock tillkommer ofta stora kostnader för konstruktionsarbete och projektering. I fallet där Metsos anläggning integreras med massabruk tillkommer även en stor kostnad för byggnation av ny fluidbäddspanna till koksen. För de kostnader som inte har erhållits uppgift om har dessa antagits ligga i linje med dem för andra teknikleverantörer, hänsyn tagen till storlek och kapacitet.

Ingen kommersiell anläggning är byggd idag vilket ger en osäkerhet i investeringskostnaderna. För att räkna med riskerna görs ett påslag om 20 % på de erhållna siffrorna. Övriga kalkylvariabler som ligger till grund till prisanalyserna går att se i Tabell 8.

**Tabell 8** Kalkylvariabler vid prisanalys av pyrolysolja

<b>Kalkylvariabler</b>		
Underhållskostnad	4,5	% av maskininvestering
Kalkylränta	6	%
Påslag oväntade kostnader	20	% av total investering
Avskrivningstid	15	år
Växelkurs SEK-€	9	kr/€

<sup>111</sup> Ardy Toussaint; BTG-BTL; 2012-08-01

<sup>112</sup> Seth Bergström; Honeywell; 2012-10

<sup>113</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-08

De olika integreringsfallen har även specifika driftparametrar. Driftparametrarna som ligger till grund för de olika integreringsalternativen visas i Tabell 9.

**Tabell 9 Driftparametrar för de olika integreringsalternativen**

	<b>Fristående anläggning</b>	<b>Kraftvärmeverk</b>			<b>Massabruk</b>			
	BTG-BTL	BTG-BTL	Envergent	Metso	BTG-BTL	Envergent	Metso	
Personal	14			5			10	Manår
Elanvändning	0,6	1,2	1,0	1,2	2,4	2,5	2,5	MW
Drifttid	7800			7000			8400	h/år
Förbrukningsvaror	200			250			350	kr/h

Den högre personaltätheten på den fristående anläggningen kan härledas till att inga synergieffekter med personal kan ske vid någon del av anläggningen, samtidigt som alla typer av pyrolysanläggningar kräver konstant övervakning. I de andra fallen har det antagits möjligt att uppnå synergieffekter med bland annat driftpersonal, personal för råvaruhantering etc. Även drifttiden varierar vid de olika integreringsalternativen.

Utöver anläggningsspecifika driftparametrar påverkas den slutliga kostnaden för produktion av pyrolysolja av priser på råvaror, arbete och produkter. De använda priserna försöker täcka den allmänna prisbilden i Sverige, där variationer normalt förekommer mellan geografiska områden och industrier. Priser använda till prissättning av driftkostnader och energiflöden visas i Tabell 10.

**Tabell 10 Priser på driftvariabler vid prisanalys av pyrolysolja**

<b>Priser</b>		
El	450	kr/MWh
Skogsflis	200	kr/MWh
Manår	450 000	kr/manår
Fjärrvärme, internpris kraftvärmeverk	200	kr/MWh
Högvärdig ånga till kraftvärmeverk	250	kr/MWh
Lågvärdig värme från massaindustri (70°C)	100	kr/MWh
Högvärdig ånga till massaindustri	200	kr/MWh
Icke kondenserbara pyrolysgaser till mesagn	500	kr/MWh
Askhantering <sup>114</sup>	1000	kr/ton

Fossil olja som idag används i mesagnar kostar omkring 500 kr/MWh inklusive kostnader för utsläppsrätter. Vidare prissätts lågvärdig ånga vid massabruken till 100 kr/MWh då tillgången på denna bedöms vara god.<sup>115</sup>

Vidare kan ångproduktionen på marginalen anses vara billig, varvid högvärdig ånga levererad till ett massabruk prissätts i linje med marginalkostnaden för ångproduktion, dvs. motsvarande flispriset på 200 kr/MWh.

<sup>114</sup> Reining av flygaska; Birgitta Strömberg; Forskning och Utveckling 2004:7, Svensk Fjärrvärme

<sup>115</sup> Möte med Metso Power Oy, 2012-08-14

För ett kraftvärmeverk anses produktionen av högvärdig ånga var dyrare att framställa och prissätts därför 25 % högre, 250 kr/MWh. Internpriset på fjärrvärme sätts till bränslekostnaden, 200 kr/MWh.

### 6.1.2 Råvara och utbyte

Utbytet av pyrolysolja beror till stor del av råvaran men även till viss del på anläggningen. Skillnaden mellan olika tekniker och leverantörer är idag svår att fastställa. Ingen har idag en kommersiell anläggning att ta erfarenheter från och alla leverantörer har varit oerhört restriktiva med information om utbytet. I denna studie används istället siffror från VTT och alla anläggningar antas ge samma utbyte.

För analys av produktionskostnaden används flertalet biobränslen där alla är av ursprunget tall, se Tabell 11. Utbytet för de olika råvarorna i tabellen är typvärden vilka i verkligheten har stora variationer. Som referensbränsle i studien används stamvedsflis vilket här har 62 % energiutbyte till pyrolysolja. Fukthalten i stamvedsflisen är antagen till 45 %. I praktiken skulle detta utbytet kunna vara en mängd olika råvaror med olika kvalitéer, som exempelvis sågspån blandat med GROT.

I litteratur om pyrolysolja används ofta utbyte i viktprocent. Det är viktigt att skilja detta från det mer intressanta utbytet mätt på energibasis. Värdet i produkterna från pyrolysoverloppet mäts i deras energimängd varför utbytet av massa från en pyrolysoverlopp ter sig tämligen ointressant.<sup>116</sup>

**Tabell 11** Riktlinjer för energiutbyte för olika bränsleråvaror använt i modellerna samt askhalt.

	Sågspån	Stamvedsflis	Färsk GROT	Lagrad GROT	Energidensitet, LHV
Koks	25 %	31 %	39 %	46 %	Cirka. 30 MJ/kg
Pyrolysolja	70 %	62 %	53 %	46 %	Cirka. 16 MJ/kg
Icke kondenserbara pyrolysgaser	5 %	7 %	8 %	8 %	Cirka. 8 MJ/kg
Aska	0,5 %	1 %	2 %	3 %	-

### 6.1.3 Torkning och effektivt värmevärde

Både BTG-BTL och Metso använder i sina anläggningar bandtork för torkning av biomassa. Envergent levererar ingen tork i samband med sin teknik men anser att bandtork är aktuellt för den svenska marknaden.<sup>117</sup> Som värmekälla till torken använder massabruken lämpliga restvärmeflöden, kraftvärmearnläggningarna använder fjärrvärme och den fristående anläggningen använder restvärmen från ångan efter turbinen.

Metsos teknik medger att de interna värmeflödena från oljekondenseringen kan används till torken. I gjorda analyser är värmebehovet i torken för samtliga fall 1,1 MWh värme per evaporerad ton vatten<sup>118</sup>. Elförbrukningen till fläktar per evaporerad ton vatten varierar mellan leverantörerna med 0,025 MWh för BTG och Envergent respektive 0,06 MWh för Metso.<sup>119</sup>

Torkning av fuktig träråvara är en förädlingsprocess. Det effektiva värmevärdet<sub>våt</sub> höjs då vatten evaporeras<sup>120</sup> och råvaran torkas. I modellen antas att råvaran köps in baserat på det våta effektiva värmevärdet<sup>121</sup> och konsumeras i reaktorn baserat på det torra effektiva värmevärdet.

Träråvaras energiinnehåll mäts med olika mått och för tydlighetens skull presenteras här tre för studien relevanta mätetal; kalorimetriskt värmevärde, effektivt värmevärde<sub>torr</sub> och effektivt värmevärde<sub>våt</sub>. Skillnaden ligger i hur energiinnehållet i vatten och ånga inkluderas, se Figur 29.

<sup>116</sup> Yrjö Solantausta; VTT; 2012-08-13

<sup>117</sup> Seth Bergström; Honeywell; 2012-10-15

<sup>118</sup> Tobias Latein; Stela Trocknungstechnik; 2012-07-03

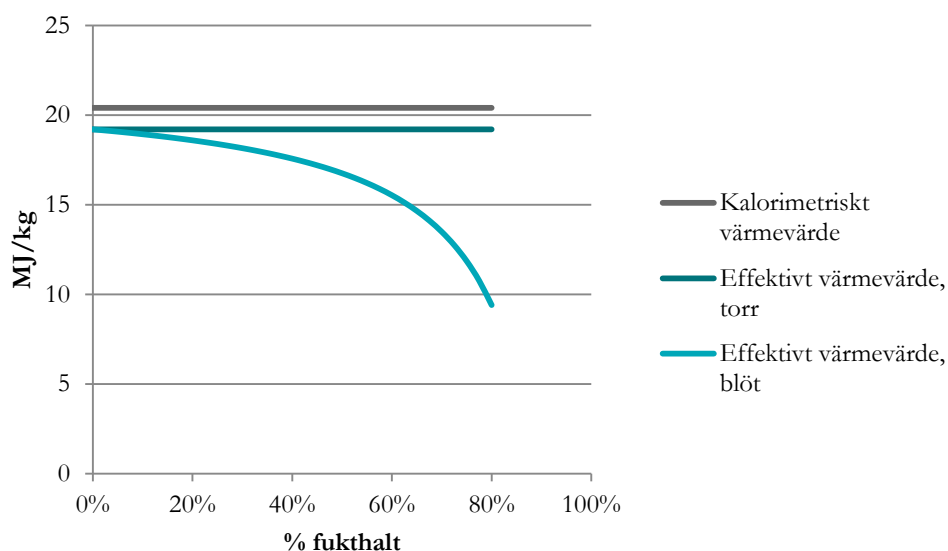
<sup>119</sup> Joakim Autio; Metso Power Oy; 2012-09-05

<sup>120</sup> Värmeforsk 881 "Torkning av biobränslen med spillvärme"; Inge Johansson; 2004

<sup>121</sup> Lagring av GROT-flis med tre olika metoder; Iwan Wästerlund; SLU Umeå; Efokus GROT II, 2011



- Kalorimetriska värmevärdet (eng. Higher Heating Value, HHV) är all den kemiska energin som frigörs vid fullständig förbränning, inkluderat kondenseringsenergin av vatten i rökgaserna skapade av väte i bränslet som reagerar med syre och bildar vattenånga.
- Effektiva värmevärdet<sub>torr</sub> (eng. Lower Heating Value, LHV<sub>1</sub>) utgår från ett torrt bränsle när all kemisk energi frigörs och ingen kondenseringsenergi tillgodogörs.
- Effektivt värmevärde<sub>vät</sub> (eng. Gross Heating Value, GHV<sup>122</sup> eller LHV<sub>2</sub><sup>123</sup>) utgår från ett blött bränsle där all kemisk energi frigörs, vattnet i fukten förångas och ingen kondenseringsenergi tillgodogörs.



Figur 29 Energiinnehåll per kilogram torrs substans för fuktigt träbränsle

## 6.2 Resultat - Ekonomiska jämförelser

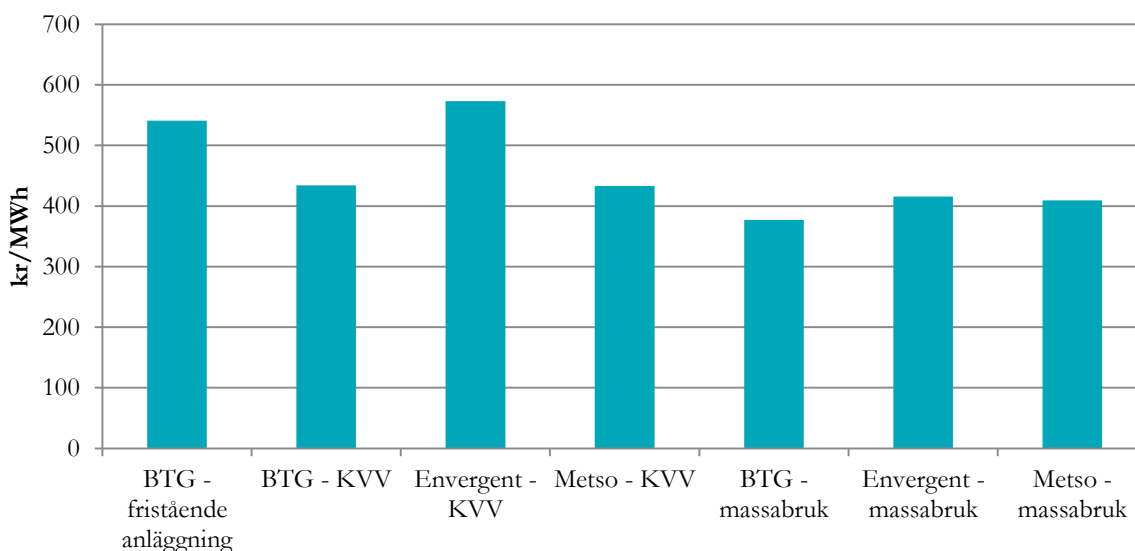
Resultaten av fallstudierna för produktion av pyrolysolja utvärderas främst mot produktionspriset på pyrolysoljan. De olika kostnadsbärarna i processen redovisas för att belysa vad som bestämmer priset och hur de olika fallen med specifika driftbetingelser skiljer sig åt. För att kostnaderna ska vara enkla att relatera och jämförbara redovisas de mot producerad mängd pyrolysolja mätt i kr/MWh.

### 6.2.1 Resultat i korthet

Produktionskostnaden för pyrolysolja varierar starkt med de olika integreringsfallen, där integrering med massabruk utmärker sig genom lägst produktionskostnader. I Figur 30 presenteras pyrolysoljans produktionskostnad för de sju fallstudierna.

<sup>122</sup> Hemsida; Wikipedia; [http://en.wikipedia.org/wiki/Lower\\_heating\\_value#Lower\\_heating\\_value;2012](http://en.wikipedia.org/wiki/Lower_heating_value#Lower_heating_value;2012)

<sup>123</sup> Higher Heating Value and Lower Heating Value Variation; James E. Houck; OMNI Environmental Services Inc. ; 2009



**Figur 30** Pyrolysoljans produktionspris för de sju fallstudierna

Den fristående anläggningen från BTG-BTL är den minsta anläggningen i fallstudierna och har ett produktionspris om cirka 540 kr/MWh för pyrolysolja. Anläggningen är helt fristående och producerar endast pyrolysolja och el.

Vid integrering med kraftvärmeverk kan produktionskostnaden för två av fallen sänkas jämfört med en fristående anläggning. Integreringen sker rent processtekniskt genom utbyte av energiflöden mellan kraftvärmeverket och pyrolysanläggningen. Denna integrering sänker ej nämnvärt produktionskostnaden då ånga och icke kondenserbara gaser från pyrolysoverloppet prissätts som marginalkostnaden, vilken är låg. Istället finns synergieffekterna att hämta på gemensamt underhåll och drift och råvaruhantering, resulterande i sänkta driftkostnader. Investeringskostnaderna minskar också då många delar av kraftvärmeanläggningen kan användas så som ångsystem, rökgasrening och bränslehantering.

Produktion integrerad med massabruk uppvisar den lägsta produktionskostnaden för pyrolysolja för alla teknikleverantörernas anläggningar. Anledningen till detta ligger delvis i att större anläggningar har integrerats med massabruk vilket gett skalfördelar för investerings-, drift- och underhållskostnader. Därutöver har massabruken stora integreringsfördelar då både avsättning av restprodukter och inköp av biflöden är mer fördelaktiga.

### 6.2.2 Analys av kostnadsposter

De för de totala produktionskostnaderna underliggande kostnaderna framgår av Tabell 12.

**Tabell 12 Produktionskostnader för anläggningarna i de sju fallstudierna. Kostnader angivna per producerad MWh pyrolysolja.**

Kostnadsposter			Fristående anläggning	Kraftvärmeverk			Massabruk			
			BTG-BTL	BTG-BTL	Envergent	Metso	BTG-BTL	Envergent	Metso	
Rörliga kostnader, anläggning	Rörliga kostnader, anläggning	Personal	49	10	10	10	8	8	8	kr/MWh
		Underhåll	54	40	74	45	40	44	53	kr/MWh
		Förbrukningsvaror	23	18	18	18	16	16	16	kr/MWh
		El, ej tork	14	14	11	11	14	11	11	kr/MWh
Bytesbalans-kostnader	Rörliga kostnader, flöden	El, tork	2	2	2	6	2	6	6	kr/MWh
		Värme från fluidiserande bädd				43				kr/MWh
		Fjärrvärme		59	59	6				kr/MWh
		Ånga, lågvärdig					24	24	2	kr/MWh
	Intäkter, flöden	Ej kondenserbara gaser		23	23	23	56	56	56	kr/MWh
		Koks				100				kr/MWh
		Rökgaser		39	57					kr/MWh
		Ånga, högvärdig		49			63	46	52	kr/MWh
	Råvaru- och biproduktkost.	El	57							kr/MWh
		Biprodukter <sup>124</sup>	106	106	106	106	106	106	106	kr/MWh
Råvarukost.	Råvarupris	200	200	200	200	200	200	200	kr/MWh	
Fasta kost.	Fasta kost.	Kapitalkostnader	129	96	171	110	86	103	115	kr/MWh
<b>Totalt</b>			<b>541</b>	<b>434</b>	<b>573</b>	<b>433</b>	<b>377</b>	<b>415</b>	<b>409</b>	<b>kr/MWh</b>

För att förstå varifrån produktionskostnaden för pyrolysolja härstammar har kostnadsposterna presenterade i Tabell 12 analyserats djupare. Kostnaderna och intäkterna har delats upp i posterna råvarukostnader, fasta kostnader, rörliga kostnader och bytesbalanskostnader där den senare posten är kostnader för inköpta energiflöden i förhållande till försålda. De olika kostnadsposterna för vidare analys presenteras i Tabell 13.

**Tabell 13 De fyra kostnadsposterna vilka summeras till pyrolysoljans produktionskostnad för de sju fallen**

	Fristående anläggning		KVV		Massabruk			
	BTG-BTL	BTG-BTL	Envergent	Metso	BTG-BTL	Envergent	Metso	
Rörliga kostnader, anläggning	140	81	113	84	77	79	88	kr/MWh
Bytesbalanskostnader	72	57	88	38	13	34	7	kr/MWh
Råvarukostnader	200	200	200	200	200	200	200	kr/MWh
Fasta kostnader	129	96	171	110	86	103	115	kr/MWh
Produktionskostnad	<b>541</b>	<b>434</b>	<b>573</b>	<b>432</b>	<b>377</b>	<b>415</b>	<b>409</b>	<b>kr/MWh</b>

### Råvarukostnader

I de studerade fallen står råvarukostnaden för 35-55 % av produktionskostnaden för pyrolysolja.

Kostnaden för tillförd råvara kan ses på olika sätt. I denna rapport delas kostnaden upp för den del av energin som efter pyrolyprocessen återfinns i oljan och den del som fås i biprodukterna som koks och icke kondenserbara pyrolysgaser.

<sup>124</sup> Biprodukter innebär koks och icke kondenserbara gaser.

Som exempel krävs cirka 1,5 MWh råvara för att producera 1 MWh pyrolysolja. Efter pyrolysisprocessen erhålls således 1 MWh olja och de resterande cirka 0,5 MWh blir biprodukter i form av koks och icke kondenserbar gas. Med råvarukostnad avses i tabell 14 den specifika fliskostnaden per producerad energienhet pyrolysolja. Resterande kostnad för den inköpta råvaran blir kostnaden för biprodukterna och denna kostnad är inberäknad under bytesbalanskostnader i tabell 14.

#### **Fasta kostnader**

De fasta kostnaderna utgör i de studerade fallen 21-29 % av de totala produktionskostnaderna. Däremot skiljer sig de absoluta kostnaderna åt mer, från 86 kr/MWh till 171 kr/MWh. Variationen beror både på skalfördelar som får den fasta kostnaden att minska relativt producerad mängd olja och på integrationsfördelar som får den totala investeringen att minska.

Jämförs BTG-BTLs fristående anläggning med BTG-BTLs anläggning integrerad med massabruk, minskar de fasta kostnadernas bidrag till produktionskostnaden med 34 % från 129 kr/MWh till 86 kr/MWh. Fallen är relativt lika anläggningsmässigt då BTG-BTL levererar sina anläggningar i moduler. Skillnaderna ligger snarare i minskade kostnader för mottagningsanläggning och konstruktions- och konsultarbete.

Analog jämförelse kan göras mellan BTG-BTLs fristående anläggning och BTG-BTLs kraftvärmeintegrering, där en minskning med 25 % från 129 kr/MWh till 96 kr/MWh kan ses. Här bidrar även till stor del integreringen av energiflöden till de sänkta investeringskostnaderna.

Metsos och Envergens större pyrolysoverektorer vid massabruk har en låg produktionskostnad för pyrolysolja på grund av skalfördelar. Dock krävs i Metsos massabruksintegration en nybyggd kokspanna vilket höjer investeringskostnaden. Resultatet blir att de fasta kostnaderna för de båda fallen med integrerade Metsoanläggningar är ungefär lika dyra per producerad MWh olja; 110 kr/MWh respektive 115 kr/MWh. Skillnaden är desto större för Envergens två integreringsfall, där de fasta kostnaderna sjunker från 171 kr/MWh till 103 kr/MWh. De stora skalfördelarna ligger hos Envergent i att de erbjuder standardiserade anläggningar där skalfördelarna mellan de olika anläggningsstorlekarna är tydlig.

#### **Rörliga kostnader**

Kostnaderna för drift och underhåll är 80-110 kr/MWh pyrolysolja för alla fallen förutom den fristående anläggningen där kostnaderna är cirka 50 % högre, 140 kr/MWh.

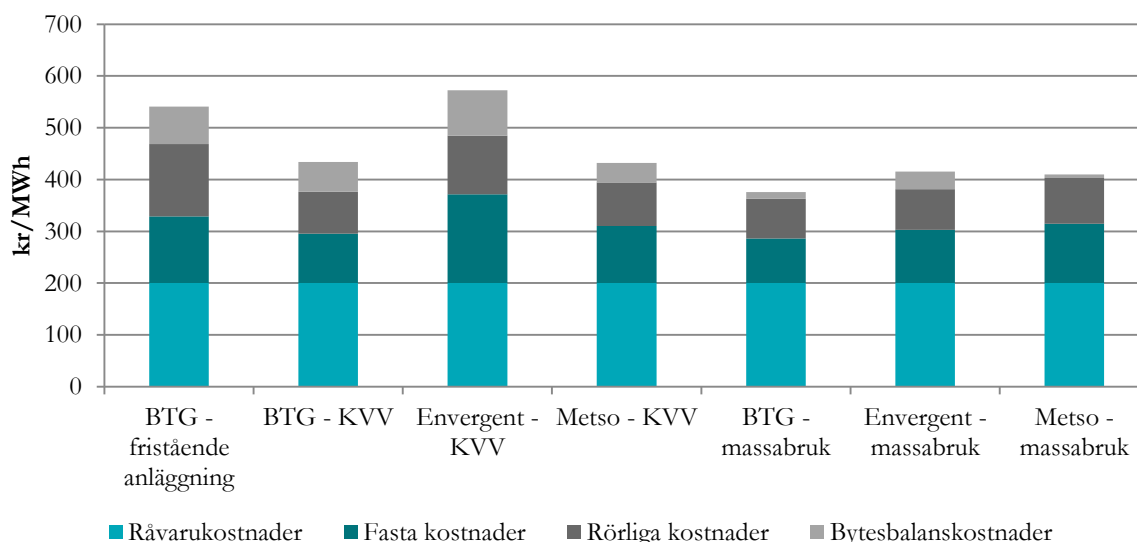
Det är en stor fördel med integrerade pyrolysanläggningar då personal- och underhållskostnader delas med en annan produktionsenhet. För de studerade fallen delas bränslehantering, drift och underhåll vilket gör stor skillnad i absoluta kostnader vilket får ett tydligt genomslag för de små anläggningarna.

#### **Bytesbalanskostnader**

Bytesbalanskostnaderna är ett mått för hur bra en produktionsanläggning nyttjar de biprodukter som uppkommer i processen. Biprodukterna är förädlade energibärare vilka nyttiggörs i pyrolysanläggningen eller säljs till den integrerade anläggningen där priset för biprodukten bestäms av alternativkostnaden för de bränslen de ersätter.

Bytesbalanskostnaderna är skillnaden mellan intäkter från biprodukter och utgående energiflöden, i relation till kostnader för ingående energiflöden. Exempel på en sådan bytesbalans är när en produktionsanläggning producerar koks som den säljer till en extern panna, för att sedan köpa in varm sand och ånga.

Bytesbalanskostnaden kan således ses som ett mått på hur väl en pyrolysanläggning utnyttjar biprodukterna och speglar hur bra vald teknik och integration fungerar. Bytesbalanskostnaden och övriga produktionskostnader för de olika fallen visas i Figur 31.



**Figur 31** Pyrolysoljans produktionskostnad uppdelad efter kostnadsposter

I fallstudierna har pyrolysanläggningar integrerade med kraftvärmeverk de högsta bytesbalanskostnaderna. I dessa fall återfås mindre än hälften av kostnaderna för biprodukterna vid flödesutbytena med pannan.

Envergets höga bytesbalanskostnader för integration med kraftvärmeverk beror till stor del på att valda tekniska lösningar gör att anläggningen konsumerar mycket energi. Konsumtion av energi, som påverkar bytesbalansen negativt, sker dels genom inköp av värme till torken och dels genom stora förluster av värme i kondensorstegen, vilket medför att mindre mängd energi från koksbränningen går till försäljning.

Den fristående pyrolysanläggningen använder alla biprodukter till ångproduktion som därefter omvandlas till elproduktion. Det finns inga svårskattade interna priser utan avsättningen sker på marknaden. Bytesbalansen är i samma storleksordning som för de kraftvärmeverksintegrerade anläggningarna.

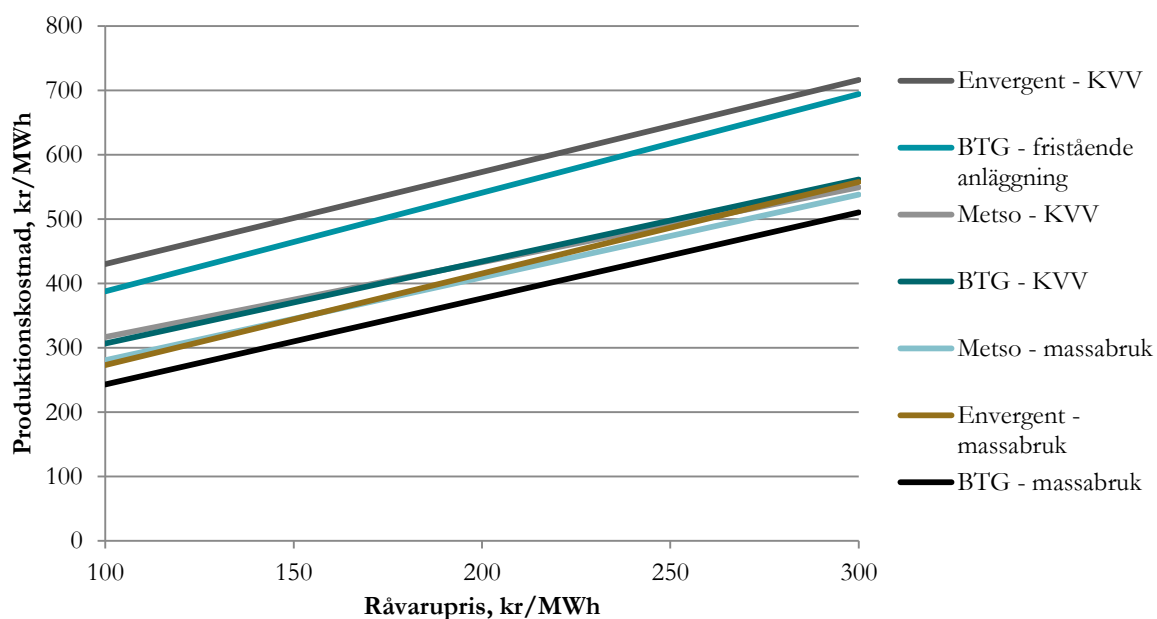
Det är svårt att veta vilka effekter en integrering har på själva kraftvärmearläggningen varför internkostnaderna blir svåra att skatta. Resultatet visar ändå att en integrering med kraftvärmeverk inte tar till vara på de förädlade biprodukterna på ett bra sätt.

Massabruken har en bra bytesbalans vilket beror på den billiga värmen som finns tillgänglig för torken och den goda avsättningen av de icke kondenserbara gaserna i mesaugnen. Både BTG, Envergent och Metso får en avsättning för restflödena som väger upp kostnaden för biprodukterna. Användningen av de icke kondenserbara gaserna i mesaugnen är ett bra exempel på en god integration där bränsleförädlingen ger ett mervärde på 300 % med vald prissättning.

## 6.3 Utvärdering av produktionskostnader – känslighetsanalys

### 6.3.1 Råvarupriset

Råvaruprisets inverkan på produktionskostnaden för pyrolysolja med gjorda grundantaganden visas i Figur 32. I grundantagandena antogs ett råvarupris på 200 kr/MWh.



Figur 32 Pyrolysoljans produktionskostnad beroende av råvarupriset för de sju fallen

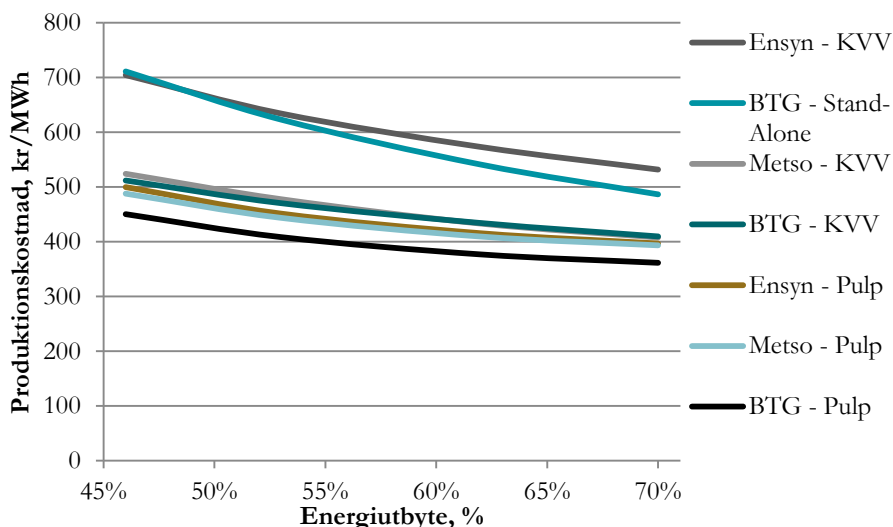
Priset på pyrolysoljan följer råvarupriset linjärt, dock så skiljer sig känsligheten åt i de olika fallen. I Tabell 14 visas koefficienterna mellan råvarupriset och produktionskostnaden för pyrolysoljan. Fallen med de integrerade anläggningarna är mindre känsliga för förändringar i råvarupris, där Metsos anläggningar är något bättre än BTG-BTLs och Envergent's anläggningar och kraftvärmeverksintegrerade anläggningar något bättre än anläggningarna integrerade med massabruk.

Tabell 14 Produktionskostnadens känslighet mot prisförändringar hos råvaran

	Fristående anläggning	KVV			Massabruk		
	BTG-BTL	BTG-BTL	Envergent	Metso	BTG-BTL	Envergent	Metso
Råvarukänslighets-koefficient	1,53	1,27	1,42	1,16	1,34	1,42	1,29

### 6.3.2 Utbytet

Utbytet av pyrolysolja ur processen är avhängt den använda biomassan och dess egenskaper. Hur produktionspriset på pyrolysoljan varierar med biomassa med olika korrelerande oljeutbyten visas i Figur 33. Grundantagandet är ett utbyte på 62 %.

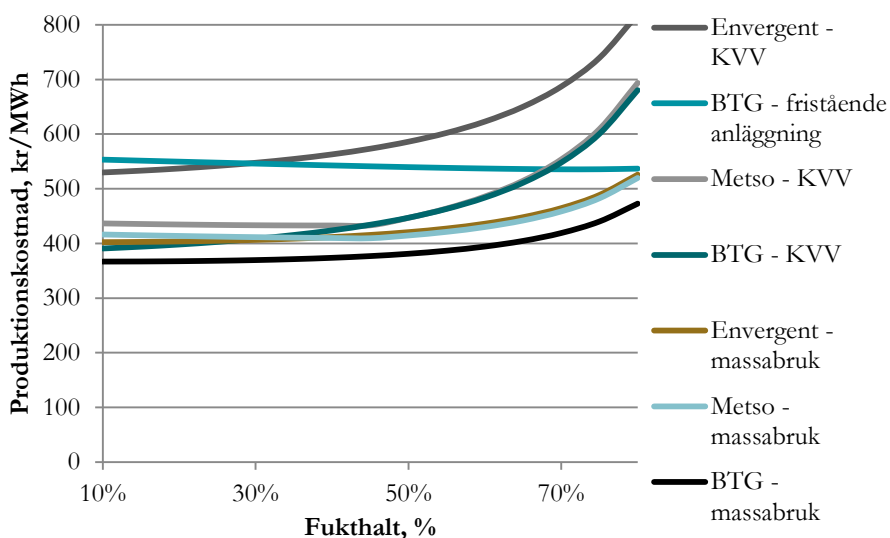


Figur 33 Pyrolysoljans produktionskostnad beroende av oljeutbytet i processen för de sju fallen

Alla produktionsalternativ uppvisar samma beroende av ett bra utbyte för att uppnå låga produktionskostnader för oljan. Analysen bör dock tolkas försiktigt, då anläggningen här är begränsad i den tillförda mängden råvara. Den minskade pyrolysoljeproduktionen gör att en mindre mängd olja delar på de fasta- och rörliga kostnaderna. Om anläggningen klarar att tillverka en konstant mängd pyrolysolja skulle den bli mindre känslig för energiutbytet i råvaran.

### 6.3.3 Fukthalt

I Figur 34 visas hur produktionspriset för pyrolysolja påverkas av fukthalten i råvaran, där grundantagandet är en fukthalt på 45 %.



Figur 34 Pyrolysoljans produktionskostnad beroende av fukthalten i råvara för de sju fallen.

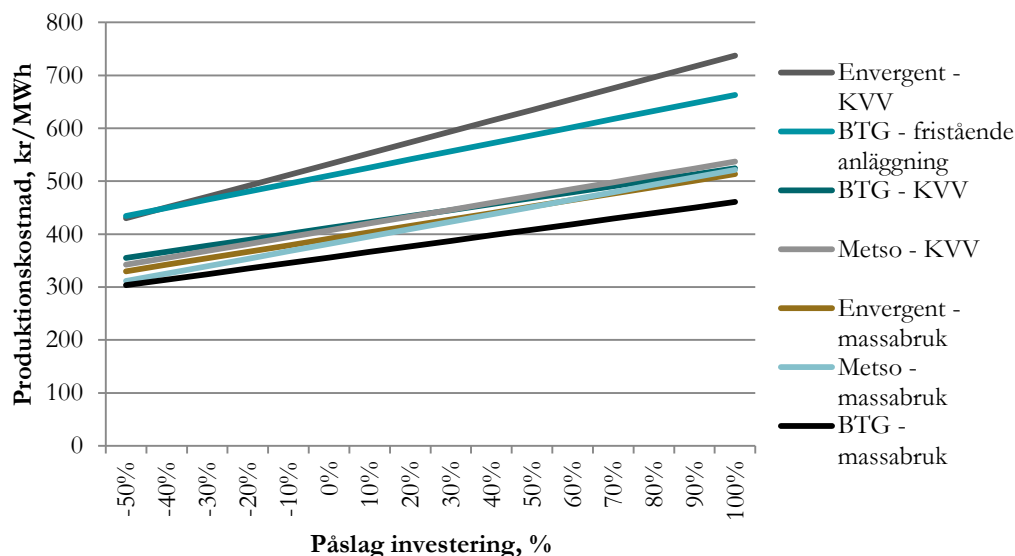
Den fristående anläggningen påverkas inte negativt av ett fuktigare bränsle. Det finns ingen alternativavsättning för värmen som går till torken varför inga intäkter eller utgifter berörs. Massabruksanläggningarna uppvisar en låg prispåverkan av ett fuktigare bränsle. Tillgången på billig spillvärme till torken gör att även blöt råvara torkas utan större kostnad. Anläggningarna integrerade med kraftvärmeverk använder den dyrare fjärrvärmen till torken varför kostnaderna snabbt ökar för blötare råvara.

Metsos teknik att använda restflödet från kondenseringsteget i processen gör att deras anläggningar blir mindre känsliga för fukthalter upp emot 40 %.

Värt att notera är att om fukthalten avviker mycket från vad anläggningen är dimensionerad för är inte denna jämförelse korrekt. En annan storlek på tork skulle då behövas installeras med ändrade investeringskostnader som följd.

### 6.3.4 Investeringskostnader

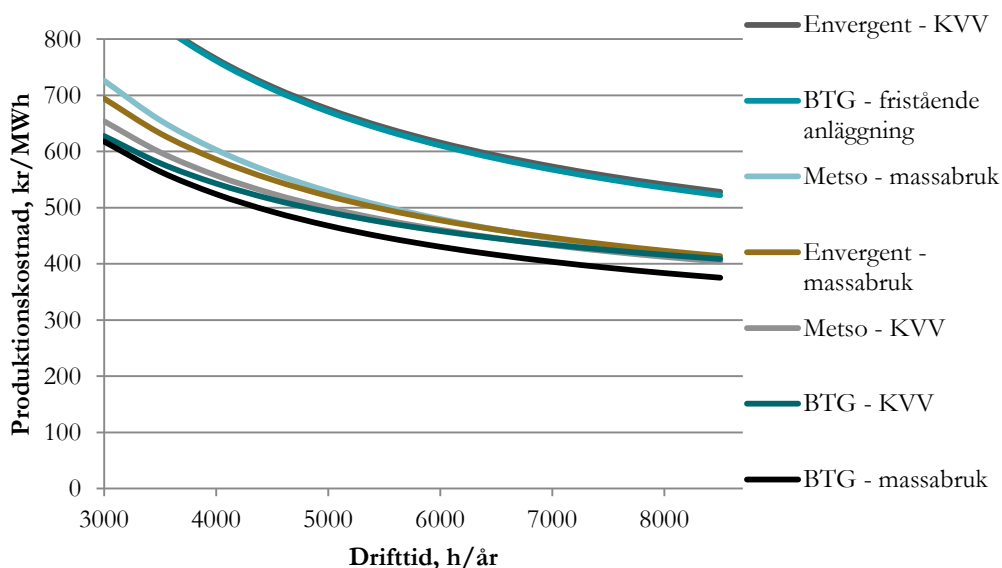
I grundfallet antogs 20 % påslag för investeringarna i anläggningen. I Figur 35 visas investeringskostnadens inverkan på produktionskostnaden.



Figur 35 Pyrolysoljans produktionskostnad beroende av skillnad i investeringskostnad för de sju fallen.

### 6.3.5 Drifttid

Drifttiden är av stor betydelse för ekonomin i anläggningen och beroendet mellan produktionskostnaden för pyrolysolja och antal drifttimmar per år visas i Figur 36.



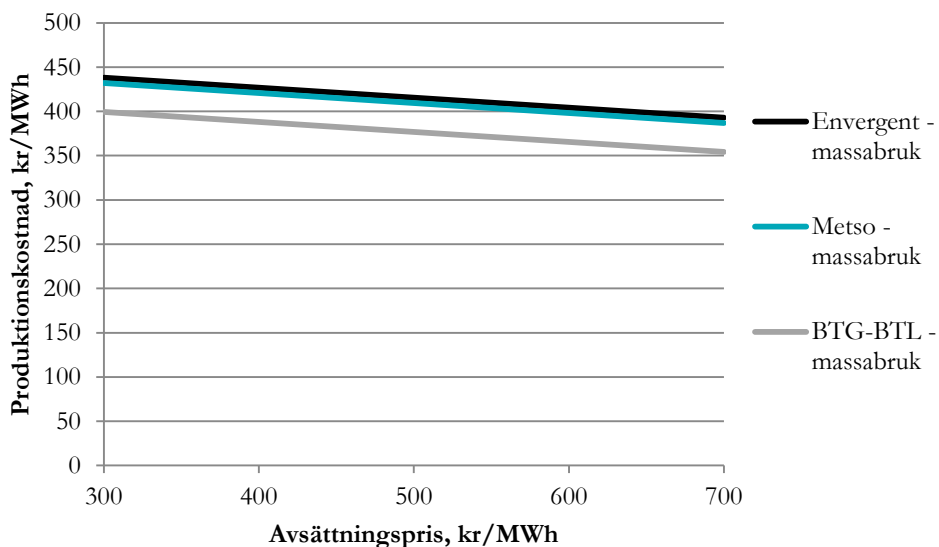
Figur 36 Pyrolysoljans produktionskostnad beroende av drifttimmarna för de sju fallen.



Massbruken antas ha en tillgänglighet på 96 % vilket ger 8400 drifttimmar per år. Kraftvärmeverk har normalt långa driftstopp på sommaren vilket ger låg tillgänglighet i pyrolysanläggningen. Grundantagandet är 80 % tillgänglighet vilket motsvarar 2,5 månaders uppehåll och 7000 drifttimmar på ett år<sup>125</sup>. Den fristående anläggningen antas kunna driftas 90 % eller 7800 timmar om året.

### 6.3.6 Avsättningspris i mesaugn

För de fall där produktionsanläggningarna för pyrolysolja integrerats med massabruk är avsättningspriset för de icke kondenserbara gaserna i mesaugnen viktigt. Beroendet mellan avsättningspris för de icke kondenserbara gaserna och pyrolysoljans produktionskostnad framgår av Figur 37. Grundantagandet är ett avsättningspris på 500 kr/MWh.



Figur 37 Pyrolysoljans produktionskostnad beroende av avsättningspriset för de icke kondenserbara gaserna för de massbruksintegrerade fallen.

<sup>125</sup> Värmeforsk rapport 1150 "Förgasning för bränsleproduktion i stor- och småskaliga energikombinat"; Jennie Rodin et al.; 2010

## 7 Miljöpåverkan

Pyrolysoljans miljöpåverkan skiljer sig jämfört med hantering av flis och pellets framförallt i fråga om transporter medförande mindre koldioxidutsläpp och lokalt buller.

Vid tågtransport ger pyrolysoljan upphov till cirka 55 % mindre transporter jämfört med transport av flis. Jämfört med transport av pellets krävs cirka 20 % färre transporter om man skall leverera samma mängd energi som pyrolysolja. De minskade transporterna via tåg går att härleda både till andra typer av vagnar som tillåter större andel last av totalvikt och till den större energitätheten i pyrolysolja jämfört med framförallt flis.

Lastbilstransport av pyrolysolja ger för samma energimängd 35 % färre transporter i jämförelse med distribution av flis. De minskade transporterna är främst en produkt av att pyrolysoljetransporten begränsas av vikt medan flistransporten begränsas av volym. Vid lastbilstransport ger transport av pyrolysolja jämfört med pellets inte upphov till minskade transporter. Detta då både pyrolysolja och pellets vid lastbilstransport begränsas av vikt och inte volym. Pyrolysolja och pellets har ungefär samma energidensitet kring 4,5 MWh/ton.

De minskade transporterna ger både upphov till mindre lokalt buller kring anläggningar, belastar väg- och järnvägsnätet vid anläggningar mindre samt ger upphov till minskade växthusgas- och partikelutsläpp.

Ingen extern fossil energi används under pyrolyprocessen till exempelvis torkar och restvärme som uppkommer under processen avsätts till elproduktion eller restvärme. Användningen av restvärme till exempelvis elproduktion eller fjärrvärme liknar den användning som sker med flis eller pellets idag och pyrolysanläggningen kan därmed antas ha ungefär samma miljöpåverkan som dessa. Detta gäller även på emissionssidan då en pyrolysanläggning är ålagd samma utsläppskrav som befintliga flis- och pelletseldade anläggningar.

Pyrolysolja kan även ersätta tung såväl som lätta fossil eldningsolja i olika typer av användningsområden vilket kan bidra till lägre användning av fossila bränslen i Sverige.

## 8 Systemanalys – Pyrolysolja i Sverige

Tillgången av lämplig råvara för pyrolysoljeproduktion, möjligheter till transport av råvara såväl som produkt samt möjligheten för lämplig användning av pyrolysoljan medför olika för- och nackdelar för en tänkt placering.

En systemanalys görs därför för produktion, transport och användning av pyrolysolja i Sverige och jämförs främst med alternativen flisad GROT och pellets. För att visa på konkurrenskraftighet är det dock viktigt att pyrolysoljan även ligger rätt i prisbilden i förhållande till de alternativ som tillhandahålls av marknaden idag så som olika eldningsoljor, andra biooljor såväl som andra trädbränslen.

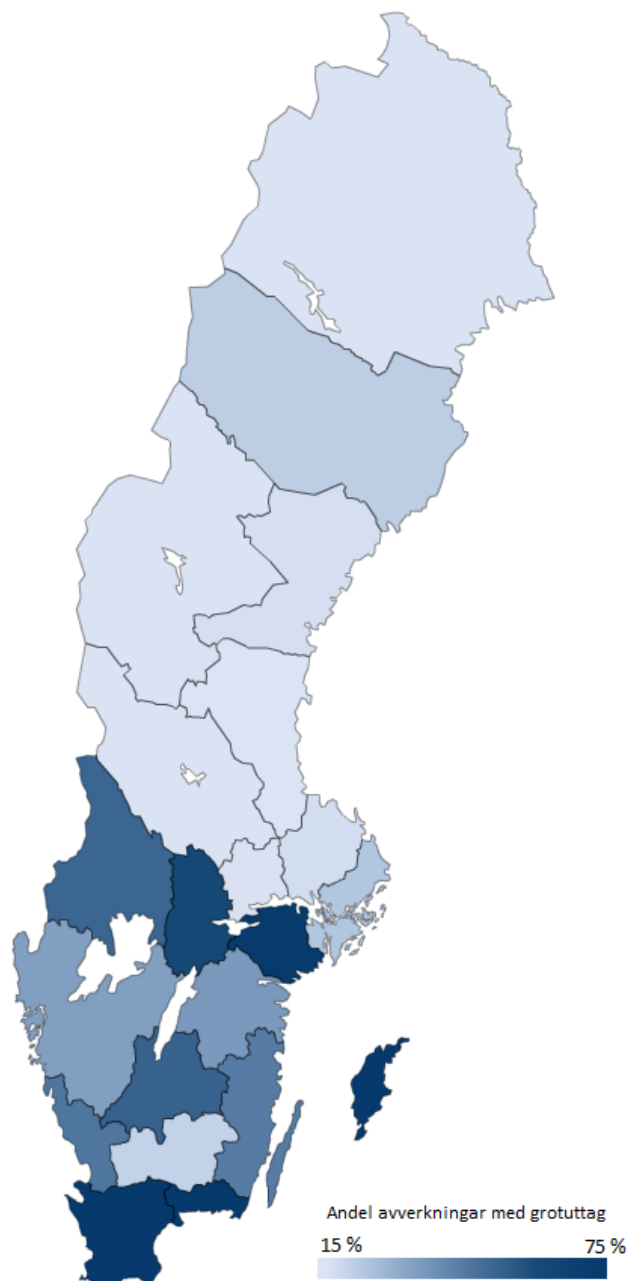
### 8.1 Produktion av pyrolysolja i Sverige

Produktion av pyrolysolja kan ske med integrering av massabruk, kraftvärmeverk eller som fristående anläggningar där de olika typerna av anläggningar begränsas av infrastruktur, råvarutillgång och geografisk placering.

#### 8.1.1 Råvarutillgång i Sverige

Tillgång och kostnad för vedråvara är en viktig parameter för produktion av pyrolysolja, då den underliggande kostnaden för råvaran är en stor del av det slutgiltiga priset. Därigenom blir det viktigt att en planerad anläggning ligger i områden där prisbilderna för råvaran kan ses som relativt stabila över tid.

Att generellt säga hur tillgången till råvara kommer att se ut i framtiden är svårt, då denna beror på flertalet variabler som tillgång på returmassaved, sågspån, GROT etc. i kombination med den underliggande efterfrågan. För att ge en vägledande bild över trycket på skogsuttag inom ett visst område är det dock möjligt att studera GROT-uttagen från skogen i samband med avverkning. I Figur 38 visas uppdelat på län vid hur stor andel av föryngringsavverkningarna där även GROT-uttag anmälts.



Figur 38 Andel avverkningar med anmält GROT-uttag<sup>126 127</sup>

De län med lägst GROT-uttag i samband med avverkningar ligger främst i Norrland och Jönköpings län. Detta ligger i linje med flertalet rapporter som analyserat underlaget till ekonomiskt och ekologiskt hållbart utökat uttag av energiråvara från skogen.<sup>128</sup>

De faktiska priserna i de olika regionerna skiljer sig dock inte så mycket åt utan är cirka 200-220 kr/MWh där det undre priset är i Norrland och det övre gäller i södra Sverige.<sup>129</sup> Dock kan det antas att priserna i

<sup>126</sup> Hemsida; Tabeller & Figurer, Skogsstyrelsen;  
<http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Avverkning-och-virkesmatning/Tabeller--figurer/>; 2012

<sup>127</sup> Producerad med SCBs statistikatlas

<sup>128</sup> Inlandsbanans potential för Sveriges skogsbränsleförsörjning; Johanna Enström et al.; Skogforsk; 2010

<sup>129</sup> Hemsida; Tabeller & Figurer, Skogsstyrelsen;  
<http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Avverkning-och-virkesmatning/Tabeller--figurer/>; 2012

län med ett idag lågt GROT-uttag kan antas vara mer långsiktigt stabila, jämfört med priserna i regioner med högt GROT-uttag.

Möjligheterna till kraftigt lägre priser på GROT i delar av landet med hög tillgång till GROT är små, då den största kostnaden för GROT ligger på maskinkostnader i skogen. Priset som den enskilde skogsbrukaren som levererar GROT får skiljer sig därmed inte särskilt mycket mellan norra och södra Sverige.<sup>130</sup> <sup>131</sup> Detta beroende av att den största andelen av kostnaderna för flis går att härleda till olika typer av flisnings- och transportkostnader. Det föreligger dock skillnader mellan priserna och i södra Sverige ligger ersättningen till markägaren på 40 kr/m<sup>3</sup>s och i norra kring 20 kr/m<sup>3</sup>s. Det motsvarar 50 respektive 25 kr/MWh med en antagen fukthalt på 50 %. Skotningen kan bli något dyrare i norra Sverige, men slår inte nämnvärt mot den totala uppdriftningskostnaden.<sup>132</sup>

### 8.1.2 Produktionspotential

Trots att produktion av pyrolysolja kan ske vid massabruk, kraftvärmeverk och fristående anläggningar har det visat sig att speciellt massabruken ger goda synergieffekter vid integrerad produktion. Massabruken kan således ses som mest intressanta som en framtida produktionsort.

Totalt bör produktionspotentialen kunna uppgå till minst cirka 10 TWh/år från produktionsanläggningar integrerade med massabruk och kraftvärmeverk.

#### Massabruk

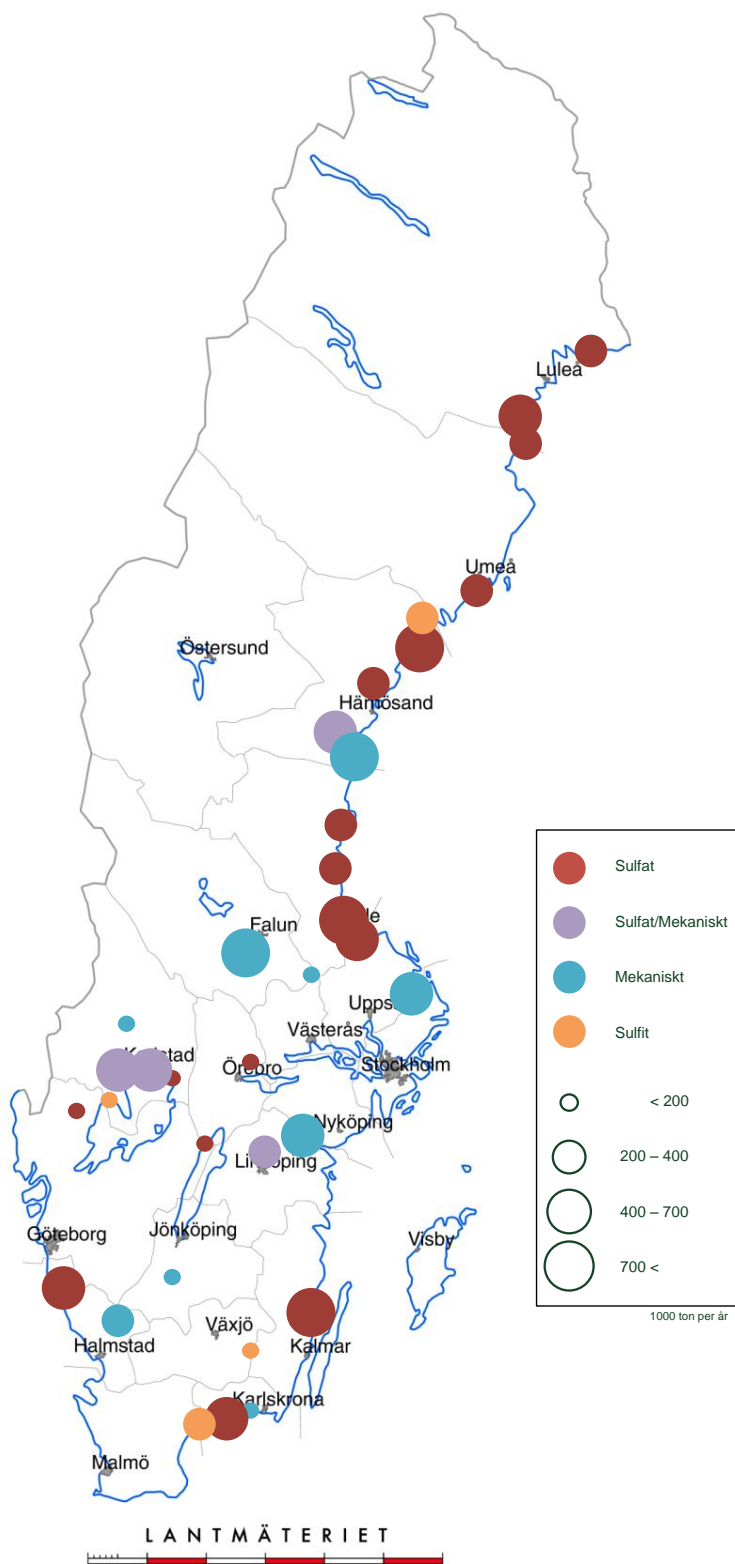
I Sverige finns idag 35 st massabruk spridda över hela landet. Vilka som är lämpliga för pyrolysoljeproduktion beror av de ekonomiska förutsättningarna för varje bruk. Massabruken i Sverige är fördelade över hela landet med undantag för Norrlands inland, se Figur 39.

---

<sup>130</sup> Hemsida; GROT-priser Norrbottens kust, Norra skogsägarna; [http://www.norra.se/verksamhet/skogochvirke/Saljvirke/Documents/Energisortiment\\_prislista\\_Norrbotten%20kust.pdf](http://www.norra.se/verksamhet/skogochvirke/Saljvirke/Documents/Energisortiment_prislista_Norrbotten%20kust.pdf); 2013-02-02

<sup>131</sup> Hemsida; GROT-priser södra Sverige, Södra; <http://skog.sodra.com/sv/Salja-Virke/Virkesprislista/>; 2013-02-02

<sup>132</sup> Torbjörn Brunberg, Skogforsk, 2012-10-25



Figur 39 Massabruk i Sverige, märkta efter typ och produktionsstorlek<sup>133</sup>

<sup>133</sup> Hemsida; Medlemskarta för Skogsindustrierna;  
[http://www.skogsindustrierna.se/om\\_oss/medlemmar\\_1/medlemskarta](http://www.skogsindustrierna.se/om_oss/medlemmar_1/medlemskarta); 2012-02-02

Utän att göra djupare analyser över de enskilda förutsättningarerna och ta ställning till vilka bruk som kan vara aktuella för en pyrolysanläggning kan en skattning av produktionspotentialen göras utifrån tre restriktionsnivåer:

1. Alla massabruk utrustas med en pyrolysanläggning. Storleken skalas 2 GWh årlig pyrolysoljeproduktion per miljoner ton massa.
2. Enligt 1 med begränsning: En maximal storlek på anläggningen om 1 TWh årlig pyrolysoljeproduktion. Endast det största bruket inom en 5-milsradie bygger en anläggning.
3. Enligt 2 med begränsning: Endast bruk placerade i ett län med god tillgång till GROT bygger anläggning, där god tillgång anses vara i län med under 40 % anmälda uttag. Endast det största bruket inom en 10-milsradie bygger en anläggning.

Den årliga produktionspotentialen efter de tre restriktionsnivåerna kan ses i Tabell 15.

**Tabell 15** Årlig produktionspotential vid massabruk i Sverige

	Norrland	Svea- och Götaland	Totalt	
Nivå 1	14	12	26	TWh
Nivå 2	8	8	16	TWh
Nivå 3	6	2	8	TWh

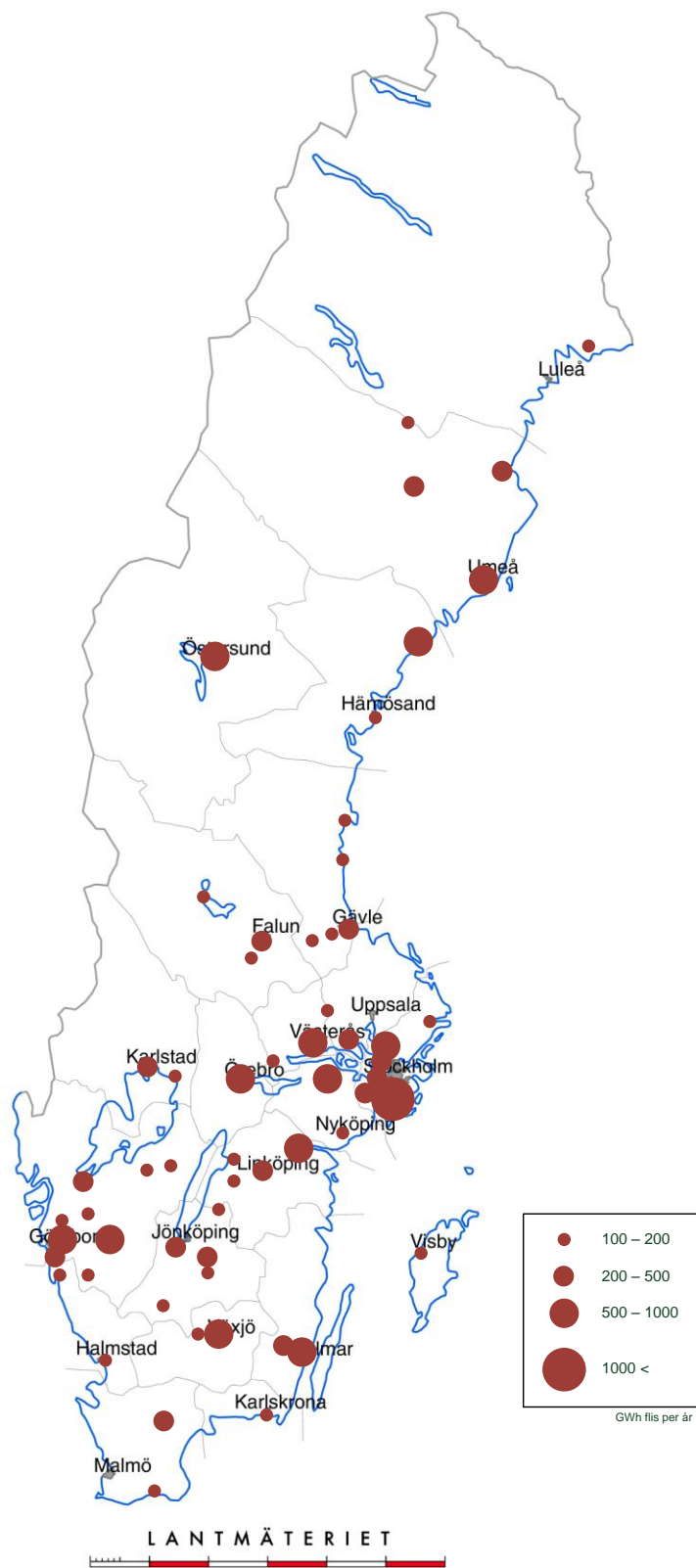
Den totala produktionen om 26 TWh i nivå 1 bör bedömas med viss försiktighet, då det inte nödvändigtvis måste finnas ett samband mellan storlek på massabruk och pyrolysanläggning.

Den totala produktionspotentialen från massabruk bör ligga kring totalt 8 TWh årligen om hänsyn tas till tillgång på GROT, närhet till andra massabruk och begränsning i anläggningsstorlek. Tyngdpunkten för denna potential ligger i Norrland, till följd av det lägre trycket på GROT där.

Tas inga hänsyn till GROT-uttag i massabrukens omgivning är potentialen betydligt större på uppemot 16 TWh/år, jämt fördelad mellan södra och norra Sverige.

#### **Kraftvärmeverk**

Vilka enskilda kraftvärmeverk som är lämpliga för integrering beror på tekniska och ekonomiska begränsningar vid varje enskilt verk. Figur 40 visar en karta över kraftvärme- och värmeanläggningar som 2011 konsumerade över 100 GWh obehandlad träråvara. Värmeanläggningarna kan även de likt kraftvärmeverken integreras med pyrolysoljeproduktion. Tillsammans konsumerade de markerade verken i kartan 80 % av den obearbetade skogsråvaran till kraftvärme- och värmeverk i Sverige detta år.



Figur 40 Större kraftvärme- och värmeverk i Sverige märkta efter storlek<sup>134</sup>

<sup>134</sup> Hemsida; Tillförd Energi, Svensk Fjärrvärme; <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/>; 2012-02-02



För att uppskatta produktionspotentialen för pyrolysolja vid anläggningar integrerade med kraftvärmeverk görs en indelning med tre restriktionsnivåer:

1. Alla kraftvärmekraftverk utrustas med en pyrolysanläggning. Storleken skalas 1 GWh årsproduktion pyrolysolja per 3 GWh nuvarande bränslekonsumention.
2. Enligt 1 med begränsning: En minimal storlek på anläggningen om minst 15 MW effekt pyrolysoljeproduktion. Endast det största kraftvärmeverket inom fem mils radie bygger.
3. Enligt 2 med begränsning: Endast bruk placerade i ett län med god tillgång till GROT bygger produktionsanläggning, där gränsen för god tillgång anses motsvara län med under 40 % anmälda uttag. Endast det största kraftvärmeverket inom en 10-milsradie bygger en produktionsanläggning.

Den årliga produktionspotentialen från anläggningar integrerade med kraftvärmeverk för respektive restriktionsnivå framgår av Tabell 16.

**Tabell 16** Årlig produktionspotential av pyrolysolja vid kraftvärmeverk i Sverige

	Norrland	Svea- och Götaland	Totalt	
Nivå 1	1	5	6	TWh
Nivå 2	1	2,5	3,5	TWh
Nivå 3	1	1	2	TWh

Till skillnad från produktionspotentialen vid massabruk ligger den överlag största potentialen för kraftvärmeverk-integrerade anläggningar i södra Sverige. Orsakerna är den geografiska placeringen av kraftvärmeverken, då dessa till största delen är lokaliserade till de mer tätbefolkade områdena i södra Sverige där råvarutillgången i jämförelse är sämre. Dock har kraftvärmeverken i Norrland generellt en fördel genom längre driftsäsonger till följd av det kallare klimatet.

Totalt kan produktionspotentialen från anläggningar integrerade med kraftvärmeverk förväntas uppgå till cirka 2 TWh/år om hänsyn tas till maximal storlek, närhet till andra kraftvärmeverk samt till nivån av GROT-uttag i närområdet. Tas ingen hänsyn till aktuellt GROT-uttag i närområdet ligger potentialen kring 3,5 TWh/år.

### Fristående anläggningar

Till skillnad från produktionsanläggningar som integreras med massabruk eller kraftvärmeanläggningar så begränsas fristående anläggningar inte av någon tidigare anläggnings geografiska placering. Tvärtom kan en fristående anläggning placeras där tillgången till lämplig vedråvara är som bäst, transportmöjligheterna goda eller efterfrågan nära. Därigenom erbjuder placeringen av en fristående anläggning möjligheter att optimera på råvarupris, transporter eller närhet till efterfrågan.

Inom fem mil från inlandsbanan, som går mellan Gällivare och Kristinehamn, finns en tredjedel av Sveriges skogsareal och en fjärdedel av den årliga tillväxten. Det årliga bränsleuttaget, som idag är outnyttjat, uppgår utmed banan till cirka 4 TWh.<sup>135 136</sup>

## 8.2 Transport och lagring av pyrolysolja

För transport av pyrolysolja från produktionsanläggningar till tänkta konsumenter kan oljan nationellt transporteras med tåg via järnväg eller via lastbil. För att underlätta analyser mellan pyrolysolja, torkad och otorkad vedråvara har även transportkostnader för flisad GROT och pellets beräknats.

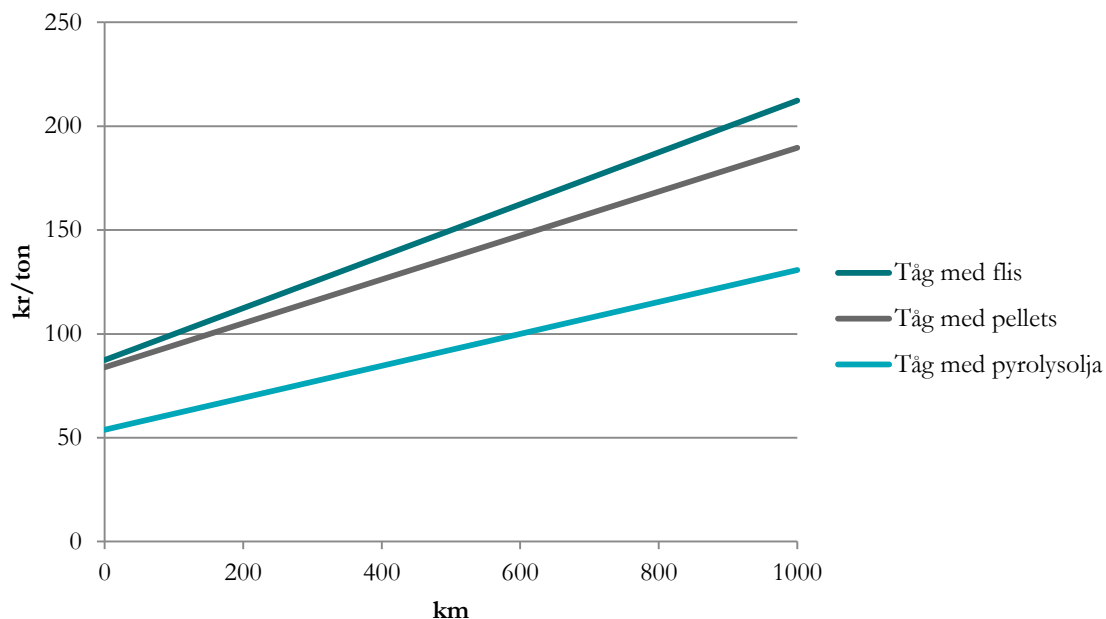
<sup>135</sup> Skogsstatistisk årsbok 2012; Skogsstyrelsen; 2012

<sup>136</sup> Inlandsbanans potential för Sveriges skogsbränsleförsörjning; Johanna Enström et al.; Skogforsk; 2010

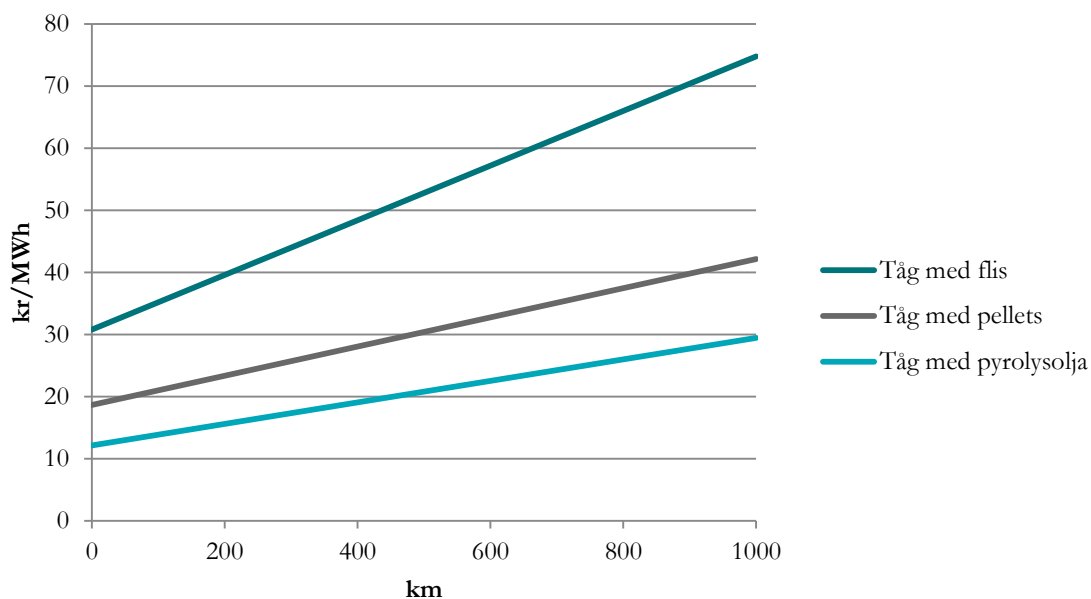
### 8.2.1 Tågtransport

För en fungerande tågtransport krävs tillgång till lastnings- och lossningsterminaler, tågset och järnväg. Tillsammans utgör dessa delar basen för den totala kostnaden för tågtransport. För analys av den totala transportkostnaden med tåg har beräkningsverktyget FLIS använts, ett verktyg utvecklat av Skogforsk för bland annat transportkostnadsberäkningar. Underliggande beräkningar till transportkostnader för tåg framgår av Appendix.

I Figur 41 och Figur 42 framgår transportkostnaden som kr/ton respektive kr/MWh, där terminalskostnaderna är inkluderade i båda fallen.



Figur 41 Viktbaserad transportkostnad med tåg i förhållande till transportsträcka för pyrolysolja, pellets och flisad GROT. Terminalskostnader är inkluderade.



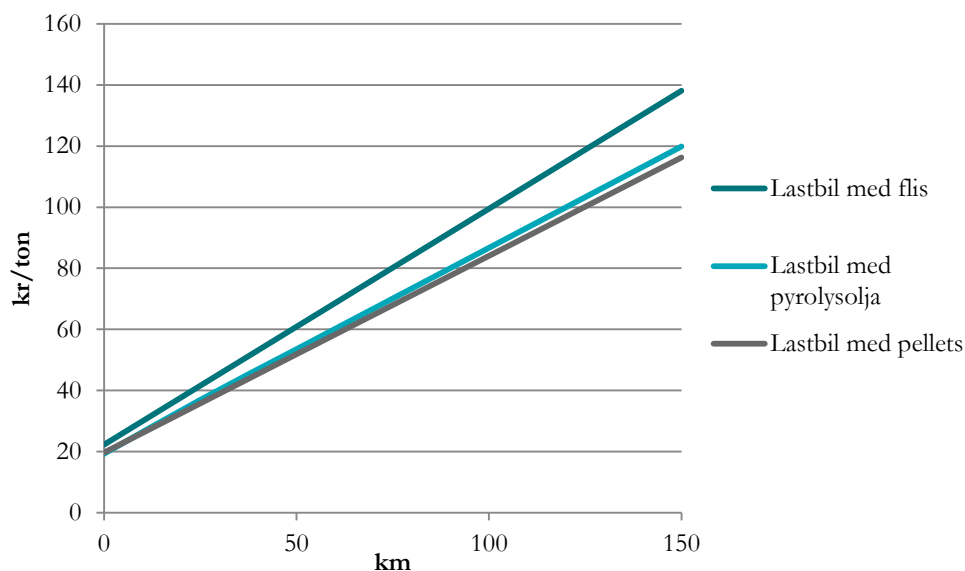
Figur 42 Energimängdbaserad transportkostnad med tåg i förhållande till sträcka för pyrolysolja, flis och pellets. Terminalskostnader är inkluderade.

De totala kostnaderna för transport av pyrolysolja är generellt lägre än de för flisad GROT och pellets. Denna lägre prisbild beror i huvudsak på dels de kortare lastnings- och lossningstiderna för pyrolysolja och dels på dess högre energiinnehåll. Till följd av olika typer av vagnar i de olika tågseten kan därtill tågen med pyrolysolja lasta högre maxlast.

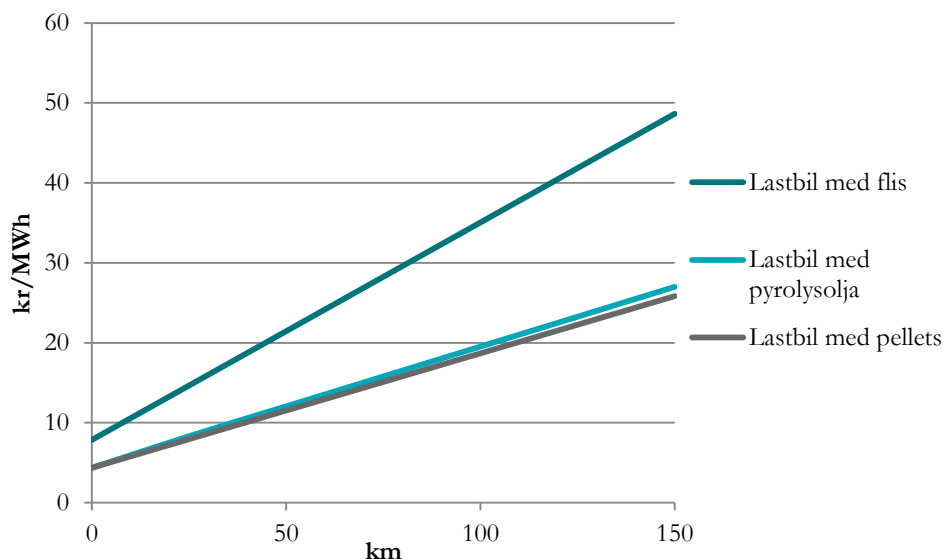
### 8.2.2 Lastbilstransport

För lastbilstransport krävs tillgång till lastande- och lossande terminaler samt lastbil med släp. Beräkningar för kostnader med lastbilstransport av pyrolysolja, flis och pellets har gjorts med hjälp av beräkningsverktyget FLIS. Beräkningar till transportkostnaderna för lastbil går att se i Appendix.

Transportkostnaden av pyrolysolja, flis och pellets med lastbil framgår av Figur 43 och Figur 44.



Figur 43 Viktbaserad transportkostnad i förhållande till sträcka. Terminalskostnader inkluderade.

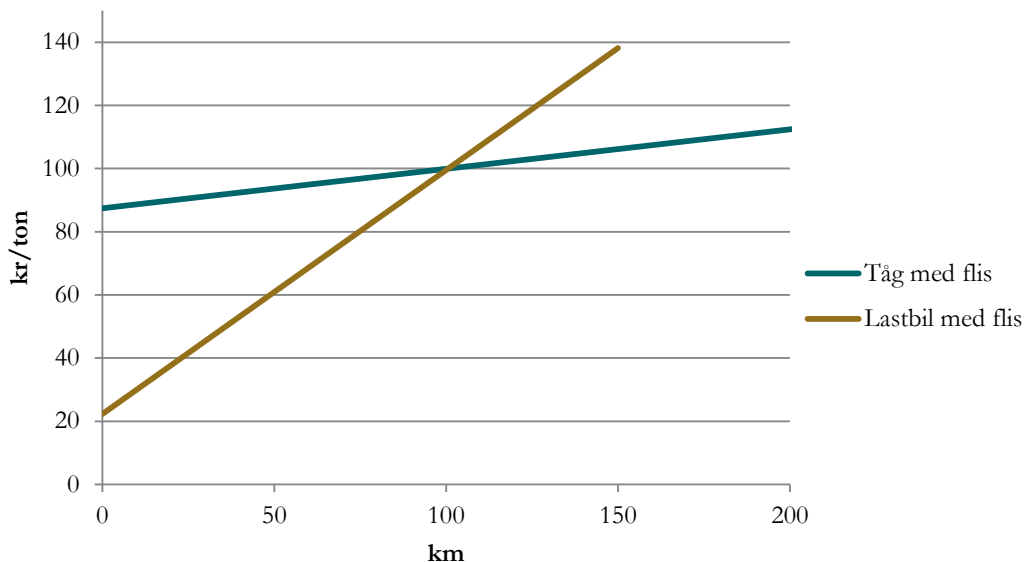


Figur 44 Energimängdsbaserade transportkostnader i förhållande till sträcka. Terminalskostnader inkluderade.

Kostnaderna för transport med lastbil är för flis något högre än de för pyrolysolja och pellets. Detta beror dels på att maxlasten för flistransport med lastbil begränsas av volymlast, samt att lastnings- och lossningstiderna är längre vid flishantering.

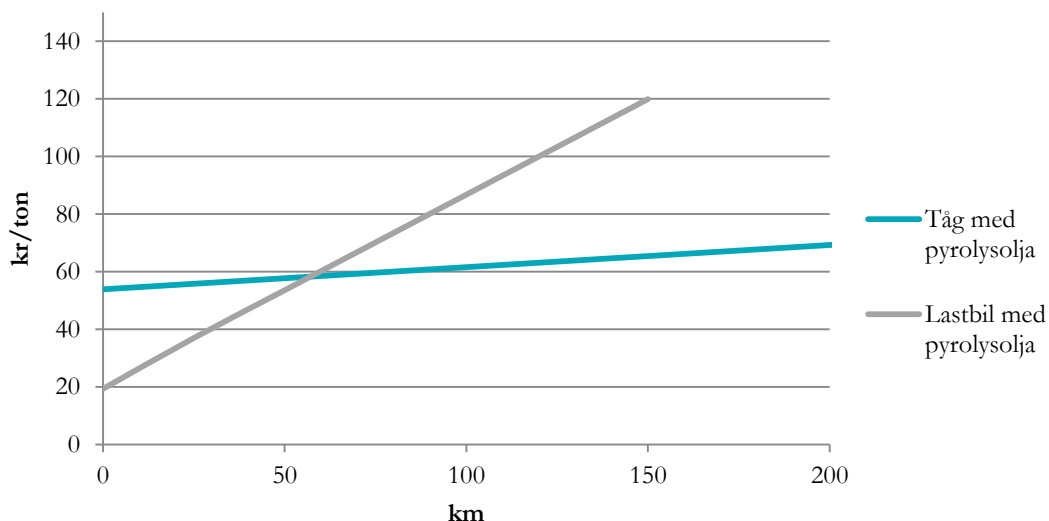
### 8.2.3 Jämförelse mellan tåg- och lastbilstransport

Vid jämförelse mellan transportkostnaderna för tåg- och lastbilstransport framgår att brytpunkten för när tågtransport av flis blir billigare än med lastbil går vid cirka 100 km, se Figur 45. Detta ligger i linje med vad som brukar anses vara brytpunkten för tågtransport, under förutsättning att det är hela tåg som används och inte enstaka vagnar.<sup>137</sup>



Figur 45 Transportkostnader för flis med lastbil och med tåg. Terminalkostnader inkluderade.

Med bakgrund från break-even kring 100 km vid jämförelse av flistransport är det inte märkligt att denna för transport av pyrolysolja inträffar vid kortare transportsträckor. Tågterminalkostnaderna för pyrolysolja är relativt terminalkostnaderna för lastbil lägre än för flis, samtidigt som tågen för pyrolysolja förmår flytta större laster än de för flistransport. Detta sammanfaller i att brytpunkten för tåg- och lastbilstransport för pyrolysolja hamnar kring 50 km, se Figur 46



Figur 46 Transportkostnader för pyrolysolja med lastbil och med tåg. Terminalkostnader inkluderade.

<sup>137</sup> Hemsida; Premiärtur för flis på kort sträcka, Sveaskog; <http://www.sveaskog.se/press-och-nyheter/nyheter/2012/premiartur-for-flis-pa-kort-stracka/>; 2012-03-30

Dock har kostnader för spårbyggnationer ej tagits med i beräkningarna för tågtransportkostnader, utan terminaler har antagits byggda på ställen sådana att spårbyggnationer ej är nödvändiga. Sådana förhållanden kan anses vara svåra att uppnå överallt, men möjligt vid t.ex massabruk och kraftvärmeverk. Även utmed inlandsbanan finns orter som föreslår lastning och lossning av tåg.<sup>138</sup>

#### 8.2.4 Lagring

Lagring av pyrolysolja är viktigt för att kunna avsätta pyrolysoljan vid de tider då den har högt värde, exempelvis som bränsle till spetsvärmelast vintertid. För lagerhållning på 1 år ligger lagringskostnaderna för pyrolysolja kring 50 kr/MWh. För uträkningar, se Appendix.

### 8.3 Potential för användning av pyrolysolja i Sverige

Pyrolysolja har i ett tidigt skede potential att användas inom industri och värmeproduktion där idag bioolja, tallbecksoljor och eldningsoljor används. Om en sådan substitution sker där pyrolysolja finns tillgänglig beror dels på tekniska begränsningar och dels på marknadsmässiga begränsningar i form av prissättning på alternativa bränslen.

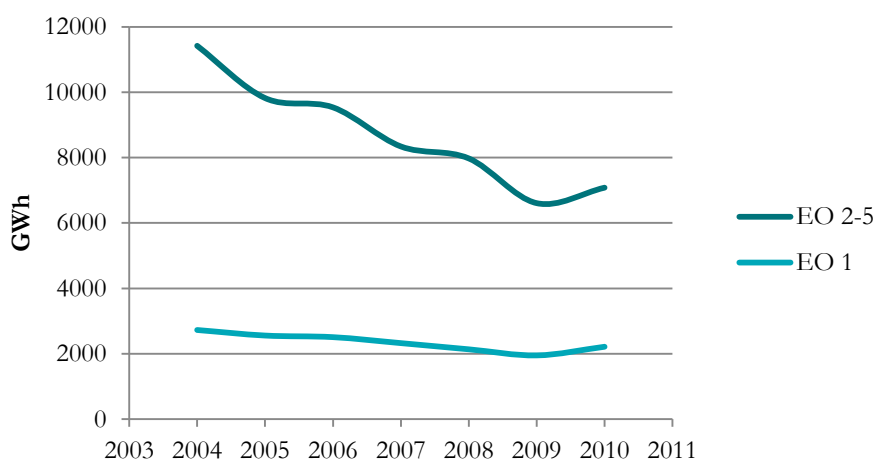
#### 8.3.1 Användning av bioolja och eldningsolja i Sverige

I det korta perspektivet kan pyrolysolja främst ersätta fossila eldningsoljor och bioolja i Sverige för olika industriella applikationer och värmeförbrukning. Därmed begränsas potentialen för pyrolysolja på användarsidan av de nivåer av konsumtion som finns för dessa bränslen idag. Potentialen på användarsidan bör ligga kring minst cirka 10 TWh/år i industri och värmelanläggningar om nödvändiga tekniska investeringar görs.

#### Användning av eldningsolja inom industrin

Eldningsolja som används i industrin kan anses vara lämplig att substituera i ett tidigt skede till följd av jämn användning. Detta då användningen, till skillnad från användning i spetsvärmeverk, inte korrelerar med temperaturen utan är av mer konstant karaktär.

2010 användes i Sverige totalt cirka 9 TWh eldningsolja EO 1-5 inom industrin, varav 7 TWh är EO 2-5 som relativt enkelt kan substitueras med pyrolysolja utan förbehandling. Denna konsumtion, framförallt för de tjockare oljorna EO 2-5, har mellan åren 2004 till 2010 dock minskat avsevärt från totalt cirka 14 TWh årligen, se Figur 47.

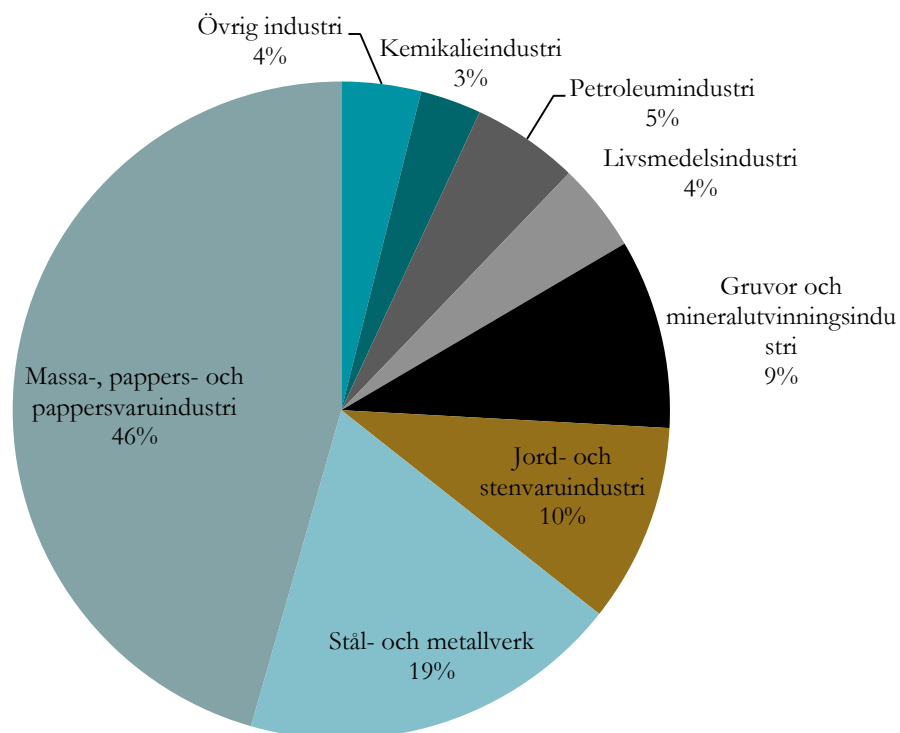


Figur 47 Årlig användning av eldningsolja EO 1 och EO 2-5 under åren 2004 till 2010<sup>139</sup>

<sup>138</sup> Inlandsbanans potential för Sveriges skogsbränsleförsörjning; Johanna Enström et al.; Skogforsk; 2010

<sup>139</sup> Industrins årliga energianvändning 2010 – slutliga uppgifter; Energimyndigheten; 2012

Av de tjocka eldningsolja EO 2-5 används nära hälften av dessa idag inom pappers- och massaindustrin följt av stål- och metallindustri som står för en femtedel, se Figur 48. Den stora andel av dessa eldningsoljor som används vid massabruk kan ur flera perspektiv vara högtintressant. Dels för att det öppnar upp för en initialt relativt stor avsättningsmarknad, dels eftersom massabruken är identifierade som intressanta produktionsplatser vilket kan medföra korta transportavstånd för delar eller hela mängden av den producerade pyrolysoljan.

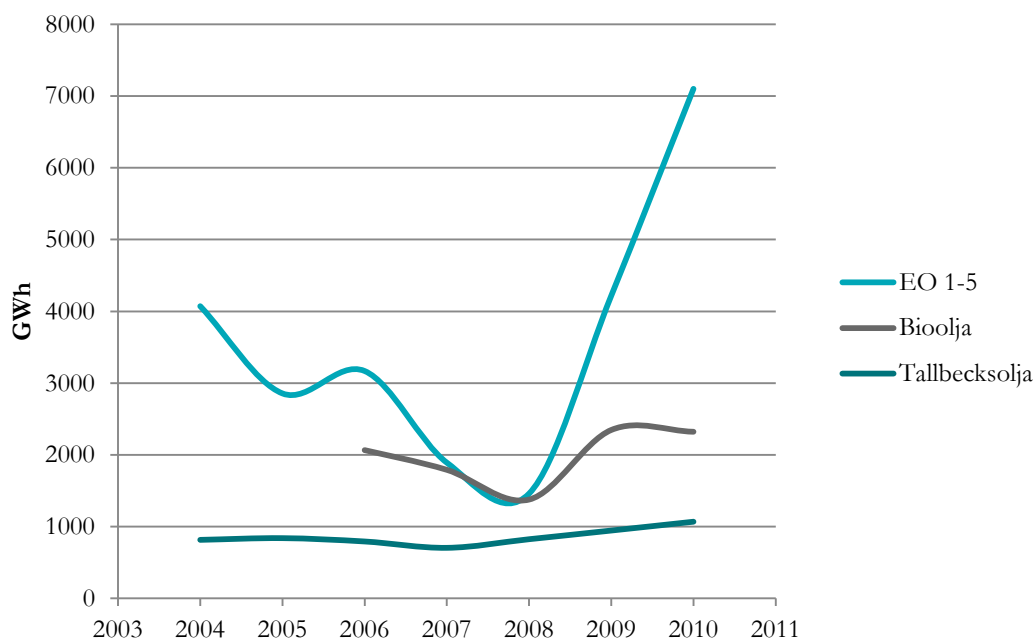


Figur 48 Fördelning av använd Eo2-5 under 2010 <sup>140</sup>

#### Användning av bioolja och eldningsolja i värmeproduktion

I Sverige används idag även anseliga volymer av biooljor, tallbecksolja och eldningsolja till värmeproduktion. Dessa används främst till värmeproduktion vid spets- och reservkraft, även om de i vissa fall även fungerat som baslast. Till skillnad från den industriella användningen fluktuerar användningen till spetsvärme kraftigt beroende på temperaturen, se Figur 49.

<sup>140</sup> Industrins årliga energianvändning 2010 – slutliga uppgifter; Energimyndigheten; 2012



**Figur 49** Årlig användning av Eo1-5, tallbecksolja och bioolja under åren 2004 till 2010<sup>141</sup> i kraftvärme- och värmeproduktion

Biooljor och tallbecksolja kan lämpligen substitueras av pyrolysolja, på grund av att dessa eldas vid anläggningar som är anpassade till användning av bränslen av aggressivare art. Därmed finns utrustning, bortsett från brännarmunstycken, som är nödvändiga för användning av pyrolysoljan. Historiskt ligger användningen av dessa oljor relativt stabilt kring totalt cirka 3 TWh/år. Kvalitén på biooljorna varierar starkt och det är osäkert om pyrolysolja kan ersätta de bättre kvalitéerna.

Användningen av eldningsolja EO 1-5 har varierat desto mer mellan 1,5-7 TWh/år och ligger därmed ofta över den individuella användningen av bioolja och tallbecksolja.

Den totala potentialen för användning av pyrolysolja kan således anses ligga kring minst 3,5 TWh/år, med hänsyn tagen till redan konverterade anläggningar och variationer från år till år.

### 8.3.2 Prissättning på eldningsolja, bioolja, flis och pellets

Användningspotentialen för pyrolysolja begränsas av priset på de alternativa produkterna. Då pyrolysolja kan ersätta eldningsolja och bioolja i olika applikationer konkurrerar den mot dessa vid substituering. Därtill konkurrerar pyrolysolja även med naturgas, flis och pellets på sikt, då dessa bränslen kan användas i flertalet applikationer efter teknisk och organisatorisk anpassning.

Tabell 17 visar en sammanställning av bränslepriser år 2011 för eldningsolja 1 och 5, naturgas, tjocka bioolja, tunna bioolja, flis och pellets. Tunna och tjocka bioolja kan med konverterade pannor ha samma användningsområde som eldningsolja 1 respektive 5.

<sup>141</sup> Hemsida; Tillförd Energi, Svensk Fjärrvärme; <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/>; 2012-02-02

**Tabell 17 Bränslekostnader inklusive skatt för nivåer gällande 2011<sup>142, 143</sup>**

Användning	Bränsle	Energikostnad	Energiskatt (kr/MWh)	Koldioxidskatt (kr/MWh)	Svavelskatt (kr/MWh)	Summa (kr/MWh)
Normal skattesats till uppvärmning i privathushåll	Eldningsolja 1	549	80	303	0	932
	Eldningsolja 5	454	75	285	8	822
	Natargas	389	81	205	0	675
Värmeverk	Eldningsolja 1	549	80	285	0	914
	Eldningsolja 5	454	75	268	8	805
	Natargas	389	81	193	0	663
Kraftvärmeverk	Eldningsolja 1	549	24	21	0	594
	Eldningsolja 5	454	23	20	8	504
	Natargas	389	24	14	0	428
Industri inom EU ETS <sup>144</sup>	Eldningsolja 1	549	24	0	0	573
	Eldningsolja 5	454	23	0	0	477
	Natargas	389	24	0	0	413
Biobränslen	Tjocka biooljor	560	0	0	0	560
	Tunna biooljor	900	0	0	0	900
	Flis- KVV	214	0	0	0	214
	Flis - industri	199	0	0	0	199
	Pellets	300	0	0	0	300

Kostnaden på eldningsoljorna EO 1 och EO 5 varierar kraftigt beroende på användningsområde, till följd av olika skattesatser. Eldningsoljorna är därför lättast att konkurrera med vid värmeverk, där priserna ligger kring 800-900 kr/MWh. Priserna är lägre till kraftvärmeverk, men då dessa med fossil olja går miste om elcertifikat ligger den verkliga kostnaden egentligen högre än de här redovisade 500-600 kr/MWh. Eldningsolja till industri är relativt billig då denna är belagd med 70 % energiskattereduktion.

Biooljorna ligger prismässigt mellan 560-900 kr/MWh beroende på kvalitet, flisen omkring 200 kr/MWh och pelletsen omkring 300 kr/MWh. Konkurrens med flis och pellets sker således inte särskilt lätt med låga priser, utan snarare i enklare tekniska system och lättare hantering av bränslet.

#### 8.4 Systemjämförelse och slutsatser

Pyrolysoljans möjligheter att slå sig in på marknaden för eldningsoljor beror till stor del på hur denna kan konkurrera med befintliga alternativ. Då de befintliga alternativen, i första hand eldningsolja och bioolja men även flis och pellets, redan idag handlas på etablerade marknader är kostnadmässiga jämförelser för pris fritt levererat anläggning möjliga att göra. Dock är inte kostnaden för råvaran den enda faktorn som spelar in vid val av bränsle, utan såväl tekniska, affärsmässiga såväl som politiska begränsningar spelar ofta in.

För återspegla den totala kostnaden för pyrolysolja, fritt levererat anläggning, jämförs olika produktions- och konsumtionsfall med mellanliggande transport med varandra. Som produktionsorter används i jämförelsen:

- Produktion vid massabruk vid Norrlands kustland (MB)
- Produktion vid kraftvärmeanläggning i södra Sverige (KVV)
- Produktion vid fristående anläggning i Norrlands inland (FA)

Produktionsorternas geografiska lokalisering härleds till den antagna potentialen som för massabruk är störst i norra Sverige och för kraftvärmeverk störst i södra Sverige. Den fristående anläggningen förläggs till Norrlands inland, för att möjliggöra utnyttjande av dess potential till utökad energiuttag från skogen.

<sup>142</sup> Övervakningsrapport avseende skattebefrielse för vissa biobränslen vid användning som bränsle för uppvärmning år 2011; Jonas Paulsson; Energimyndigheten; Dnr 2012-1730; 2011

<sup>143</sup> Trädbränsle- och torvpriser nr-2012; Energimyndigheten; 2012

<sup>144</sup> Tillkommande kostnad för utläppsrätter är cirka 20 – 30 kr/MWh.



De underliggande produktionskostnaderna beräknas som ett genomsnitt av kostnaderna för integrationsfallen för varje produktionsslag. Envergens kraftvärmeverksintegrerade anläggning är undantagen analysen, då denna sticker ut jämfört med de andra och inte kan anses representativ.

Analogt med produktionsfallen används i jämförelsen olika konsumtionsmöjligheter. Konsumtion antas i jämförelsen ske i:

- Industriell användning i massabruk vid Norrlands kustland. (Ind. Massa)
- Industriell användning i större stad i södra Sverige
- Användning till spetsvärme i större stad i södra Sverige.

Den industriella användningen av pyrolysolja är intressant av flera anledningar. En anledning är att det redan idag används flertalet TWh eldningsolja inom industrin, där massaindustrin är en stor konsument, vilket öppnar för stora möjligheter att substituera dessa eldningsoljor. Därjämte är industriell användning intressant då dess konsumtion sker i jämn takt, vilket minskar behovet av lagring avsevärt.

Användning av pyrolysolja som bränsle i spetsvärmeproduktion är intressant då det idag finns många biooljekonverterade pannor som lämpar sig väl till eldning av pyrolysolja.

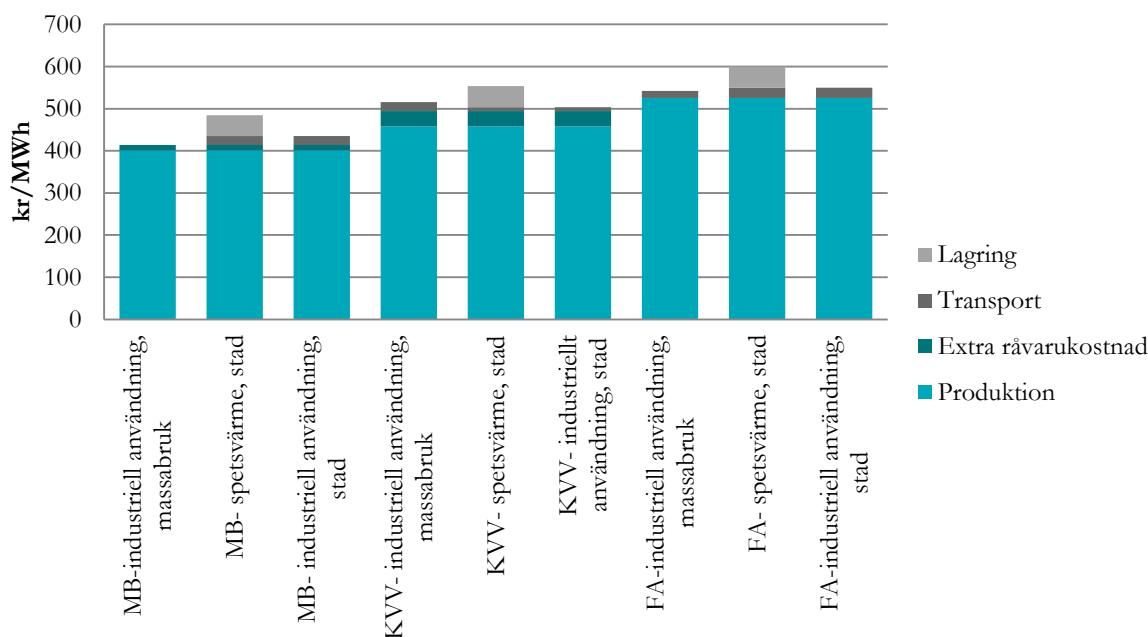
Den totala kostnaden fritt levererad anläggning beror utöver den rena produktionskostnaden även på transportbehov, lagringskrav och råvarusituation för produktionsanläggningen. Råvarusituationen beror främst på produktionsanläggningens geografiska läge, där ett ur råvarusynpunkt negativt läge medför extra råvarukostnader. Förhållanden för transport, lagring och extra råvarukostnader för de olika produktionskonsumtionsvägarna framgår av Tabell 18.

**Tabell 18** Förhållanden för transport, lagring och extra råvarukostnader för olika produktionskonsumtionsvägar.

Produktionsort	Massabruk			Kraftvärmeverk			Fristående anläggning		
	Ind. Massa	Ind. Stad	Spetsvärme	Ind. Massa	Ind. Stad	Spetsvärme	Ind. Massa	Ind. Stad	Spetsvärme
Transportavstånd	0	500	500	500	30	30	250	700	700
Lagringskrav	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja
Extra råvarukostnad	13	13	13	37	37	37	0	0	0

Relativt den fristående anläggningen så påverkas både produktionen vid massabruk och kraftvärmeverk av förhöjda råvarukostnader till följd av ökad konkurrens om råvaran kring dessa produktionsorter. Dock så påverkas den fristående anläggningen negativt av längre transportavstånd. Transporterna sker för de längre avstånden från och med 250 km med tåg medan den för den kraftvärmeintegrerade produktionen sker med lastbil till den lokala marknaden.

De samlade kostnaderna för pyrolysolja fritt levererat till anläggning i de olika produktionskonsumtionsfallen går att se i Figur 50.



Figur 50 Sammanställande jämförelse mellan olika produktions-konsumtionsvägar.

Kostnaden för pyrolysolja fritt levererad vid anläggning varierar starkt för de olika fallen mellan 400-600 kr/MWh. Olikheter i kostnader beror främst på stora skillnader i de underliggande produktionskostnaderna. I jämförelse med produktionskostnaderna blir transport-, lagrings- och de extra råvarukostnaderna snarare utslagsgivande på marginalen mellan anläggningar med samma typ av produktion, än utslagsgivande mellan olika typer av produktion.

Pyrolysoljan producerad i anläggningar integrerade med massabruk har prismässigt potential att konkurrera med bioolja och eldningsolja. För fallen där pyrolysoljan konsumeras i en industriell process ligger kostnaderna kring 400-420 kr/MWh, jämfört med EO5 på 480 kr/MWh och tjocka bioolja på 560 kr/MWh. För konsumtion som spetsvärme ligger kostnaderna på pyrolysolja högre till följd av lagring, cirka 480 kr/MWh samtidigt som EO5 och bioolja ligger på 805 kr/MWh respektive 560 kr/MWh.

Produceras pyrolysoljan vid fristående anläggning eller vid anläggning integrerad med kraftvärmeverk är produktionskostnaderna avsevärt högre och det blir svårare att konkurrera med eldningsolja och bioolja.

Jämförs kostnaderna för den fritt levererade pyrolysoljan med de för flis och pellets, 200-220 kr/MWh respektive 300 kr/MWh, är det rent kostnadsmässigt svårt att konkurrera. Däremot erbjuder pyrolysolja enklare tekniska system för hantering och användning. Således är pyrolysolja lämpligast att substituera med olja eller bioolja där användning av pellets eller flis ännu inte sker.

## 9 Litteraturförteckning

- ASTM International. (2012). *ASTM D7544-09*. Hämtat från <http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D7544-09.htm>
- Autio, J. (10 2012). Metso Power Oy. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Autio, J. (den 05 09 2012). Metso Power Oy. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Bergman, P., Boersma, A., Zwart, R., & Kiel, J. (2005). *Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations*. Utrecht: ECN.
- Bergström, S. (den 15 10 2012). VD Honeywell AB. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Bergström, S. (den 17 10 2012). VD, Honeywell AB. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Bezanson-Mech, A. (u.d.). *Pyrolysis & Torrefaction of Biomass*. Hämtat från <http://poisson.me.dal.ca/site2/courses/mech4840/Pyrolysis%20&%20Torrefaction%20of%20Biomass.pdf> 2012
- Bradley, D. (2006). *European Market Study for BioOil(Pyrolysis Oil)*. Ottawa: Climate Change Solutions.
- Bridgwater, A. (2004). *Biomass Fast Pyrolysis*. Birmingham: Aston University.
- Brunberg, T. (den 25 10 2012). Skogforsk. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- BTG-BTL. (u.d.). *Combustion of pyrolysis oil in a 9MWth water tube boiler*. Hämtat från <http://www.btg-btl.com/uploads/documents/Stork%20TS%20pyrolysis%20oil%20burner%20tests.pdf>
- Cepla, D. (den 29 10 2012). Managing Director Envergent Technologies. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- D'apponia. (2011). *Coll'Energia Srl Milano, Italia – Impianto per la produzione di un bio-liquido (olio di pirólisi) e generazione di energia elettrica Colle Val D'Elsa*. Maggio.
- ECN Phyllis 2. (2012). *Databade for biomass and waste*. Hämtat från <http://www.ecn.nl/phyllis2/>
- Ekbom, T., & Henriksson, A. (2012). *Potential för produktion av biodrivmedel vid bioraffinaderier i Värmland*. Karlstad: Energikontor Värmland.
- Eliasson, L. (den 02 07 2012). Forskare, Skogforsk. (G. Benjaminsson, Intervjuare)
- Elliot, D., Oasmaa, A., Preto, F., Meier, D., & Bridgwater, A. (2012). Results of the IEA Round Robin on Viscosity and Stability of Fast Pyrolysis Bio-Oil. *Energy & Fuels*, 3769-3776.
- Energimyndigheten. (2012). *Industrins årliga energianvändning 2010 – slutliga uppgifter*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (2012). *Trädbränsle- och torrpriser nr-2012*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- EnergyManagerTraining. (u.d.). *Best Practice Manual - Dryers*. Hämtat från [http://www.energymanagertraining.com/bee\\_draft\\_codes/best\\_practices\\_manual-DRYERS.pdf](http://www.energymanagertraining.com/bee_draft_codes/best_practices_manual-DRYERS.pdf)
- Enström, J. (2009). *Terminalhantering för effektivare järnvägstransporter av skogsbränsle*. Uppsala: Skogforsk.
- Enström, J., Barth, A., Winberg, P., Fogdestam, N., & Berg, S. (2010). *Inlandsbanans potential för Sveriges skogsbränsleförsörjning*. Uppsala: Skogforsk.

- Folkesson, E., Karlsson, J., Svensson, J., & Thuvander, J. (2011). *Torrefiering av bark*. Lund: LTH - Lunds Universitet.
- Francey, S., Tran, H., & Jones, A. (2008). *Current Status of Alternative Fuel Use in Lime Kilns*. Toronto: University of Toronto.
- Freel, B. (2011). *Patentnr US2011/0123407 A1*. USA.
- Green Fuel Nordic Oy. (2012). *Green Fuel Nordic Oy*. Hämtat från <http://www.greenfuelnordic.fi/>
- Gustavsson, R. (den 21 08 2012). Green Cargo. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Havu, A., & Björckbacka, H. (2008). KUVVO bandtork. *Fiber&Paper&Powerexpress*, s. 6.
- Houck, J., & Clark, J. (2009). *Higher Heating Value and Lower Heating Value Variation*. Portland: OMNI Environmental Services.
- IEA. (2007). Biomass Pyrolysis. *IEA Bioenergy*.
- Johansson, I. (2004). *Värmeforsk 881 "Torkning av biobränslen med spillvärme*. Stockholm: Värmeforsk.
- Johnson, A. (den 03 07 2012). Säljare, TSI. (G. Benjaminsson, Intervjuare)
- Klaubert, H., & Meier, D. (2002). *Untersuchung zur Wirbelschichtpyrolyse von Holzpartikeln*. Hamburg: BFH-Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.
- Kruglinski, T. (den 06 06 2012). *Oil and gas drive hot leasing market*. Hämtat från <http://www.railwayage.com/index.php/blogs/tony-kruglinski/oil-and-gas-drive-hot-leasing-market.html#.UKt7coc3iE0>
- Lassi, U., & Wikman, B. (2011). *Förgasning av biomassa till värme, elektricitet och biobränslen*. Karleby: Jyväskylä universitet.
- Latein, T. (den 03 07 2012). Försäljare, Stela Trocknungstechnik. (G. Benjaminsson, Intervjuare)
- Lehto, J., & Solantausta, Y. (den 13 08 2012). Forskare, VTT. (G. Benjaminsson, & N. Bengtsson, Intervjuare)
- Meier, D. (2002). *Flash-Pyrolyse zur Verflüssigung von Biomasse - Stand der Technik*. Hamburg: BFH-Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.
- Meier, D., Schöll, S., & Hoffman, S. (2007). *Wirtschaftliche Realisierung der Flashpyrolyse von Altholz mit anschließender energetischer Verwertung in einem BHKW*. Hamburg: BFH-Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.
- Muggen, G. (den 02 07 2012). Managing Director. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Mäenpää, K. (den 07 03 2012). *Bio-oil production plant to Fortum power plant in Joensuu, Finland*. Hämtat från [http://www.metso.com/News/Newsdocuments.nsf/Attachments/Bio-oilproductionplanttoFortumpowerplantinJoensuu,Finland/\\$File/Fortum%20Joensuu%20press%20event%202012-03-07-EN.pdf?OpenElement](http://www.metso.com/News/Newsdocuments.nsf/Attachments/Bio-oilproductionplanttoFortumpowerplantinJoensuu,Finland/$File/Fortum%20Joensuu%20press%20event%202012-03-07-EN.pdf?OpenElement)
- Mäntyniemi, J., & Autio, J. (den 14 08 2012). Metso Power Oy. (G. Benjaminsson, & N. Bengtsson, Intervjuare)

- Noomen, E. (den 10 07 2012). Treepower. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Norra skogsägarna. (den 02 02 2013). *GROT-priser Norrbottens kust*. Hämtat från [http://www.norra.se/verksamhet/skogochvirke/Saljavarke/Documents/Energisortiment\\_prislista\\_Norrbotten%20kust.pdf](http://www.norra.se/verksamhet/skogochvirke/Saljavarke/Documents/Energisortiment_prislista_Norrbotten%20kust.pdf)
- Oasmaa, A., & Peacocke, C. (2010). *Properties and fuel use of biomass derived fast pyrolysis liquids*. Espoo: VTT.
- Oasmaa, A., Kuoppala, E., & Solantausta, Y. (2003). Fast Pyrolysis of Forest Residue. 2. Physicochemical Composition of Product Liquid. *Energy & Fuels*, 433-443.
- Oasmaa, A., Solantausta, Y., Arpiainen, V., Kuopla, E., & Sipilä, K. (2010). Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues. *Energy & Fuels*, 1380-1388.
- Olofsson, J. (den 14 09 2011). *Seminarium Praktisk Förbränningsteknik Fluidpannor*. Hämtat från [http://www.varmeforsk.se/files/seminarier/praktisk\\_forbranning/Jan\\_Olofsson\\_Mesto\\_Power.pdf](http://www.varmeforsk.se/files/seminarier/praktisk_forbranning/Jan_Olofsson_Mesto_Power.pdf)
- Palo, K. (den 12 09 2012). Oilon Oy. (G. Benjaminsson, Intervjuare)
- Paulsson, J. (2011). *Övervakningsrapport avseende skattebefrielse för vissa biobränslen vid användning som bränsle för uppvärmning år 2011*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Rengel, A. (2007). *Study of Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: State of the Art and Modelling*. Stockholm: KTH.
- Ringer, M., Putsche, V., & Scahill, J. (2006). *Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis*. Battelle: National Renewable Energy Laboratory .
- Rinket, M. (den 12 09 2012). Stork Technical Services. (G. Benjaminsson, Intervjuare)
- Rodin, J., & Wennberg, O. (2010). *Värmeforsk rapport 1150 "Förgasning för bränsleproduktion i stor- och småskaliga energikombinat"*. Stockholm: Värmeforsk.
- Sandgren, A.-M. (2010). *Värmeforsk rapport 1132 "Flytande biobränslen för el- och värmeproduktion"*. Stockholm: Värmeforsk.
- Schinkel, A.-P. (2008). *Zur Bildung und Degradation von Teeren aus der Pyrolyse Nachwachsender Rohstoffe*. Kassel: Uni Kassel.
- Skogsindustrierna. (den 02 02 2012). *Medlemskarta för skogsindustrierna*. Hämtat från [http://www.skogsindustrierna.se/om\\_oss/medlemmar\\_1/medlemskarta](http://www.skogsindustrierna.se/om_oss/medlemmar_1/medlemskarta)
- Skogsstyrelsen. (2012). *Skogsstatistisk årsbok*. Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. (2012). *Tabeller & figurer*. Hämtat från <http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Avverkning-och-virkesmatning/Tabeller--figurer/>
- Stahl, R., Henrich, E., Gehrman, H., Vodegel, S., & Koch, M. (2004). *Definition of a standard biomass*. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe.
- Strömberg, B. (2004). *Rening av flygaska*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme.

- Sveaskog. (den 30 03 2012). *Premiärtur för flis på kort sträcka*. Hämtat från <http://www.sveaskog.se/press-och-nyheter/nyheter/2012/premiartur-for-flis-pa-kort-stracka/>
- Svebio. (2012). *Mer bioolja än fossilolja i den svenska fjärrvärmens*. Hämtat från <http://www.svebio.se/svebionytt/mer-bioolja-fossil-olja-i-den-svenska-fjarrvarmen>
- Svensk Fjärrvärme. (den 02 02 2012). *Tillförd Energi*. Hämtat från <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/>
- SWISS COMBI. (2012). *SWISS COMBI Bandtrockner*. Hämtat från [http://www.swisscombi.ch/files/downloads/de/SWISS\\_COMBI\\_Bandtrockner.pdf](http://www.swisscombi.ch/files/downloads/de/SWISS_COMBI_Bandtrockner.pdf)
- Södra. (den 02 02 2013). *GROT-priser södra Sverige*. Hämtat från <http://skog.sodra.com/sv/Salja-Virke/Virkesprislista/>
- Thorsson, O. (2004). *Värmeforskerapport 868 "Moderna panndata inom samförbränning"*. Stockholm: Värmeforsk.
- Toussaint, A. (den 27 07 2012). Technical Manager, BTG-BTL. (G. Benjaminsson, & N. Bengtsson, Intervjuare)
- Toussaint, A. (den 04 07 2012). Technical Manager, BTG-BTL. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Toussaint, A. (den 01 08 2012). Technical Manager, BTG-BTL. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Umeå Universitet. (den 06 04 2011). *Torrefiering*. Hämtat från <http://www.tfe.umu.se/forskning/etpc/forskningsomraden/torrefiering/>
- Wadsborn, R., Berglin, N., & Richards, T. (2007). *Värmeforske Rapport 1040 "Konvertering av mesaugnar från olje till biobränsleledning – drifterfarenheter och modellering"*. Stockholm: Värmeforsk.
- Vamvuka, D. (2010). *Bio-oil, solid and gaseous biofuels from biomass pyrolysis processes – An overview*. Technical University of Crete.
- Van de Velden, M., Ingram, A., Fan, X., & Baeyens, J. (2007). *Fast Pyrolysis of Biomass in a Circulating Fluidised Bed*. Birmingham: University of Birmingham.
- Venderbosch, R., & Prins, W. (2010). Fast pyrolysis technology development. *Biofpr*, 178-208.
- Venderbosch, R., & Prins, W. (2012). *Entrained Flow Gasification of Bio-Oil for Syngas*. Enschede: BTG.
- Wiinikka, H. (den 29 10 2012). FoU Chef, ETC. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Wissmiller, D. (2009). *Pyrolysis oil combustion characteristics and exhaust emissions in a swirl-stabilized flame*. Iowa State University.
- Worley, M. (den 15 03 2011). *Biomass Drying Technology Update*. Hämtat från <http://www.tappi.org/content/Events/11BIOPRO/19.2Worley.pdf>
- Wästerlund, I., Nilsson, P., & Nordenmark, M. (2011). *Lagring av GROT-flis med tre olika metoder*. Umeå: SLU.
- Åholm, B. (den 31 10 2012). Eskilstuna Energi & Miljö. (N. Bengtsson, Intervjuare)
- Öhrman, O. (10 2012). Forskare, ETC. (N. Bengtsson, Intervjuare)

Östman, A. (2007). *Alphakat-process för framställning av dieselbränsle ur träråvara*. Eskilstuna: Energimyndigheten.

## 10 Appendix

### 10.1 Transport och lagring av pyrolysolja

Pyrolysolja kan nationellt fraktas via järnväg eller via lastbil.

Transport av pyrolysolja har analyserats i fallen transport med tåg och transport med lastbil. I båda fallen har en jämförelse med flis och pellets gjorts. Därtill har analys av lagring av pyrolysolja utförts. Alla analyser sker med jämförelse till pellets och flisad GROT.

#### 10.1.1 Tågtransport

För en fungerande tågtransport krävs tillgång till lastnings- och lossningsterminaler, tåg och järnväg och dessa delar bildar tillsammans den totala kostnaden för tågtransport.

##### Terminalskostnader

En konkurrenskraftig investering i tågterminal för pyrolysolja förutsätter att terminal för lastning och lossning byggs där det finns tillgång till järnvägsspår, där tåg kan stå under lastning och lossning. Vidare är det viktigt att storleken på de i systemet ingående terminalerna är så dimensionerade så tidsåtgången för lastning och lossning kan minimeras. De storlekar och kapaciteter över lastande och lossande terminaler som förutsätts går att se i Tabell 19.

**Tabell 19** Storlek och kapacitet för lastande och lossande terminaler i system för transport av pyrolysolja

	Lastande terminal	Lossande terminal	
Lagringsvolym	6 000	3 000	m <sup>3</sup>
Lagringskapacitet	32	16	GWh
Anslutningar för lastning/lossning	3	2	st
Hårdgjord yta	2000	0	m <sup>2</sup>
Volymomsättning	100 000	50 000	ton/år
Volymomstättning	450	225	GWh/år
Lastkapacitet	200	133	ton/h

Den i terminalerna medräknade lagringsvolymerna för pyrolysolja är korttidslager som motsvarar cirka 3 veckors produktion för en anläggning i storlekklassen 500 GWh årlig produktion. Lastkapaciteten hänger samman med antalet anslutningar för lastning och lossning och därmed även vilken kapacitet som en terminal har för att hantera inkommande tåg. Det förutsätts att den lossande terminalen ligger vid en konsument som har tillgång till hårdgjorda yta vid spår.

Terminalernas ingående delar är förknippade med investeringskostnader som beräknas enligt schablonvärden, se Tabell 20. De totala kostnaderna för lastande och lossande terminaler går att se i Tabell 21.

**Tabell 20** Kostnadsparametrar för lastande och lossande terminaler i system för transport av pyrolysolja

Cistern	2500		kr/m <sup>3</sup>
Markarbete	500		kr/m <sup>2</sup>
Anslutningspunkter	1 000 000		kr/st
Hanteringskostnad	1000		kr/h
Underhållskostnad	4,5	% av tekniska installationer	
Avskrivningstid	20		år
Kalkylränta	5,5		%



**Tabell 21 Kostnader för lastande och lossande terminaler i system för transport för pyrolysolja**

	Lastande terminal	Lossande terminal	
<b>Investeringskostnader</b>			
Cistern	15 000 000	7 500 000	kr
Anslutningspunkter	3 000 000	2 000 000	kr
Markarbete	1 000 000	0	kr
<b>Totalt</b>	<b>19 000 000</b>	<b>9 500 000</b>	<b>kr</b>
<b>Kostnader</b>			
Kapitalkostnader	1 650 000	825 000	kr/år
Underhåll	135 000	90 000	kr/år
Lastning/Lossning	1 000 000	500 000	kr/år
<b>Totalt</b>	<b>2 800 000</b>	<b>1 400 000</b>	<b>kr/år</b>
<i>Totala terminalskostnader</i>			
Antal terminaler	1	2	st
Totalkostnad	5	6	kr/MWh
<b>Totalt</b>		<b>11</b>	<b>kr/MWh</b>

Antalet terminaler i det tänkta transportsystemet för tågtransport av pyrolysolja är satt till en lastande och två lossande terminaler. För båda typer av terminaler är dock kostnaden för lagringscistern den enskilt största posten. Den totala terminalkostnaden för lastande och lossande terminaler för pyrolysolja är 11 kr/MWh.

Terminalkostnader för flis- och pelletshantering framgår av Tabell 22. Det har antagits att terminalskostnaderna på viktbasis för pelletshantering är identiska med de för flishantering. Detta ger dock upphov till olika kostnader på energibasis.

**Tabell 22 Terminalskostnader för flis och pelletshantering**

	Flisterminal <sup>145</sup>	Pelletsterminal	
<b>Lastande terminal</b>			
Hanteringskostnad	9,8	6,1	kr/MWh
Kapitalkostnad	4,9	3,1	kr/MWh
<b>Lossande terminal</b>			
Hanteringskostnad	7,4	4,6	kr/MWh
Kostnad för ökat lagringsbehov	2,5	1,5	kr/MWh
<b>Totala terminalskostnader</b>	<b>24,6</b>	<b>15,3</b>	<b>kr/MWh</b>

### Tågstkostnad

Utöver terminaler bär ett transportsystem för tåg kostnader förknippade med järnväg, så som kapitalkostnad för tåg, personalkostnader, spåravgift etc. Genom att använda beräkningsverktyget FLIS, utvecklat av Skogforsk, tas en stor mängd tågrelaterade parametrar med i beräkningarna för transportkostnad.

För analys av transportkostnaderna har kostnaderna analyserats som uppkommer i samband med transport knutet till ett unikt tåg. Beroende på uppdrag är tågen något annorlunda utrustade, och får därmed olika lastningskapaciteter, antal vagnar och lastnings- och lossningstider. Tågen som transporterar

<sup>145</sup> Terminalhantering för effektivare järnvägstransporter av skogsbränsle; Johanna Enström; Resultat NR. 13 2009, Skogforsk; 2009

pyrolysolja har utrustats med vagnar som är i rostfritt stål. Dock har inte hänsyn tagits till att tankarna eventuellt bör vara värmeisolerade. Tågspecifika data går att se i Tabell 23.

**Tabell 23** Specifika data och egenskaper för tåg till transport av pyrolysolja, flis och pellets

	Tågtransport av pyrolysolja	Tågtransport av flis	Tågtransport av pellets	
Lok	38 500 000	38 500 000	38 500 000	kr/st
Vagnar, 4-axl	900 000 <sup>146</sup>	975 000 <sup>147 148</sup>	975 000 <sup>149 150</sup>	kr/st
Antal vagnar	17	20	20	st
Containrar per vagn	-	3	3	st
Vikt lok	80	80	80	ton/st
Vikt vagnar	21	20	20	ton/st
Vikt container	-	3	3	ton/st
Maxvikt	1 600	1 600	1 600	ton/tåg
Maxlast (vikt)	1 163	946	946	ton/tåg
Verklig last (vikt)	1 163	800	946	
Verklig last (volym)	970	2760	1890	m <sup>3</sup> s/tåg
Lastningstid	2,5	5	5	h
Lossningstid	2,5	5	5	h

Som framgår finns en begränsning på 1 600 ton/tåg som sätts av lokets dragförmåga.<sup>151</sup> Vidare kan lastningen begränsas antingen av vikt eller av volym, på grund av olika egenskaper för pyrolysolja, flis och pellets, se Tabell 24. I fallet med flisen begränsas lastkapaciteten av maximal lastvolym, medan den för pellets och pyrolysolja begränsas av ett maximalt tillåtet axeltryck om 22,5 ton/axel.

**Tabell 24** Densitet och energitäthet för pyrolysolja, flis och pellets

	Pyrolysolja	Flis <sup>152</sup>	Pellets	
Densitet	1,2	0,290	0,5	ton/m <sup>3</sup> s
Energitäthet	4,44	2,84	4,5	MWh/ton

### 10.1.2 Totala tågtransportkostnader

För analys av system med tågtransport antas att tågen vid maxbeläggning kör 75 % av veckans timmar totalt, tid för lastning och lossning inkluderad. Viktbaserade, respektive energimängdsbaserade, resultat för transportkostnader inklusive terminalskostnader framgår av Figur 51 och Figur 52.

<sup>146</sup> Hemsida; Oil and gas drive hot leasing market; Tony Kruglinski;  
<http://www.railwayage.com/index.php/blogs/tony-kruglinski/oil-and-gas-drive-hot-leasing-market.html#.UKt7coc3iE0>; 2012-06-06

<sup>147</sup> Beräkningsverktyg FLIS

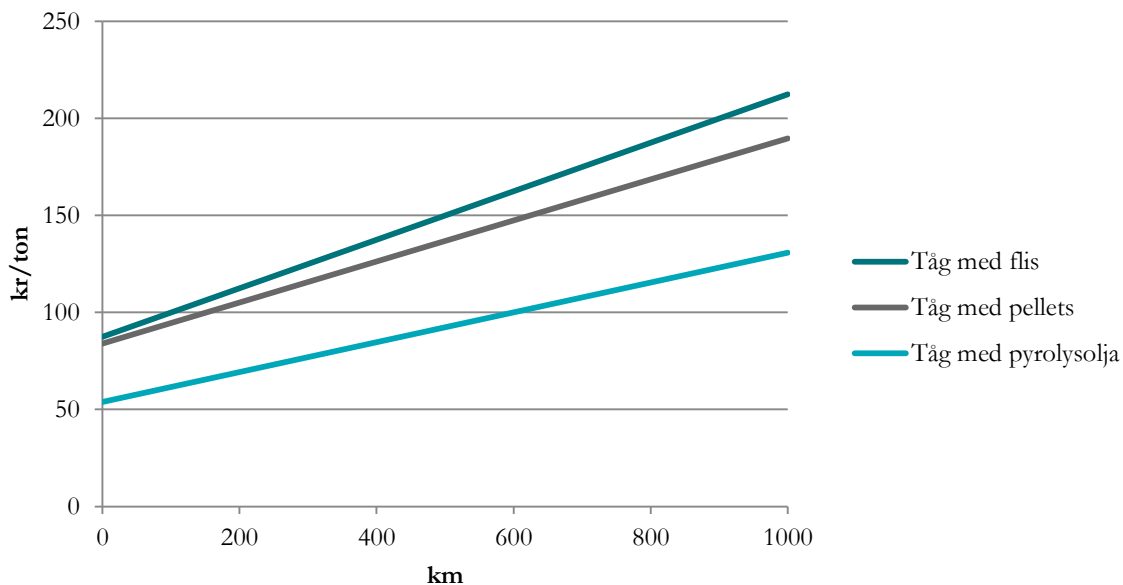
<sup>148</sup> Inklusive container för flis

<sup>149</sup> Beräkningsverktyg FLIS

<sup>150</sup> Inklusive container för flis

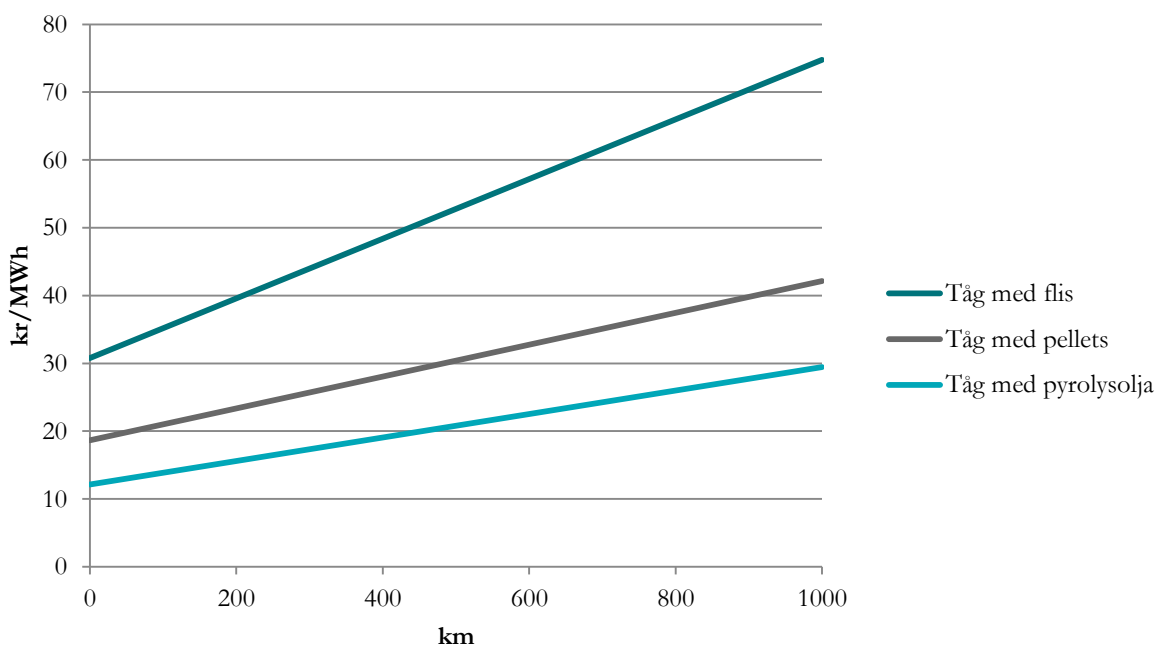
<sup>151</sup> Robert Gustavsson, Green Cargo, 2012-08-21

<sup>152</sup> Beräkningsverktyget FLIS



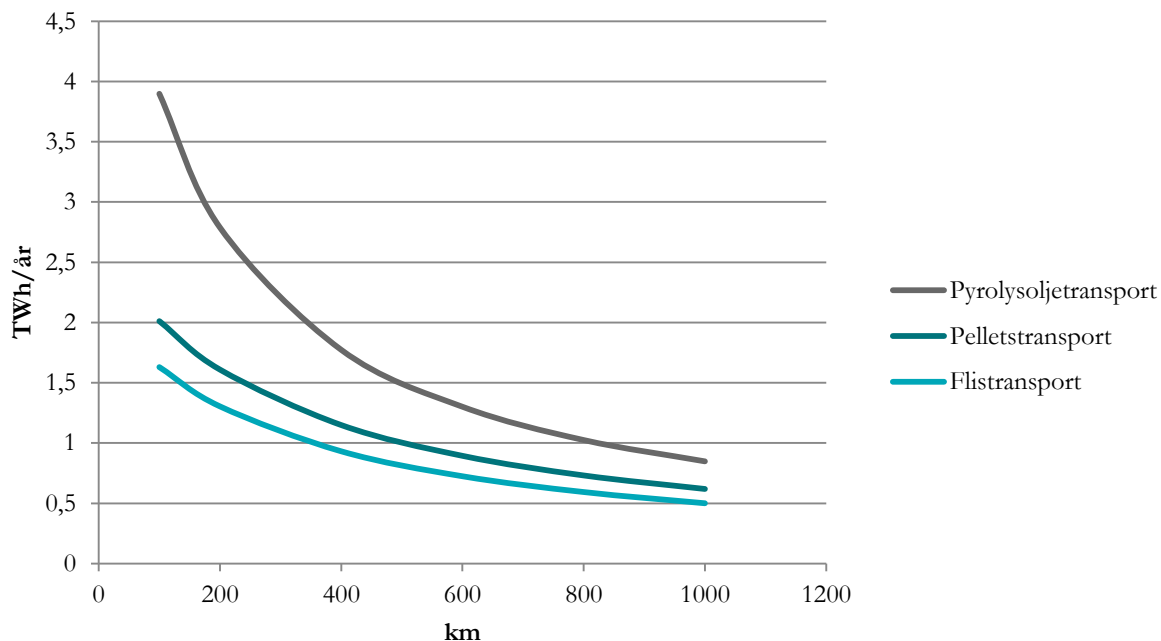
**Figur 51** Viktbaserad transportkostnad med tåg i förhållande till sträcka för pyrolysolja, flis och pellets. Terminalskostnader är inkluderade.

De generellt lägre kostnaderna för transport av pyrolysolja jämfört med pellets och flis går att härleda till de högre flyttade massorna per tågtransport, samt de lägre lastnings- och lossningstiderna för den flytande oljan.



**Figur 52** Energimängdsbaserad transportkostnad med tåg i förhållande till sträcka för pyrolysolja, flis och pellets. Terminalskostnader är inkluderade.

Transportkostnaderna för de olika beräkningsfallen är dock beräknade under förutsättning att tåget alltid tar med sig maximal last. Detta medför att det för de kortare sträckorna är stora energimängder som förflyttas för den vikt- eller energimängdsbaserade transportkostnaden vid motsvarande sträcka. Hur den förflyttade energimängden förhåller sig till sträckan för de olika beräkningsfallen framgår av Figur 53.



Figur 53 Årlig transporterad energimängd för de olika beräkningsfallen.

Vid kortare sträckor förflyttas i beräkningsfallen upp till 4 TWh/år via järnvägen vilket får till följd att de korrelerande transportkostnaderna i dessa fall kan ligga något lågt. Dock kan det anses som ett rimligt antagande att tågagnar som används till transport av pyrolysolja inte bara kan användas till just detta ändamål utan även till transport av andra vätskor efter mellanliggande tvättning av tank. Samma resonemang går att göra på vagnar och containrar använda till transport av flis eller pellets.

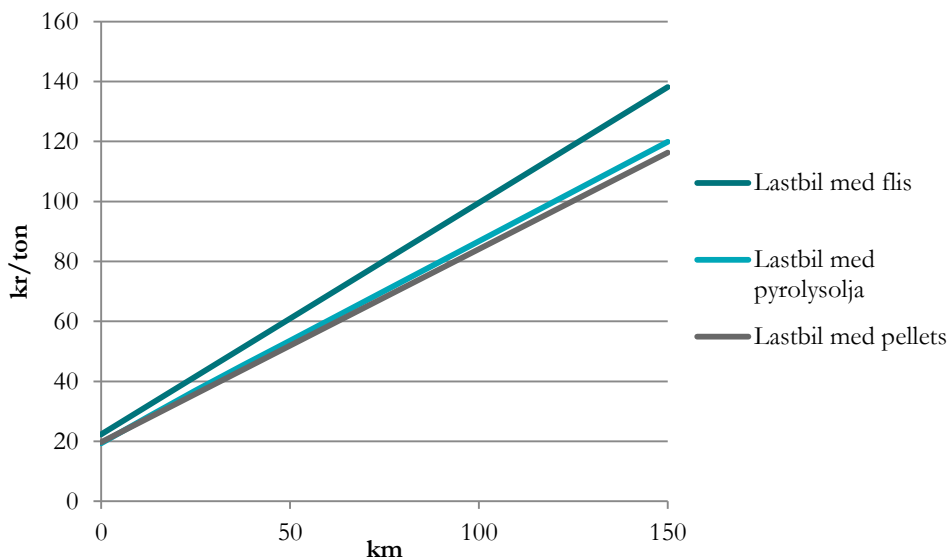
### 10.1.3 Lastbilstransport

Beräkningar har gjorts för lastbilstransport av pyrolysolja, flis och pellets med hjälp av beräkningsverktyget FLIS. I beräkningarna har en avskrivningstid om 7 år använts för lastbilarna. Övriga parametrar framgår av Tabell 25.

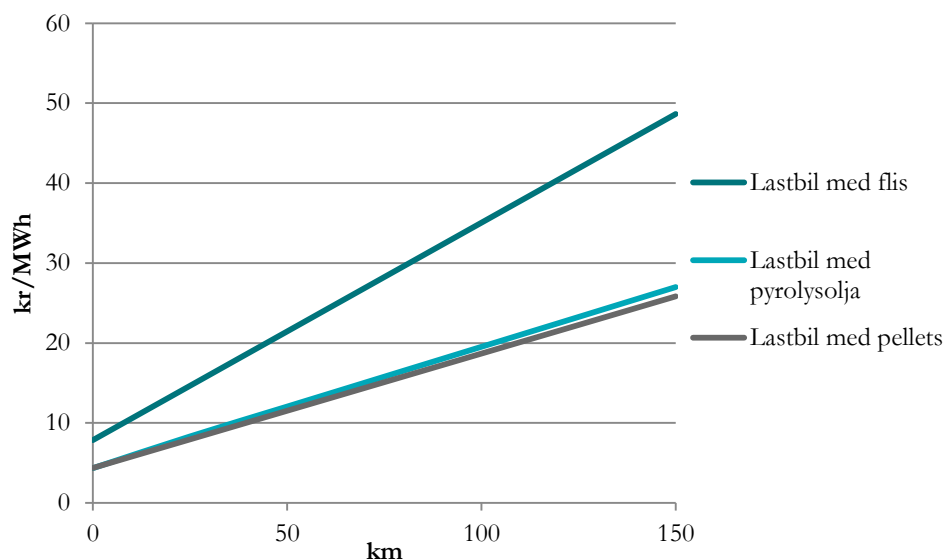
Tabell 25 Parametrar för kostnadsberäkningar av transport av pyrolysolja, flis och pellets

	Pyrolysolja	Flis	Pellets	
Lastbil	2 709 000	2 167 000	2 167 000	kr
Lastning	15	25	25	minuter
Lossning	15	30	30	minuter
Lastkapacitet(volym)	33	115	80	m <sup>3</sup>
Lastkapacitet(vikt)	40	38	40	ton
Terminals-kostnader	4,0	6,1	3,8	kr/MWh
Terminals-kostnader	17,5	17,4	17,3	kr/ton

Lastbilen för transport av pyrolysolja anses vara 25 % dyrare vid inköp än de till flis- och pelletstransport. Därutöver skiljer sig lastnings- och lossningstiden för de olika ekipagen. Terminals-kostnaderna för lastbilsterminaler för pyrolysolja är satta till att motsvara cirka 25 % av terminals-kostnaderna för tågterminaler. För pellets och flis motsvarar terminals-kostnaderna för lastbilsterminaler av 10 % av terminal-kostnaderna för tåg. Detta antagande anses rimligt, bland annat till följd av att mindre lagringsvolym krävs då kontinuerlig lastbilstransport finns tillgänglig. Transportkostnaden av pyrolysolja, flis och pellets med lastbil framgår av Figur 54 och Figur 55.



Figur 54 Viktbaserad transportkostnad i förhållande till sträcka. Terminalskostnader inkluderade.



Figur 55 Energimängdsbaserade transportkostnader i förhållande till sträcka. Terminalskostnader inkluderade.

Startkostnaderna för lastbilstransport består dels i terminalskostnader, dels i kostnader för den tid som lastning och lossning tar i besittning.

#### 10.1.4 Lagring

Lagring av pyrolysolja är viktigt för att kunna avsätta pyrolysoljan vid de tider då den ger mest nytta, exempelvis som bränsle till spetsvärmelast vintertid. För lagerhållning på 1 år ligger lagringskostnaderna för pyrolysolja kring 50 kr/MWh.

Lagringskostnaden är baserad på att pyrolysoljan lagras i behållare om 20 000 m<sup>3</sup> och samma kostnadsskalning som för terminaler enligt Tabell 20. Tankarna är enligt dessa utformade för lagring av olika biooljor och andra relativt olja aggressiva vätskor.