Förbehandling av avfallsbränsle för fluidbäddpannor med långsamtgående kross och siktning

Sven Hermansson, Anders Victorén,
Fredrik Niklasson, Frida Jones

Waste Refinery

Förbehandling av avfallsbränsle för fluidbäddpannor med långsamtgående valskross och säkerhetssiktning

Pre-treatment of waste fuel with low-speed shredding and screening for fluidized bed incineration

Sven Hermansson, Anders Victorén,
Fredrik Niklasson, Frida Jones

Projektnummer WR-52
År: 2013

WASTE REFINERY
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 Borås
www.wasterefinery.se
wasterefinery@sp.se
ISSN 1654-4706

Sammanfattning

Vid förbränning av avfall i fluidiserad bädd (FB) är förbehandlingen av avfallsbränslet en viktig kostnadsfaktor. För att säkerställa att bränslet blir tillräckligt finfördelat används idag i princip uteslutande hammarkvarnar, vilka slår sönder bränslet med hög slagkraft och rotation. Hammarkvarnens fördel i slagkraft medför dock även nackdelar. Dels blir finandelen generellt omotiverad stor, och dels upplevs metoden ge upphov till höga underhållskostnader och problem med bränder. Ett tänkbart alternativ till hammarkvarn är långsamtgående valskross. Rotationshastigheten hos en långsamtgående kross är lägre, och skär och river sönder avfallsbränslet. Valskrossen förväntas därmed ge upphov till mindre slitage, elförbrukning och säkerhetsproblem, men å andra sidan även orsaka en något större andel övergrova bränslebitar. Dessa övergrova bränslebitar kan ställa till med problem i förbränningen, speciellt i mindre FB-anläggningar med endast en inmatningslinje. Därför har valskrossar hittills bara testats för större FB-anläggningar med flera parallella inmatningslinjer.

I detta projekt har frågeställningen varit huruvida långsamtgående valskross i kombination med säkerhetssiktning, kan fungera för mindre FB-anläggningar med en enda inmatningslinje. Målet med projektet har varit att genom praktiska försök och ekonomiska kalkyler ge underlag till anläggningstillverkare och anläggningsägare att självständig kunna jämföra de olika metoderna. Idékonceptet med valskrossning och säkerhetsiktning har jämförts ekonomiskt med ett traditionellt hammarkvarnsystem samt ett valskrossystem för en större CFB-panna. Dessutom har förbränningstest med valskrossat och siktat bränsle, samt hammarkvarnat bränsle genomförts i två parallella, mindre FB-pannor med en enda inmatningslinje per panna. Bränslena har analyserats med avseende på partikelstorleksfördelning och kemisk sammansättning, och förbränningsdriften har utvärderats.

Den ekonomiska utvärderingen av idékonceptet med valskross och siktning gav en bedömd kostnad om cirka 104-118 SEK/ton behandlat avfall, vilket är i samma storleksordning som för valskrossystemet för den större FB-anläggningen. Systemet med hammarkvarn gav en kostnad om 155-180 SEK/ton avfall. Den högre kostnaden för hammarkvarnsystemet härrör framför allt från högre underhålls- och elförbrukningskostnader. Analysen av partikelstorleksfördelning visar att bränslet som behandlats med valskrossning och säkerhetssiktning uppfyller de krav som ställs för mindre FB-pannor. Vidare uppvisade förbränningstesten inte några signifikanta skillnader i driftprestanda, jämfört med ordinarie hammarkvarnat bränsle; några signifikanta skillnader i nivå och stabilitet hos centrala parameterar, såsom panneffekt, bäddtemperatur och emissioner kunnde inte påvisas. Det kunde inte heller visas att antal spikar från CO och NOx, samt antal överträdelser av stipulerat dygns-, halvtimmas- och tiominutersmedelvärden av CO ökade.

Sammanfattningsvis ger studien inledande belägg för att valskrossat och siktat avfall fungerar minst lika väl som hammarkrossat (efter primärkross) avfall för förbränning i mindre FB-pannor med en enda inmatningslinje, och är dessutom billigare. Valskrossning bör därför beaktas som förbehandlingsmetod för såväl större som mindre FB-anläggningar. Utöver de faktorer som studerats inom detta projekt finns dessutom andra viktiga faktorer att väga in. Dessa är framför allt tillgänglighet och säkerhet – även här finns indikationer som talar för valskvarnar, men som vidare bör undersökas.

Nyckelord: förbehandling, krossning, valskross, hammarkvarn, siktning, FB.

Summary

In FB combustion of waste, an important cost factor is the pre-treatment of the waste fuel. The most common method of final levigation of the waste fuel is using hammer mills, which crushes the fuel with high force and high rotational speed. The advantage of the powerful hammer mill is, however, also a disadvantage. The fraction of fines becomes large, and the method is experienced to cause high maintenance costs and problems with accidental fires. A plausible alternative to the hammer mill is the shredder. The rotational speed of the shreeder is lower, while it cutting and slicing the waste fuel instead of grinding it. The shredder is, therefore, expected to yield less wear and tear, lower electricity consumption and less accidental fires. On the other hand, the shreeder may yield a higher fraction of over-sized fuel particles, which could cause problems in the combustion, especially in smaller FB-plants with one single fuel supply conveyor.

In this project, the framing of question has been if low-speed shredding in combination with screening of over sizes fuel particles, may function for smaller FB plants with one single fuel supplying conveyor. The aim of the project has been to support FB plant owners and manufacturers for independent comparision of the different fuel pre-treatment methods, via pre-treatment and combustions trials and economical comparisons. The concept of low-speed shreddning and screening has been compared economically with a traditional hammer mill system and a shredding system designed for a larger FB plant. Moreover, combustion trials have been carried out with shredded and screened fuel, and hammer milled fuel, in two smaller parallel FB furnaces with one single fuel supplying conveyor per furnace. The fuels were analysed for particle size distribution and composition, and the operation during the combustion trial was evaluated.

The economical evaluation of the new pre-treatment concept, with low-speed shredding and screening, yielded an approximate cost of 104-118 SEK/tonne (12-14 €/tonne) treated waste, which is the same as for the larger FB plant shredder system. The cost for the hammer mill system was determined to 155-185 SEK/tonne (18-22 €/tonne) treated waste. The higher cost for the hammer mill system rely on the estimated higher maintenance and electricity consumption costs. The analysis of the particle size distribution of the fuel treated with low-speed shredding and screening shows that the fuel satisfy the demands stipulated for combustion in smaller FB furnaces. Furthermore, the combustion trials show no obvious differences in operation quality, compared to the normal hammer milled fuel; no significant differences in level or stability in power, bed temperature or emission levels could be found. Nor was the frequency of spikes of CO of NOx increased, nor the frequency of violation of the stipulated 24-hrs, halv-hour, or ten-minute stipulated emission limits increased.

In summary, the study gives initial support for the thesis that shedding and screening is just as feasible for fuel pre-treatment in smaller FB furnaces with one single fuel supply conveyor as traditional hammer milling systems. Furthermore, it is cheaper. Low-speed shreddning should, therefore, be concidered as pre-treatment method for both larger as well as smaller FB incineration plants. Beyond the parameters that have been investigated within the scope of this project, availability and safety are important factors that speek for low-speed shedders. However, these are questions that have to be further investigated.

Keywords: fuel pre-treatment, shredding, hammer mill, screening, FB.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING 1

1.1 PROBLEMBESKRIVNING 1
1.2 SYFTE OCH MÅL 1
1.3 AVGRÄNSNINGAR 1

2 BAKGRUND 2

3 MATERIAL OCH METODER 5

3.1 EKONOMISK JÄMFÖRELSE AV OLIKA FÖRBEHANDLINGSMETODER 5
3.2 BRÄNSLEFÖRBEHANDLING FÖR FÖRBRÄNNINGSFÖRSÖK 8
3.3 BRÄNSLEKARAKTÄRISERING – ANALYSSIKTNING OCH KEMISK ANALYS 10
3.4 FÖRBRÄNNINGSFÖRSÖK 12

4 RESULTATREDOVISNING 14

4.1 EKONOMISK UTVÄRDERING AV FÖRBEHANDLINGSTEKNIKER 14
4.2 BRÄNSLEFÖRBEHANDLING MED LÅNGSAMTIDGÅENDE KROSS OCH SIKTNING 14
4.3 BRÄNSLEKARAKTÄRISERING 15
4.4 FÖRBRÄNNINGSFÖRSÖK 18

5 RESULTATANALYS 25

5.1 EKONOMISK UTVÄRDERING AV FÖRBEHANDLINGSTEKNIKER 25
5.2 BRÄNSLEKARAKTÄRISERING 26
5.3 FÖRBRÄNNINGSFÖRSÖK 28
5.4 ANALYS AV GENOMFÖRANDE OCH MÅLUPPFYLLNAD 30

6 SLUTSATSER 32

7 REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING 33

8 LITTERATURREFERENSER 35

1 Inledning

1.1 Problembeskrivning

För energiåtervinning ur avfall genom förbränning finns det i huvudsak två teknikval – förbränning på rost eller i fluidiserad bädd (FB). För FB-tekniken är en viktig kostnadsfaktor förbehandlingen av avfallsbränslet. I detta projekt har frågeställningen varit huruvida långsamtgående kross i kombination med säkerhetssiktning kan vara ett alternativ till gängse förbehandlingsmetoder. Tesen är att det i så fall skulle kunna minska en anläggnings livscykelkostnad (LCC). Emellertid saknas dokumenterad kunskap kring en sådan förändring. Är förändringen möjlig beträffande bränsleproduktens egenskaper – d.v.s. kan ett säkerhetssiktat bränsle från långsamtgående kross eldas i både stora och små FB-pannor utan en signifikant försämring jämfört med hammarkvarn? Och, framför allt, kan tekniken fungera även för mindre anläggningar, med endast en inmatningslinje? Den slutliga frågeställningen är, inte minst, vilken eventuell ekonomisk vinning ett byte från hammarkvarn till långsamtgående kross i kombination med säkerhetssiktning skulle kunna medföra för större och mindre FB pannor.

1.2 Syfte och mål

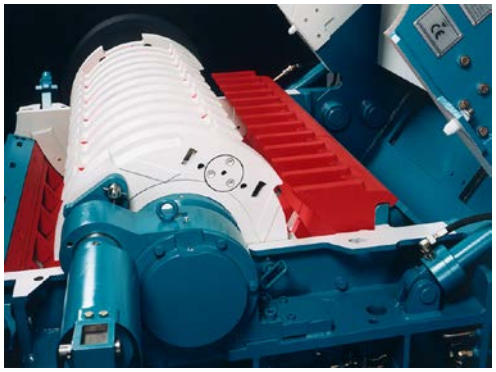
Syftet med projektet är att utreda hur långsamtgående kross i kombination med säkerhetssiktning står sig bränslekvalitetsmässigt och ekonomiskt, jämfört med hammarkvarn, för förbehandling av avfall till FB-pannor som matas med en eller två bränslelinjer. Målet med projektet är att genom praktiska försök och ekonomiska kalkyler ge ett underlag till anläggningstillverkare och anläggningsägare för självständig värdering av de olika teknikerna.

1.3 Avgränsningar

Studien avgränsas till hammarkvarn och långsamtgående kross som tekniker för sönderdelning i förbehandling av avfallsbränslen.

2 Bakgrund

Det finns två huvudsakliga tekniker för förbränning av avfall: rost och FB. I Sverige finns för närvarande ungefär 35 avfallsförbränningsanläggningar, varav 9 använder FB-pannor. I FB-pannor sker förbränningen i en sandbädd som fluidiseras med förbränningsluft underifrån. Detta ger en god omblandning av bränsle och luft, samt möjlighet att kontrollera temperaturen i bädden [1]. FB-pannor fungerar bäst för relativt finfördelat bränsle (< ca 100 mm) och är beroende av ett relativt jämnt bränsleflöde [2]. Detta kräver i allmänhet en bränsleberedning där bränslet sönderdelas och större metallföremål avskiljs [3]. Förbehandlingskostnaden anses utgöra en betydande del av avfallsförbränningens LCC, men kan påverkas av valet av bränsleprepareringsteknik.



Figur 1. Hammarkvarn (Metso Recycling)

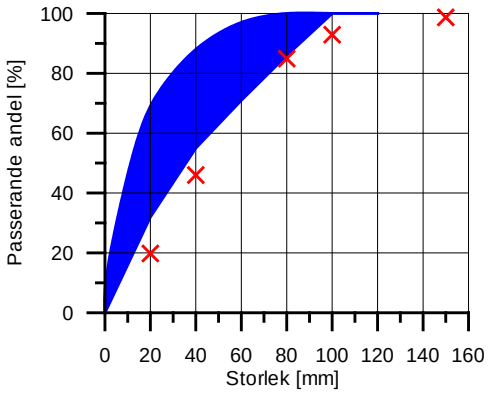
Figure 1. Hammer mill (Metso Recycling)

För att säkerställa att bränslet blir tillräckligt finfördelat för FB-förbränning används idag i princip uteslutande hammarkvarnar. En hammarkvarn är i praktiken ett antal slagor fästa på en rotor, vilka slår och skjuver sönder bränslet mot en stator – enligt schematiskt beskrivet i Figur 1. Hammarkvarnen sönderdelar effektivt solitt material med hög rotationshastighet (typiskt > 600 varv per minut) och slagkraft. Hammarkvarnens fördel i slagkraft medför dock även nackdelar. Dels blir avfallsbränslets finandel generellt omotiverad stor för FB-förbränning och dels upplevs metoden ge upphov till höga drift- och underhållskostnader samt säkerhetsproblem. Eftersom avfallsbränsle innehåller icke brännbara solida material, exempelvis metaller och sten, slits hammarkvarnarna väsentligt. Det n slutna kvarnbehandlingen kan ägen ge upphov till dammbildning, varvid skjuvningen mellan kvarn och solitt material kan medföra varmgång eller gnistantändning av dammet, det brännbara materialet eller explosiva/brandfarliga material. Ett flertal bränder i maskineri och bränslelager bedöms ha uppstått på grund av detta. Exempelvis har ett antal explosioner med efterföljande bränder uppstått i LVAB:s kvarnlinjer och dokumenterats, varav det senaste i mars 2013 även uppmärksammats i media [4]. Även från kvarnlinjerna i förbehandlingen i Borås finns liknande incidenter dokumenterade. Förutom bränder så riskerar även den höga rotationshastigheten att orsaka projektiler; i Borås har stålvajrar i avfallet trasslat in sig i rotorn och orsakat stor säkerhetsrisk för omgivningen . Ett tänkbart alterna-

tiv till hammarkvarn som skulle kunna minska drift- och underhållskostnader, och risker kring antändning och projektiler, är långsamtgående krossar. Rotationshastigheten hos en långsamtgående kross är typiskt i storleksordningen mindre än 100 varv per minut. På rotorn sitter istället knivar, vilka skär och river sönder avfallsbränslet mot en stator, enligt illustrerat i Figur 2. Den långsammare rivningen förväntas ge upphov till en något större andel övergrovt bränsle än med hammarkvarn (> 100 mm), men å andra sidan förväntas tekniken ge upphov till signifikant mindre slitage, elförbrukning och säkerhetsproblem.

Figur 2. Exempel på utseende och uppbyggnad av långsamtgående kross (Metso Recycling).

Figure 2. Example of low-speed shredder (Metso Recycling).



Figur 3. Ackumulerad storleksfördelning av bränslepartiklar. Blått: normalt designintervall för Metso Powers BFB/CFB-pannor, baserat på förbehandling med hammarkvarn. Röda kryss: uppmätt bränslestorleksfördelning från långsamtgående krossar för en större CFB-panna i Norrköping.(Metso Power, 2012)

Figure 3. Accumulated particle size distribution of waste fuel. Blue area: normal design area for Metso Power BFB/CFB furnaces, based on fuel pretreatment with hammer mill. Red crosses: measured particle size distribution of waste fuel treated with low-speed shredding, for a larger CFB furnace in Norrköping, Sweden.(Metso Power, 2012)

Vid Händelöverket (E.On) i Norrköping har hammarkvarnar bytts ut mot två seriella långsamtgående krossar för bränsleberedning. Siktningsanalys av bränslet visade, enligt förväntan, att andelen övergrovt (>100 mm) blev något större, och att andelen finfraktion (<20 mm) blev något mindre än vad den analyserade CFB-pannan (P14) ursprungligen var designad för. Detta visas i Figur 3, i form av ackumulerad bränslestorleksfördelning, där det blåmarkerade området illustrerar normalt designområdet för den aktuella FB-pannan (baserat på hammarkvarn) och de röda kryssen markerar de uppmätta storleksfraktionerna från siktanalys av långsamtgående krossat bränsle. Trots den för stora andelen övergrovt är erfarenheten från driften positiv – någon ökning av driftproblem i förbränningen i med bytet har inte upplevts. Den aktuella pannan (CFB, 75 MW_{th}) är dock större än de flesta avfallseldade pannor i Sverige. Pannan är tillräckligt stor för att bränslet skall kunna tillföras eldstaden via tre separata inmatningar, vilket medför en viss tolerans mot ojämnhet i bränsleflödet per linje. De flesta mindre avfallspannor, i storleksordningen upp till ca 45 MW_{th}, är däremot utrustade med endast en (eller möjligtvis två) bränsleinmatningslinje per panna. Dessa anläggningar är därför mer känsliga för störningar i bränslet än större anläggningar, vilket medför att bränsleförbehandlingen blir extra viktig. Att förändra bränsleförbehandlingen till mindre FB-pannor är därmed riskabelt, och hittills har inga av de mindre avfallsförbränningsanläggningarna testat alternativa förbehandlingsmetoder. Emellertid är dessa mindre anläggningar även mer ekonomiskt känsliga för höga driftkostnader. Därmed utgör de mindre anläggningar en grupp som specifikt skulle gynnas av minskade bränsleförbehandlingskostnader.

För att minska den framtida risken för förbränningsstörningar i mindre FB-anläggningar för avfallsbränsle förbehandlat i långsamtgående kross, och därmed öka möjligheten till kostnadsbesparingar, är säkerhetssiktning av bränslet efter krossning ett tänkbart alternativ. Med en sikt avskiljs då de övergrova bränslebitarna, och kan återföras till krossen. Den extra sikten medför givetvis en extrakostnad jämfört med enbart krossning. Emellertid är den preliminära erfarenheten från långsamtgående krossning vid Händelöverket att besparingspotentialen gott och väl torde motivera investerings- och driftkostnaderna för en sikt. Detta måste dock verifieras genom mer utförliga tekno-ekonomiska beräkningar och, vidare, verifieras i praktiken genom försök i en anläggning av lämplig skala. I detta projekt undersöks därför både den ekonomiska och tekniska potentialen hos långsamtgående krossning i kombination med säkerhetssiktning som bränsleförbehandlingsmetod för mindre FB-pannor.

3 Material och metoder

Projektet har utförts i två parallella linjer:

- Bedömning av investerings- och driftkostnader för två i serie kopplade långsamtgående krossar och säkerhetssikt, för en mindre BFB-anläggning (20 MW_{th}), samt jämförelse med existerande hammarkvarnmetod vid en likvärdig BFB-anläggning och med två i serie kopplade krossar vid en större CFB-anläggning (75 MW_{th}) (Fall 1-3 nedan).

- Förbränningsförsök, inklusive bränslekaraktärisering, med avfallsbränsle förbehandlat med långsamtgående primär- och sekundärkross samt säkerhetssikt (Fall 3 – dock utan mellansiktning). Som referensfall används ordinarie bränsle som behandlats med primärkross, mellansiktning och hammarkvarn, i det närmaste Fall 1.

För förbränningsstudien har Borås Energi och Miljös (BEM) anläggning Ryaverken (2 st à 20 MW_{th}) i Borås använts. Förutsättningarna vid Ryaverken lämpar sig väl för frågeställningen om huruvida mindre FB-pannor med endast en inmatningslinje klarar krossat och siktat bränsle; de två FB-pannorna är betydligt mindre än den tidigare undersökta pannlinjen vid Händelöverken och varje panna har endast en bränslematningslinje. Bränsle för studien har tagits från Händelverkens bränslelager, där det förbehandlats på plats och transporterats till Borås, varefter en jämförelse med likvärdig bränsleblandning i Borås genomförts m.a.p. förbränning, kemisk sammansättning och partikelstorleksfördelning.

För den ekonomiska bedömningen har erfarenheter från LVAB:s hammarkvarndrift och Händelöverkens krossningsdrift använts, samt driftkostnader för säkerhetssiktning uppskattats. Anledningen till att bränsleförbehandlingen i Borås inte använts i den ekonomiska bedömningen är att denna använder sig av en trumsikt mellan primärkross och hammarkvarn, för framsiktning (förbi hammarkvarnen) av en icke bestämd mängd färdigt bränsle. Med LVAB- och Hammarösystemen fås en rak jämförelse av två system där hela bränsleflödet går genom primärkross och hammarkvarn/valskross.

3.1 Ekonomisk jämförelse av olika förbehandlingsmetoder

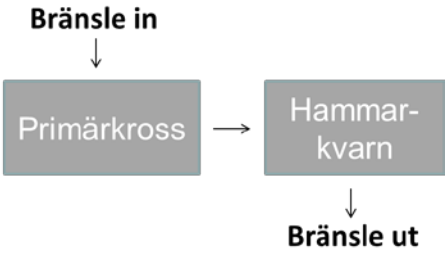
Tre typfall av förbehandlingsmetoder, nedan benämnda Fall 1 till 3 och illustrerade i Figur 4-Figur 6, har jämförts ekonomiskt med avseende på investerings-, drift- och underhållskostnader.

Fall 1) ”Traditionelt system” för FB-pannor. En primärkross följt av en hammarkvarn. Används såväl för stora som för små FB-pannor. De ekonomiska parametarna för studien har hämtas från LVAB:s sammanställda drifterfarenheter från bränsleförbehandlingen vid deras kraftvärmeverk.

Fall 2) ”Alternativt system för stora CFB-pannor”. En primärkross och en sekundärkross – bägge av långsamgående typ. De ekonomiska parametrarna har hämtats från Händelö-

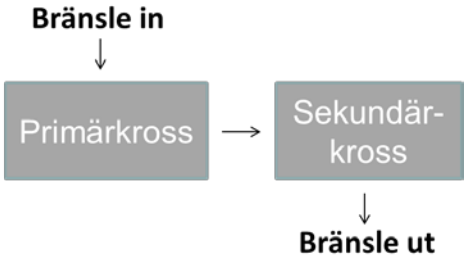
verkets verkets egna drifterfarenheter, och har kompletterats med leverantörens (Metso M&J) utvärderingar.

Fall 3) ”Idekoncept för mindre BFB-pannor”. Två långsamtgående krossar med en mellanliggande by-pass-sikt, samt en s.k. säkerhetssikt som slutsteg. By-pass-sikten gör att sekundärkrossen kan designas för en något lägre kapacitet. Säkerhetssikten ser till att en rejektfraktion av övergrovt material, uppskattningsvis 5%, återförs till sekundärkrossen.



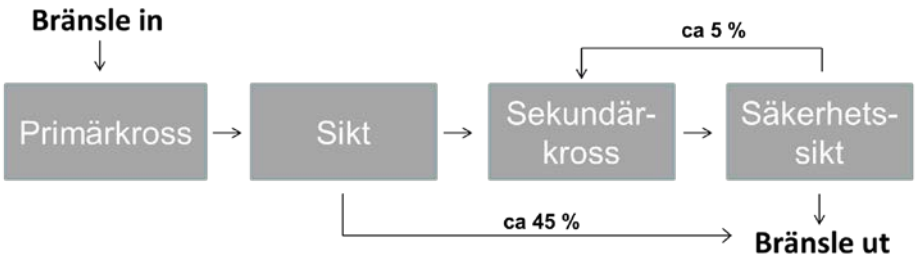
Figur 4. Fall 1. Traditionellt bränsleförbehandlingssystem för FB-pannor med primärkross och hammarkvarn.

Figure 4. Case 1. Traditional fuel pre-treatment system for FB boilers, with primary shredder and hammer mill



Figur 5. Fall 2. Alternativt bränsleförbehandlingssystem för FB-pannor med primär- och sekundärkross.

Figure 5. Case 2. Alternative fuel pre-treatment system for FB boilers, with primary and secondary shredder.



Figur 6. Fall 3. Idékoncept för bränsleförbehandling för mindre FB-pannor, med primär- och sekundärkross med mellanliggande sikt, samt säkerhetsikt.

Figure 6. Case 3. Idea concept for fuel pre-treatment in smaller FB boilers, with primary and secondary shredder, intermediate screening, and safety screening.

Systemgränsen för studien har satts från inkommande bränsle i tipphall till färdigbehandlat bränsle fram till pannhusvägg. För alla tre fall är bas för bränslemängd 100 000 ton/år, med en bränslemix av 70% industriavfall och 30% hushållsavfall. Kross/hammarkvarn har förutsatts drivas 2000 h/år, vilket ger en kapacitet om 50 ton/h. Den ekonomiska totalkostnaden har brutits ned i fyra poster: **kaptialkostnad, elförbrukning, underhållskostnad och övriga kostnader** (i huvudsak personal och kringutrustning). Fall 1 är baserat på ekonomiska erfarenheter från LVAB:s eget underlag, i form av en sammanställning som gjorts 2010 av företaget självt. Utifrån Fall 1 har anpassningar gjorts av ekonomiska data för de specifika förhållandena i Fall 2 och 3. I Fall 2 har dessa anpassningar gjorts utifrån erfarenheter för en existerande större anläggning med långsamtgående sekundärkross (E.On Händelöverken, Norrköping). I Fall 3 har de gemensamma erfarenheterna från Fall 1 och 2 använts som bas, med tillägg av uppskattning av kostnader för två siktar samt en mindre sekundärkross. Kostnader för el och underhåll av krossar i Fall 3 är baserade på erfarenheterna i Fall 2. Nedan presenteras i detalj dessa ingående antaganden i de fyra ekonomiska posterna för vart och ett av fallen:

<u>Fall1 (Traditionelt system):</u>

Kaptialkostnader:	Primärkross: 6,0 MSEK
	Hammarkvarn: 8,5 MSEK
	Övrigt (transportörer och magneter): 6,5 MSEK
Elförbrukning:	Primärkross: 220 kW
	Hammarkvarn: 600 kW
UH:	Primärkross: 14 SEK/ton
	Hammarkvarn: 65 SEK/ton
Övriga kostnader:	Främst personalkostnad: 45 SEK/ton

<u>Fall 2 (Alternativt system för stora CFB-pannor):</u>

Kaptialkostnader:	Primärkross: 6,0 MSEK
	Sekundärkross: 6,5 MSEK
	Övrigt (transportörer och magneter): 6,5 MSEK
Elförbrukning:	Primärkross: 220 kW
	Sekundärkross: 340 kW
UH:	Primärkross: 14 SEK/ton
	Sekundärkross: 14 SEK/ton

Övriga kostnader:	Främst personalkostnad: 45 SEK/ton

Fall 3 (Idekoncept för mindre BFB-pannor):

Kaptialkostnader:	Primärkross: 6,0 MSEK
	Sekundärkross (kap: 30 ton/h): 4,5 MSEK
	Siktar (2 st): 3,0 MSEK
	Övrigt: 8,5 MSEK (extra transportörer samt magneter)
Elförbrukning:	Primärkross: 220 kW
	Sekundärkross: 200 kW
	Siktar: 20 kW
UH:	Primärkross: 14 SEK/ton
	Sekundärkross (55% flöde): 14 SEK/ton
	Siktar: 3,0 SEK/ton
Övriga kostnader:	Främst personalkostnad, samt siktrensning : 48 SEK/ton

Kapitalkostnaden per behandlad mängd avfall har i alla tre fallen beräknats genom en bedömd annuitetskostnad, utifrån en avskrivningstid à 10 år samt en kalkylränta à 5,5 %. Elpriset antas vara 1 SEK/kWh. Personalkostnad har uppskattats utifrån LVAB:s interna ekonomiska utvärdering. Bypassflödet från primärsikt i Fall 3 har uppskattats utifrån erfarenheter från motsvarande siktning i anslutning till Borås Energi och Miljös anläggning i Borås.

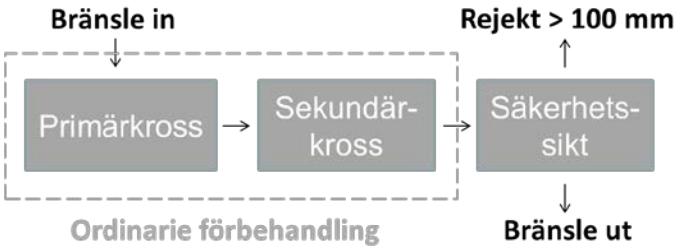
För att undersöka kalkylens känslighet för eventuella osäkerheter i bedömningen av underhållskostnader och personalkostnader har en känslighetsanalys gjorts för vart och ett av fallen, i vilken dessa poster har varierats med ±10%.

3.2 Bränsleförbehandling för förbränningsförsök

Förbehandling av avfallsbränsle för förbränningsförsöken i Borås utformades i så stor utsträckning som möjligt som idékonceptet, Fall 3, beskrivet i Figur 5, Kapitel 3.1. Förbehandlingen genomfördes med befintliga primär- och sekundärkrossar på Händelöverken i Norrköping och kompetterades med en extra säkerhetssiktning, enligt illustrerat i Figur 7. Siktning mellan krossarna uteslöts dock, eftersom uttag av bränsle mellan siktarna visade sig vara praktiskt omöjligt. Vidare återfördes inte heller rejektet till krossarna i detta inledande försök, då detta skulle bidra till att försvåra analysen av själva krossningseffektivteten.

Anledningen till att förbehandlingen genomföres på Händelöverken i Norrköping, var att det bedömdes vara för komplicerat att åstadkomma en krossningsprocedur i Borås med ordinarie bränsle i kombination med transportabla krossar för fullskalig drift. I Norrköping krossades och säkerhetssiktades därför motsvarande bränsleblandning (verksamhetsavfall/hushållsavfall) som normalt eldas i Borås, varefter bränslet transporterades med lastbil till Borås. Innan behandlingen var krossarna nyservade; nya slitytor hade svetsas på, vilket görs regelbundet med cirka en veckas mellanrum. Säkerhetssiktningen genomfördes i en transportabel trumsikt med hålstorlek 100 mm, se Figur 8. För att testa funktionen hos systemet föregicks försöket av ett mindre test, då en begränsad mängd bränsle krossades, siktades och transporterades till Borås för testeldning.

Som referens till testbränslet behandlat med primär- och sekundärkross samt säkerhetssiktning, användes det ordinarie boråsbränslet med ordinarie förbehandling. Processen beskrivs schematiskt i Figur 9. Bränslet (70 % verksamhetsavfall och 30 % hushållsavfall) behandlades med primärkross, varefter bränslefraktionen mindre än 80 mm siktades ut som färdigt bränsle, och återstående grovfraktion kördes genom hammarkvarn.

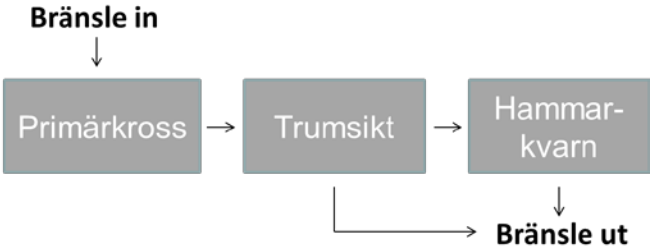


Figur 7. Bränsleförbehandling till förbränningsförsök genom krossning och siktning. Uppställningen simulerar i så stor utsträckning som möjligt som Fall 3 – Idekoncept för mindre FB-pannor. Streckad ruta markerar Händelöverkets (E.ON) ordinarie förbehandlingsprocess.

Figure 7. Pre-treatment of waste fuel for the combustion trial. The set-up mimics, to as large extent as possible, Case 3 - Idea concept for fuel pre-treatment in smaller FB boilers. Dashed square denotes the ordinary pre-treatment process of the Händelö (E.ON) plant.

Figur 8. Trumsikt för säkerhetssiktning av avfallet i rejektfraktion (>100 mm) och bränslefraktion (<100 mm)

Figure 8. Drum screen for screening of the fuel into a reject fraction (>100 mm) and a fuel fraction (<100 mm)



Figur 9. Bränsleförbehandling till förbränningsförsök genom krossning, siktning och hammarkvarn. Uppställningen består av den ordinarie utrustningen i Borås och simulerar i så stor utsträcknings som möjligt Fall 1 – Traditionellt förbehandlingssystem.

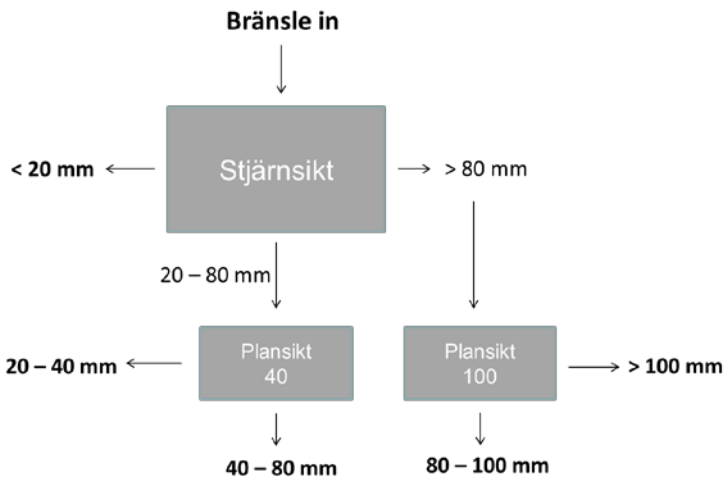
Figure 9. Pre-treatment of fuel according to standard method in Borås (reference method). The set-up consists of the ordinary equipment in Borås and simulates Case 1 - Traditional fuel pre-treatment system for FB boilers.

3.3 Bränslekaraktärisering – analyssiktning och kemisk analys

Både vid försöken med krossat och säkerhetssiktat, respektive primärkrossat, siktat och hammarkvarnat bränsle (se beskrivning i Kapitel 3.2) provtogs bränslena i fallande ström i bränsleinmatningssystemet, just innan inmatning till förbränningsugnen, enligt gängse metod [5]. Proverna analyserades med avseende på kemiskt innehåll och fysikaliska egenskaper, samt partikelstorleksfördelning.

Bränsleanalysen bestod i fukthalt, beräknat värmevärde och askhalt, samt bestämning av halter av huvudämnen och spårämnen, såsom kol, väte, syre, svavel, kväve, klor, natrium och kalium. Dessa fysikaliska och kemiska analyser genomfördes på ackrediterat laboratorium.

Partikelstorleksfördelningen för de två bränslena analyserades i två steg, enligt beskrivet schematiskt i Figur 10. Bränslet separerades först i en stjärnsikt, se Figur 11, till fraktionerna <20 mm, 20-80 mm och >80 mm. Därefter siktades mellanfraktionen i en plansikt, se Figur 12, med 40 mm-roster. Efter byte till 100 mm-roster siktades även grovfraktionen. Sammanlagt erhölls därmed fem fraktioner: < 20 mm, 20-40 mm, 40-80 mm, 80-100 mm samt < 100 mm. Den totalta genomkörda bränslemängden kvantifierades genom att varje skoplass kontrollerades mot tomvikt hos hjullastare. De framsiktade bränslefraktionerna samlades upp i containrar och innehållet vägdes ut med lastbil. Analys av de olika fraktionernas massor resulterade i diagram över ackumulerad partikelstorleksfördelning, för jämförelse mellan de två olika förbehandlingsmetoderna, samt det designintervall för partikelstorlek i FB-pannor som finns illustrerat i Figur 3.



Figur 10. Schematisk beskrivning av bränsleanalyssiktningen: 1) siktning i stjärnsikt 2) siktning av 20-80 mm i plansikt, 3) siktning av > 80 mm i plansikt.

Figure 10. Schematic description of the fuel analyze screening process: 1) star screen, 2) planary screening of 20-80 mm, 3) planary screening of material > 80mm.

Figur 11. Stjärnsiktning av avfallsbränsle för analys av partikelstorleksfördelning.

Figure 11. Star screening of waste fuel for analysis of particle size distribution.

Figur 12. Plansiktning av avfallsbränsle för analys av partikelstorleksfördelning.

Figure 12. Vibration screening of waste fuel for analysis of particle size distribution.

3.4 Förbränningsförsök

Förbränningsförsöken med det krossade och siktade testbränslet genomfördes i tre omgångar i BEM:s två parallella BFB-pannor (PVA1 och 2):

- Inledande funktionstest i form av ett lastbilslass (cirka 40 ton),
- Försöksomgång vid normal drift (cirka 1400 ton; 4 dagar).
- Försöksomgång vid reducerad drift (endast PVA2) (cirka 3 timmar)

Syftet med det inledande funktionstestet var att avgöra om det krossade och siktade bränslet överhuvud taget gick att elda utan att betydande förbränningsproblem uppstod; om inte, så skulle projektet komma att avbrytas. För det fullskaliga försöket var målet att genomföra fyra dagars drift parallellt i PVA1 och 2, dels som fullast i båda pannorna och dels som dellast i PVA2. Den planerade fullastperioden om fyra dagar valdes som lämplig för att kunna jämföra driftdata för signifikanta skillnader mot ordinarie drift. Vid dellast är normalt driftstabiliteten extra känslig för störningar i bränslekvalitet. Syftet med dellastprovet i PVA2 var därför att undersöka om betydande stabiltetsproblem kunde tänkas uppstå. För detta ansågs ett fåtal timmar vara tillräckligt, eftersom sådana stabilitetsproblem förväntas ses relativt omgående.

För att säkerställa att det intransporterade testbränslet under det längre försöket inte blandades med ordinarie bränsle, lagrades det separat på Sobackens miljöstation, varefter det transporterades till Ryaverken och matades till FB-pannorna via en separat tippficka. Vi-

dare stängdes den tillsats av Biomal (slaktavfall) av, vilken normalt tillförs pannorna.Under försöken togs även bränslestickprov ur fallande ström vid bränsleinmatningen för kemisk analys. Vidare registrerades driftdata via ordinarie driftmätning, exempelvis CO-, NO_x- och syrgashalt i rökgaser tillsammans med effekt, temperaturnivåer och rökgasåterföring. Den registrerade driftdatan från försöket analyserades med avseende på:

- Medelvärde (dygn, halvtimma, 10-minuter)
- Standardavvikelse
- Spik-analys

Samma analys gjordes för ordinarie bränsle, både för perioderna före och efter testförsöket och i samband med att ett referensprov togs för kemisk analys cirka en vecka efter testförsöket. Medelvärdesanalysen används främst för att ge en bild av huruvida det förekomit en betydande nivåskillnad i drift- och emissionsparametrar mellan testbränslet och det ordinariebränslet. Dessutom finns maximala tillåtna halvtimmes- och 10-minuters-medelvärden för CO nationellt reglerade, vilket ger medelvärdesbildningen en viktigt roll. Standardavvikelsen från medelvärdet ger utöver detta en indikation på hur stora fluktuationer i en viss parameter som förekommit under perioden – d.v.s. ett mått på stabilitet. Vidare genomfördes den så kallade spik-analysen för emissionsvärden för CO och NOx. Med spik (*eng. peak*) menas en plötslig, positiv avvikelse i gaskoncentration. Här definieras en sådan spik statistiskt som en avvikelse från det löpande timmedelvärdet, större än en standardavvikelse. En spik i emissioner uppstår ofta när förutsättningarna för förbränningen hastigt förändras, exempelvis om omblandningen är dålig eller om en övergrov bränslepartikel kommer in i en FB. Därmed är antalet spikar under en avgränsad period ett bra mått på hur jämn förbränningen varit.

4 Resultatredovisning

4.1 Ekonomisk utvärdering av förbehandlingstekniker

Huvudresultaten från den ekonomiska jämförelsen av de tre olika förbehandlingsalternativen är att:

Fall 1) som representerar ett traditionellt kvarnsystem med primärkross och hammarkvarn har en uppskattad drift- och underhållskostnad för förbehandling av avfallsbränsle om cirka 155-180 kr/ton (känslighetsanalys:168 ± 13).
Fall 2) som representerar ett alternativt system med två seriekopplade långsamtgående krossar (primär och sekundär), för bränsle till en större CFB panna, har en uppskattad motsvarande kostnad om cirka 104-118 kr/ton (känslighetsanalys: 111 ± 7).
Fall 3) som representerar idékonceptet för mindre BFB-pannor, med primär- och sekundärkrossar och med siktar mellan och efter krossarna, bedöms få en drift- och underhållskostnad om 104-118 kr/ton (känslighetsanalys: 111 ± 7).

Kostnaderna uppdelat i de ekonomiska delposterna **kaptialkostnad, elförbrukning, underhållskostnad och övriga kostnader** presenteras i Tabell 1.

Kostnader (SEK/ton)	**Fall 1**	**Fall 2**	**Fall 3**
Kapitalkostnad	28	27	30
Elförbrukning	16	11	8
UH	79	28	25
Övriga kostnader	45	45	48
Totalt	**168**	**111**	**111**

Tabell 1. Totalkostnad uppdelat på kostnadsposter för de tre undersökta förbehandlingsfallen.

Table 1. Total cost devided into sub-costs for the three investigated cases.

4.2 Bränsleförbehandling med långsamtidgående kross och siktning

Under bränsleförbehandlingen krossades och siktades fram 570 ton testbränsle, under sammanlagt 42 arbetstimmar. Målsättningen var att producera 1400 ton bränsle. Det lägre erhållna resultatet beror på logistiska problem förknippade med lagring och transporter av bränslet; orsaker och konsekvenser diskuteras i kaptitel 5.4 Siktningskapaciteten uppgick sammanfattningsvis till cirka 13,5 ton färdigt bränsle per timma. Den bortsiktade fraktionen (>100 mm) uppmättes till cirka 12 massprocent av den totala bränslemängden.

Figur 13. Säkerhetssiktning av bränslet i bränslefraktion (<100 mm, närmast kameran) och rejektfraktion (>100 mm, till vänster).

Figure 13. Screening of the waste fuel into a fuel fraction (<100 mm, front) and a reject fraction (>100 mm, to the left).

4.3 Bränslekaraktärisering

I Tabell 2 redovisas ett urval av resultaten från bränsleanalysen av de två avfallsbränslena.

Tabell 2. Bränsleanalys av krossat och siktat, respektive hammarkvarnat bränsle.

Table 2. Fuel analysis of the shredded and screened fuel, and the hammer milled fuel.

Parameter	Enhet	Krossning + siktning (Norrköpingsbränsle)	Hammarkvarn (Boråsbränsle)
Fukthalt	*Vikt-% inlämningstill-stånd*	34,8	48,2
Värmevärde	*Vikt-% torrt*	18,41	21,96
Askhalt	*Vikt-% torrt*	26	18
C	*Vikt-% torrt*	45	52
H	*Vikt-% torrt*	6,1	7,1
N	*Vikt-% torrt*	1,2	1,2
S	*Vikt-% torrt*	0,65	0,40
Cl	*Vikt-% torrt*	0,8	1,3
Na	*Vikt-% torrt*	0,85	0,60
K	*Vikt-% torrt*	0,41	0,27
Verksamhetsavfall (målvärde!)	%	70	70

Analyssiktningen utfördes på sammalagt 8,5 ton kross-siktat avfallsbränsle och 5,5 ton hammarkvarnat avfallsbränsle. Figur 14 visar de ursprungliga bränsleblandningarna, Figur 15 fin- respektive grovfraktionerna av siktat bränsle, samt Figur 16 provmängder från samtliga de framsiktade fraktionerna. Vidare visar Figur 17 resultaten i form av siktkurvor, jämförda med den kravkurva för minsta andel för respektive fraktion som Metso Power erfarenhetsmässigt rekommenderar för FB-pannor. Kurvorna för krossat och siktat (motsvarande Fall 3) samt hammarkvarnat bränsle (motsvarande Fall 1) är baserade på utvägd massa från respektive framsiktad fraktion. Jämförelse mellan de summerade framsiktade fraktionerna och den totala invägda mängen avfallbränsle till sikningen ger en balansavvikelse på mindre än 3 % för båda fallen.

Figur 14. Bränsleblandningarna. Vänster: krossat och siktat avfallsbränsle. Höger: hammarkvarnat bränsle

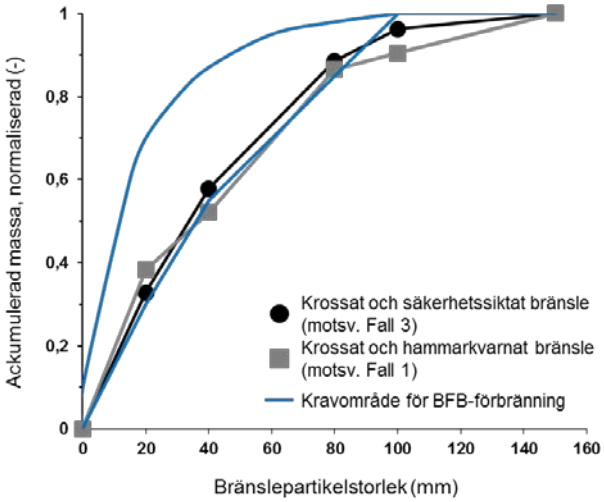
Figure 14. The fuel blends. Left: shredded and screened waste fuel. Right: hammer milled waste fuel.

Figur 15. Finfraktion (<20 mm) och grovfraktioner (80-100 mm resp >100 mm) (från vänster). Överst: krossat och siktat bränsle (Norrköping). Nederst: Hammarkvarnat bränsle (Borås)

Figure 15. From left: fines (<20 mm) and coarse fractions (80-100 mm and >100 mm). Above: shredded and screened fuel (Norrköping). Below: hammer milled fuel (Borås).

Figur 16. Prov från de framsiktade fraktionerna. Till vänster: hammarkvarnat avfall. Till höger: krossat och siktat bränsle. Storleksfraktioner (nedifrån och upp): < 20 mm, 20-40 mm, 40-80 mm, 80-100 mm och >100 mm.

Figure 16. Samples of the screeend fuel fractions. Left: hammer milled fuel. Right: shredded and screened fuel. Size fractions (from below): < 20 mm, 20-40 mm, 40-80 mm, 80-100 mm och >100 mm.

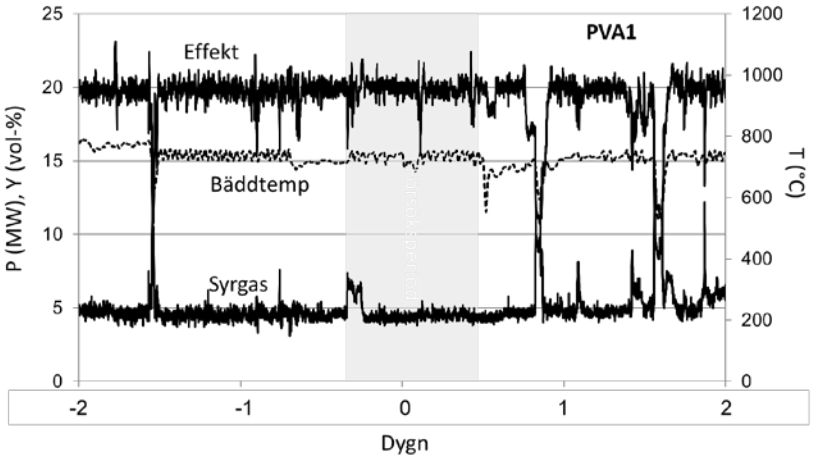


Figur 17. Siktkurvor för de analyserad avfallsbränslena. Ackumulerad och normaliserad massa, som funktion av partikelstorlek. Heldragen svart linje: krossat och siktat avfall. Heldragen grå linje: hammarkvarnat avfall. Blå linje: nedre och övre kravgräns för enligt Metso Powers krav för FB-pannor.

Figure 17. Screening plots for the analysed waste fuels. Accumulated, normalized mass, as function of particle size. Solid black line: shredded and screened waste fuel. Solid grey line: hammer milled waste fuel. Blue line: upper and lower limit specification for FB-combustion, according to Mesto Power.

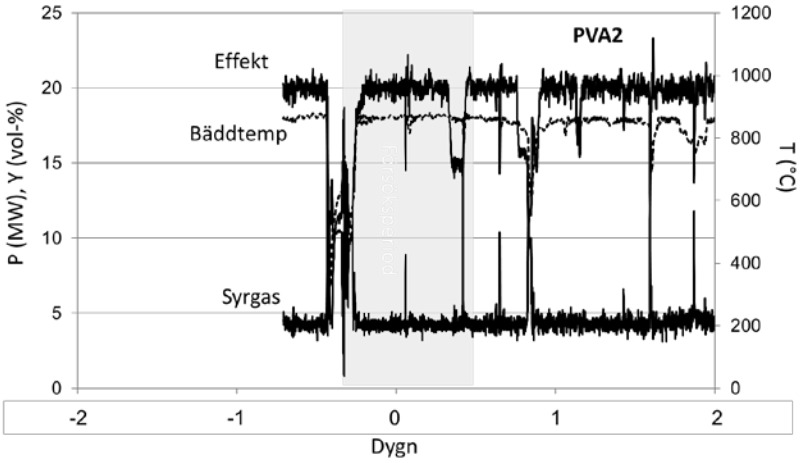
4.4 Förbränningsförsök

Det krossade och säkerhetssiktade testbränslet (motsvarande Fall 3) eldades i Ryaverkens två pannor, nedan benämnda PVA1 och PVA2, under sammanlagt 32 h stabil drift. I Figur 18 – Figur 22 visas grafiskt driftdata från försöksperioden och angränsade perioder. Figur 18 och Figur 19 ger en överskådlig bild av panneffekt, bäddtemperatur och syrgaskoncentration för de båda pannorna. För PVA1 visas försöksperioden med testbränslet motsvarande Fall 3 (skuggad), samt som jämförelse några dygns drift före och efter. För PVA2 visas driften för försöksperioden och cirka två dygn efter försöksperioden. Att perioden för PVA2 är begränsad till perioden efter försöksperioden, beror på att pannan kördes med tillsats med ett signifikant annorlunda bränsle innan försöksperioden, och således inte kan jämföras driftmässigt. Vidare visar Figur 20 - 22 drift- och emissionsdata koncentrerat till försöksperioderna i PVA1 och PVA2 med testbränslet, samt motsvarande förhållanden i PVA1under referensprovtagningen vid förbränning av hammarkvarnat bränsle, motsvarande i princip Fall 1. Motsvarande referensfall för PVA2 saknas däremot; den åstadkomna bränsleblandningen visade sig i efterhand ha tillsatts Biomal genom ordinarie driftrutiner och hade därmed skilt sig signifikant från den önskade blandningen. I försöksperioden i PVA2, Figur 22, ses även perioden som kördes med reducerad effekt.



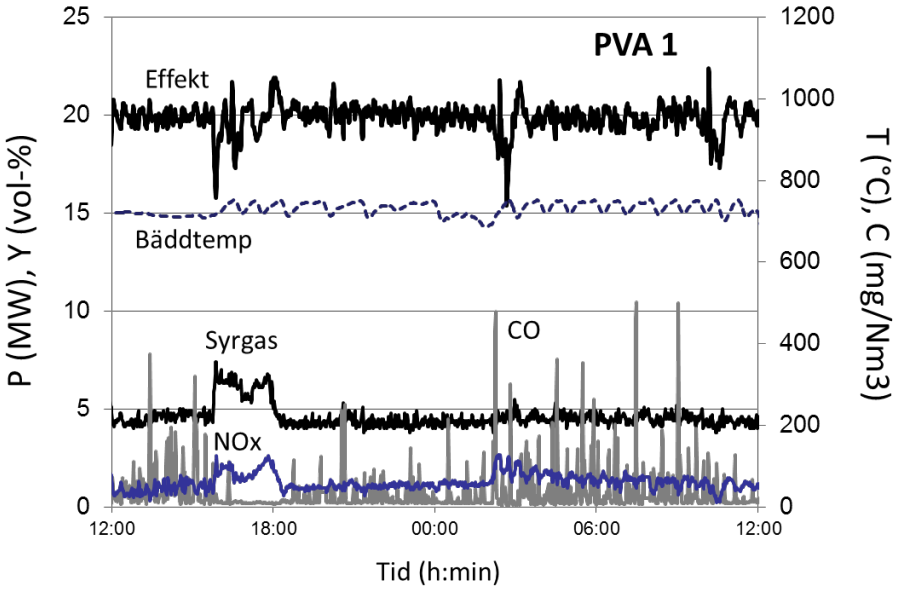
Figur 18. Panneffekt, syrgaskoncentration (primäraxel) och bäddtemperatur (sekundäraxel) i rökgaser för PVA1 under och efter försöksperioden med krossat och säkerhetssiktat avfallsbränsle. Gråskuggat område markerar försökperioden.

Figure 18. Thermal power, bed temperature and oxygen fraction in flue gases of PVA1 before, under and after the trial with shredded and screened waste fuel. Grey shadowed area denotes the trial period.



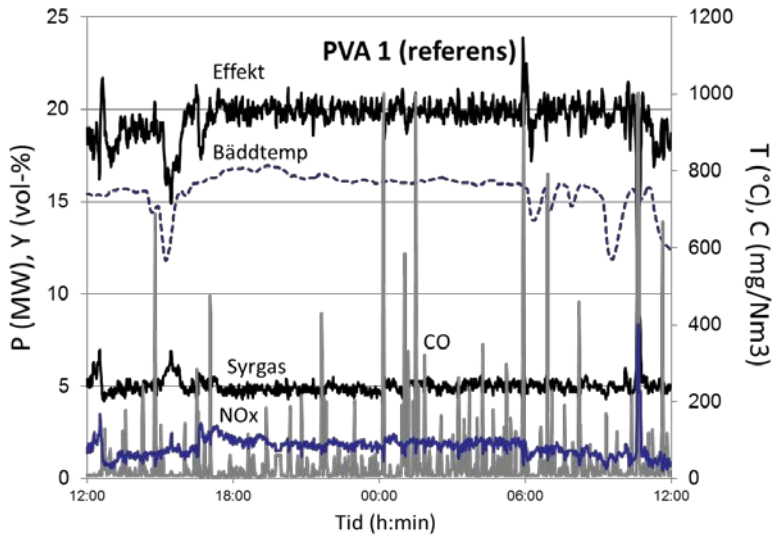
Figur 19. Panneffekt, syrgaskoncentration (primäraxel) och bäddtemperatur (sekundäraxel) i rökgaser för PVA2 under och efter försöksperioden med krossat och säkerhetssiktat avfallsbränsle. Gråskuggat område markerar försökperioden.

Figure 19. Thermal power, bed temperature and oxygen fraction in flue gases of PVA2 before, during and after the trial with shredded and screened waste fuel. Grey shadowed area denotes the trial period.



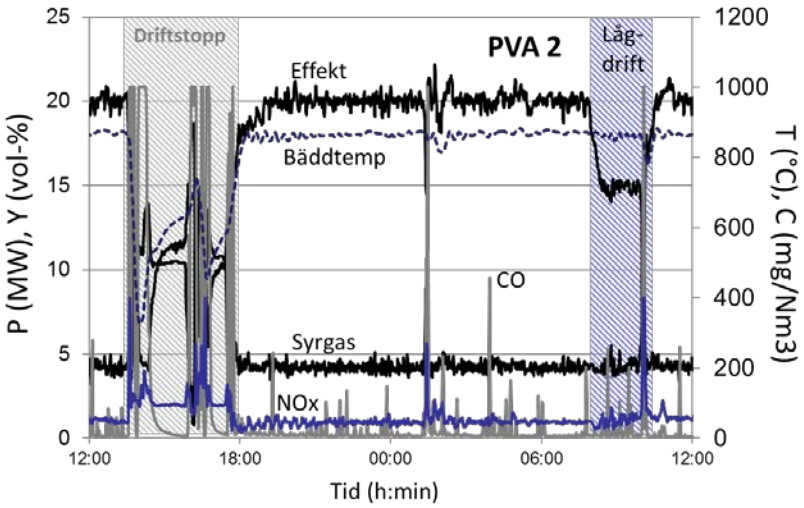
Figur 20. Panneffekt och syrgaskoncentration (vänstra axeln) samt bäddtemperatur, NOx-koncentraion och CO-koncentration (högra raxeln) i rökgaser för PVA1 under försöksperioden med krossat och säkerhetssiktat avfallsbränsle.

Figure 20. Thermal power and bed temperature (left side axis), and oxygen fraction, CO-concentration and NOx-concentration in flue gases (right hand side axis) of PVA1 during the trial with shredded and screened waste fuel.



Figur 21. Panneffekt och syrgaskoncentration (vänstra axeln) samt bäddtemperatur, NOx-koncentraion och CO-koncentration (högra axeln) i rökgaser för PVA1 under referensperioden med hammarkvarat bränsle.

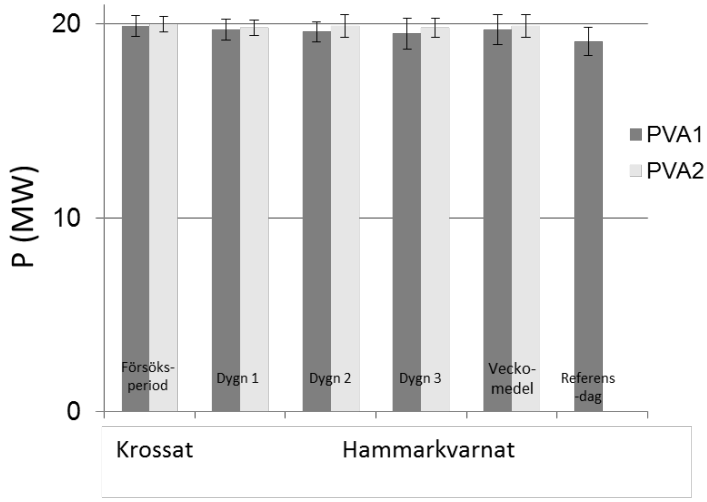
Figure 21. Thermal power and bed temperature (left side axis), and oxygen fraction, CO-concentration and NOx-concentration in flue gases (right hand side axis) of PVA1 during the reference trial with hammer milled waste fuel.



Figur 22. Panneffekt och syrgaskoncentration (vänstra axeln), samt bäddtemperatur, NOx-koncentraion och CO-koncentration (sekundäraxel) i rökgaser för PVA2 under försöksperioden med krossat och säkerhetssiktat avfallsbränsle. Blåstreckat området markerar period med reducerad effektdrift. Gråstreckat område markerar period för driftstopp orsakat av brandvakt i inmatningssystmet.

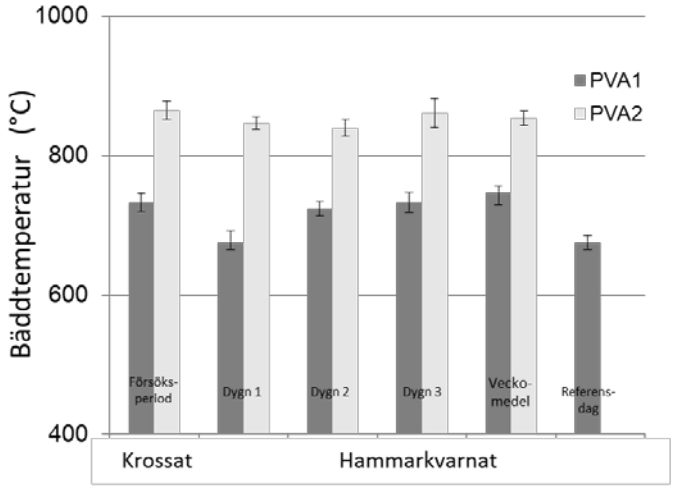
Figure 22. Thermal power and bed temperature (left side axis), and oxygen fraction, CO-concentration and NOx-concentration in flue gases (right hand side axis) of PVA2 during the trial with shredded and screened waste fuel. Blue shadowed area denotes the period of reduced operational level. Grey shadowed area denotes the operational failure.

I Figur 23 - Figur 25 och i Figur 27 visas sammanställda medelvärden med respektive standardavvikelser för effekt, bäddtemperatur, emissionsdata och rökgasåterföring för försöksperioden med krossat och siktat bränsle. Som jämförelse visas även i samma figurer motsvarande data för hammarkvarnat bränsle (motsvarande Fall 1), för de tre efterföljande dygnens normaldrift, för den omgivande veckas drift samt för referensperioden i panna PVA1. Vidare är gränsvärdet för dygnsmedelvärdet av CO koncentrationen i rökgaserna markerad i Figur 25 för att ge en bild av vilken nivå utsläppen av CO har befunnit sig på under driftförsöket med krossat och siktat bränsle (motsvarande Fall 3), respektive ordinarie hammarkvarnat bränsle. Vidare presenteras i Figur 26 antalet överskridelser per timma av det löpande CO 10-minuters- och halvtimmasmedelvärdet av de stipulerade maxvärdena (30 min: 100 mg/Nm^3 och 10 min: 150 mg/Nm^3).



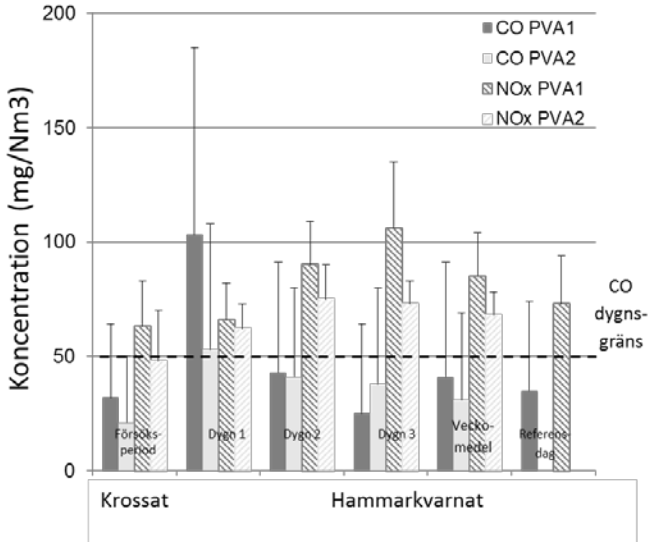
Figur 23. Medelvärde och standardavvikelse av panneffekt i PVA1 och 2 under försöksperioden med krossat och siktat bränsle samt under drift med hammarkvarnat bränsle de tre efterföljande dygnen och referensdagen.

Figure 23. Mean value and standard deviation of thermal power for PVA1 and 2 during the trial period with shredded and screened fuel, and for hammer milled fuel during the subsequent days and during the reference trial.



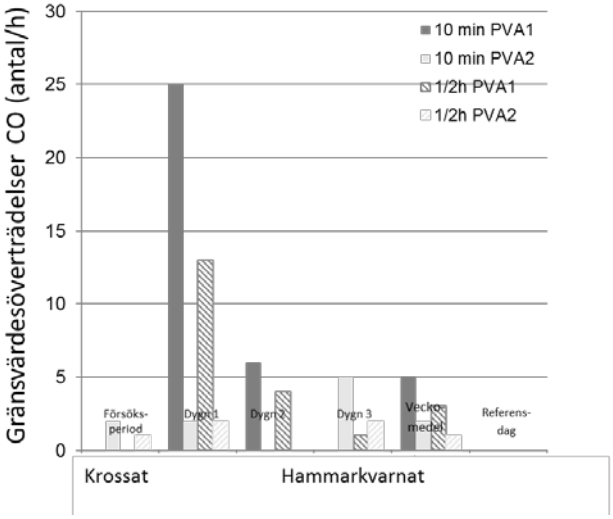
Figur 24. Medelvärde och standardavvikelse av bäddtemperatur i PVA1 och 2 under försöksperioden med krossat och siktat bränsle samt under drift med hammarkvarnat bränsle de tre efterföljande dygnen och referensdagen.

Figure 24. Mean value and standard deviation of fluid bed temperature for PVA1 and 2 during the trial period with shredded and screened fuel, and for hammer milled fuel during the subsequent days and during the reference trial.



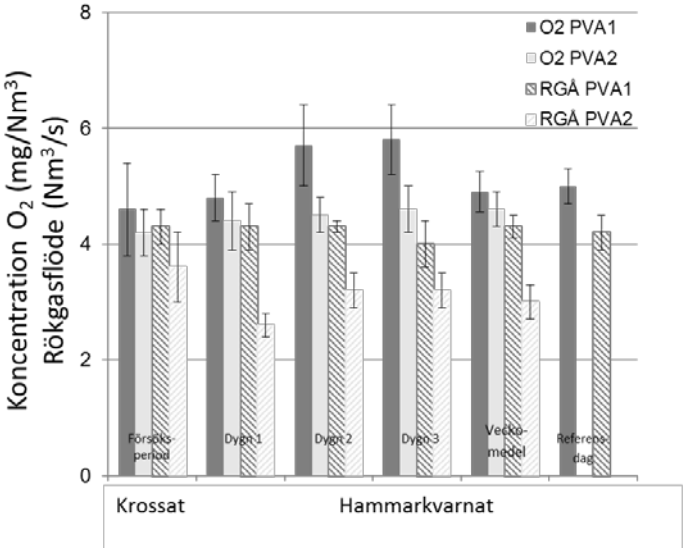
Figur 25. Medelvärde och standardavvikelse av CO och NOx i PVA1 och 2 under försöksperioden med krossat och siktat bränsle samt under drift med hammarkvarnat bränsle de tre efterföljande dygnen och referensdagen. Streckad linje markerar gränsvärdet för dygnsmedelvärde av CO-emissioner.

Figure 25. Mean value and standard deviation of CO and NOx emissions from PVA1 and 2 during the trial period with shredded and screened fuel, and for hammer milled fuel during the subsequent days and during the reference trial. Dashed line denotes the limit for 24hrs mean value of CO-emissions.



Figur 26. Gränsöverskridning av tiominuters- och halvtimmasmedelvärden för CO-utsläpp från PVA1 och PVA2 under försöksperioden med krossat och siktat bränsle samt under drift med hammarkvarnat bränsle de tre efterföljande dygnen och referensdagen.

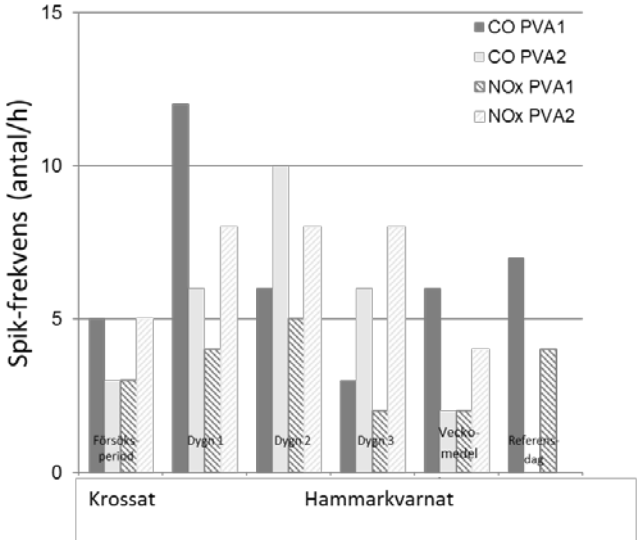
Figure 26. Exceeding of the 10 and 30 minutes mean value limits of CO and NOx emissions from PVA1 and 2 during the trial period with shredded and screened fuel, and for hammer milled fuel during the subsequent days and during the reference trial.



Figur 27. Medelvärde och standardavvikelse av O_2-koncentration i rökgaser samt rökgasåterföring i PVA1 och 2 under försöksperioden med krossat och siktat bränsle samt under drift med hammarkvarnat bränsle de tre efterföljande dygnen och referensdagen. Streckad linje markerar gränsvärdet för dygnsmedelvärde av CO-emissioner.

Figure 27. Mean value and standard deviation of O_2 concentration in flue gases and flue gas recirculation flow emissions from PVA1 and 2 during the trial period with shredded and screened fuel, and for hammer milled fuel during the subsequent days and during the reference trial. Dashed line nenotes the limit for 24hrs mean value of CO-emissions.

I Figur 28 presenteras resultaten från spik-analysen för CO- och NOx-emissioner. Resultaten presenteras som antalet spikar per timma stabil drift för försöksperioden med krossat och siktat bränsle (motsvarande Fall 3). Som jämförelse visas även motsvarande data för eldning med ordinarie hammarkvarnat bränsle (motsvarande Fall 1): de tre efterföljande dygnens normaldrift, den omgivande veckans drift samt referensperioden i panna PVA1.



Figur 28. Antal CO- och NOx-spikar (def: timbaserat medelvärde + en std-avvik) per timma i PVA1 och PVA2 under försöksperioden med krossat och siktat bränsle samt under drift med hammarkvarnat bränsle de tre efterföljande dygnen och referensdagen.

Figure 28. Number of CO and NOx peaks (def: floating hour mean value + one std dev) per hour in PVA1 and 2 during the trial period with shredded and screened fuel, and for hammer milled fuel during the subsequent days and during the reference trial.

5 Resultatanalys

5.1 Ekonomisk utvärdering av förbehandlingstekniker

Resultaten från den ekonomiska analysen av de tre olika bränsleförbehandlingsfallen (Fall 1-3) visar att kostnaden för förbehandling med sekundärkross generellt är lägre än med hammarkvarn. Detta gäller såväl för Fall 2, d.v.s. den existerande uppställningen för en större CFB-panna, som för Fall 3, idékonceptet för mindre BFB-pannor. I båda de senare fallen ses en lägre kostnad om cirka 70 SEK/ton behandlat avfall, d.v.s. en minskning med cirka 35 %, jämfört med hammarkvarnsystemet. En analys av de olika kostnadsposterna i kalkylen, se Tabell 1, visar att det främst är underhålls- och elkostnaderna som bidrar till de lägre kostnaderna. Kapitalkostnader och övriga kostnader är i praktiken desamma som för alla de undersökta fallen. De högre elkostnaderna är ett direkt resultat av att hammarkvarnar är mer energikrävande (högre effekt) än långsamtgående valskrossar. De högre underhållskostnaderna härrör, helt enkelt, från ett bedömt högre underhållsbehov för hammarkvarnarnar än för valskrossar. Uppskattningen av kostnadsnivåerna, 65 respektive 14 SEK/ton avfall, grundar sig på de uppgifter som erhållits från LVAB:s interna kostnadsutredning och E.On:s kontinuerliga utvärdering av drift- och UH-kostnader.

Resultaten från kostnadskalkylen ger en god indikation om att valskvarnar som sekundärbehandling av avfall har potential att minska el- och UH-kostnader väsentligt. Emellertid bör tas i åtanke att det i de absoluta kostnadsbeloppen ligger en viss osäkerhet. Som redan nämnts, bygger kalkylen på kostnadsuppskattningar både för investering och drift. Vissa poster, som exempelvis investeringskostnad och elförbrukning är relativt enkla att uppskatta och kontrollera. Dock är posterna som rör UH- och personalkostnad något mer utmanande. Exempelvis har sekundärkrossens UH- och elkostnad för överstort material, för Fall 3 (idékoncept för mindre BFB-pannor), varit svår att erhålla, då inga sådana uppgifter från kontinuerlig långvarig drift har kunnat erhållas. En bedömning av detta har därför gjorts inom projektgruppen; detsamma gäller för siktarnas drift- och UH-kostnad. Vidare har de uppgifter som fåtts från LVAB och E.On för de existerande förbehandlingssystemen i Fall1 och 2 rimlighetsgranskats och stämts av mot ytterligare källor. De effekter som eventuellt fås i kalkylen på grund av fel i uppskattningar av UH- och personalkostnader, kvantifieras av känslighetsanalysen. Känslighetsanalysen visar att vid samtidig maximal underskattning av UH- och personalkostander för Fall 2 och 3, och maximal överskattning av samma kostnadspost i Fall 1, fås ändå 37 SEK/ton lägre kostnad för Fall 1 och 2 (24% lägre). Ytterligare känslighetsanalys visar att en feluppskattning om ca 30 % av UH- och personalkostnaderna, på samma vis, krävs för att totalkostnaderna för att de undersökta fallen med valskrossning i sekundärsteget skall kunna uppnå samma kostnadsnivå som systemet med hammarkrossning.

5.2 Bränslekaraktärisering

Resultaten från siktningsanalysen av bränslet, som behandlats med den metod som är det närmsta projektet kunnat komma Fall 3 (Idékoncept för mindre BFB-pannor), visar att förbehandlingen i form av krossning i långsamtgående kross kombinerat med säkerhetssiktning (100 mm) inte bara uppvisar goda ekonomiska kalkyler. Bränslets storleksfördelning (siktkurvan, Figur 17) är jämförbar med hammarkrossat bränsle, i princip motsvarande Fall 1, samt uppfyller de krav som ställs från anläggningstillverkare för eldning i FB-panna. Det krossade och säkerhetssiktade bränslet hamnar på rätt sida om kravkruvan för alla definierade storleksfraktioner, förutom den grövsta (>100 mm). För den grövsta fraktionen uppvisar analyssiktningen av det kross-siktade bränslet en fraktion om cirka fem procent, emedan kravet från anläggningstillverkaren är att bränslet inte skall innehålla något av denna fraktion. Beträffande analysens noggrannhet så utfördes siktningen på en relativt stor mängd bränsle (storleksordningen ton) och massbalansen kunde slutas med god säkerhet för båda de analyserade bränslena. För det krossade och säkerhetssiktade bränslet (i princip motsvarande Fall 3) gick analyssiktningen problemfritt, och de utvägda fraktionerna bedömdes vid okulär besiktning som väl separerade – se Figur 15. För det hammarkvarnade bränslet föreligger dock en viss osäkerhet i analysen. På grund av att det hammarkvarnade bränslet inte säkerhetssiktats, innehöll det (uppskattningsvis) en relativt större del mjukplast än det krossade/siktade, vilket kan skönjas genom att jämföra Figur 14 och Figur 15. Dessa större plastsjok tenderade till viss del att bära med sig mindre partiklar genom siktningen, varför både de mellan grova fraktionerna och den allra grövsta fraktionen uppenbart innehöll en icke försumbar andel mindre partiklar. Detta innebär, i praktiken, att de punkter som beskriver ackumulerad massa för de mindre storleksfraktionerna (< 20 mm och 20-40 mm) i hammarkvarnbränslet (Figur 17) i verkligheten torde vara något förskjutna i uppåt siktdiagrammet. Detsamma gäller även för de grövre fraktionerna (40-80 mm och 80-100 mm), eftersom den allra grövsta fraktionen visuellt även visade sig innehålla en viss del av dessa storlekar. Sammanfattningsvis torde därmed siktkurvans alla punkter (förutom den sista) förskjutas något i positiv vertikal led, på grund av denna kaskadeffekt från förflyttning av massa nedåt i storleksfraktionerna.

Bränsleanalysen av de två bränslena som användes i studien indikerar att de sammansättningsvis är relativt likavärdiga. Dock föreligger vissa skillnader, enligt resultaten i Tabell 2. Detta utgör, till viss del, en försvårande omständighet för jämförelsen av storleksfördelningens inverkan på förbränningsegenskaperna. Skillnaderna i innehåll kan ha berott på tre saker:

1) Bränsleproven representerar inte bränsleströmmen,
2) Bränsleströmmarna skiljer sig sammansättningsmässigt åt signifikant, eller
3) Samma bränsleblandning har inte åstadkommits i Norrköping som i Borås.

På dessa tre punkter utgör den naturligt heterogena sammansättningen av avfallsbränslen en betydande utmaning i beredningen, karaktäriserandet och jämförandet av olika bränsleströmmar. För att söka urskilja den största faktorn bland dessa tre, som kan ha påverkat anaylserna, har jämförelser gjorts med tidigare analyser utförda med samma provtagningsprocedur. Tabell 3 och Tabell 4 visar jämförelser med bränsleproverna från detta projekt och medelvärdet av samtliga provtagningsställen vid motsvarande tidigare provtagningar [6]. Vid dessa provtagningar var bränsleblandningen i Borås 70 % verksamhetsafall och 30 % hushållsavfall, medan motsvarande förhållande i Norrköping var 40/60. I Tabell 3 ses

det ordinarie bränslet (boråsbränslet), provtaget i detta projekt (motsvarande Fall 1), överensstämma relativt väl med tidigare analysdata. De mest iögonfallande skillnaderma är fukthalten, värmevärdet och klorhalten. Kontrollberäkning av bränslefukthalten utifrån kemisk sammansättning, rökgasfukthalt och syrgashalt bekräftar dock den högre fukthalten. Högre värmevärde och klorhalt indikterar att det aktuella ordinarie bränslet (boråsbränslet) kan ha innehållit mer industriavfall än vid de tidigare analyserna – d.v.s. mer än 70%. En motsvarande jämförelse för testbränslet (norrköpingsbränslet) – projektets analysresultat kontra tidigare analysresultat av norrköpingsbränslet – visar även här, något oväntat, stora likheter. Överensstämmelsen visar att proverna, liksom provtagningen i Borås, är representativt provtagna. Emellertid eftersöktes, för att innehållsmässigt uppnå så lika bränslen som möjligt, även i Norrköping en blandning om 70/30. De historiska analysdata är alltså däremot från en 40/60 blandning. Även om inga övriga tecken på att blandningsprocessen avvikit från planen, tyder alltså analysen på att så kan ha varit fallet – utfrån datan bedöms att uppskattningsvis en 50/50-blandning kan ha uppstått. Även om det är ett faktum att bränslena till viss del alltså avvikit innehållsmässigt ifrån varandra, ses inga signifikanta skillnader i förbränningskaraktäristiken (vilken analyseras i kapitel 5.3). Detta faktum, tillsammans med den naturligt heterogena sammansättning som utgör avfallsbränslen, uppfattas som ett tecken på att de två olika bränslena är tillräckligt lika kemiskt för att man ska kunna jämföra bränslets beteende i förbränningen.

Tabell 3. Jämförelse av boråsbränslet (använt i Fall 1) med sex tidigare provtagningar vid samma anläggning, vid 70% industriavfall och 30% hushållsavfall.

Table 3. Comparison of the Borås-fuel (case 1) with six previous fuel analyses at the same site, using a fuel consisiting of 70% industrial waste and 30% municipal waste.

Parameter	Enhet	Hammarkvarn (Boråsbränsle)	Tidigare provatningar (Borås – medelvärde)
Fukt	*Vikt-% inlämningstillstånd*	48,2	34,8
Värmevärde	*Vikt-% torrt*	21,96	19,21
Aska	*Vikt-% torrt*	18	20
C	*Vikt-% torrt*	52	47
H	*Vikt-% torrt*	7,1	6,2
N	*Vikt-% torrt*	1,2	1,2
S	*Vikt-% torrt*	0,40	0,41
Cl	*Vikt-% torrt*	1,3	0,8
Na	*Vikt-% torrt*	0,60	0,61
K	*Vikt-% torrt*	0,27	0,32

Tabell 4. Jämförelse av norrköpingsbränslet (använt i fall 3) med sex tidigare provtagningar vid samma anläggning.

Table 4. Comparison of the Norrköping-fuel (case 3) with previous fuel analysis from the same site.

Parameter	Enhet	Krossning + siktning (Norrköpingsbränsle)	Tidigare provtagningar (Norrköping - medel-värde
Fukt	*Vikt-% inlämningstillstånd*	34,8	37,1
Värmevärde	*Vikt-% torrt*	18,41	19,08
Aska	*Vikt-% torrt*	26	21
C	*Vikt-% torrt*	45	46
H	*Vikt-% torrt*	6,1	6,0
N	*Vikt-% torrt*	1,2	1,1
S	*Vikt-% torrt*	0,65	0,61
Cl	*Vikt-% torrt*	0,8	0,8
Na	*Vikt-% torrt*	0,85	0,68
K	*Vikt-% torrt*	0,41	0,33

5.3 Förbränningsförsök

De överskådliga driftplottarna från förbränningsförsöken, och perioderna före och efter, i BEM:s pannor PVA 1 och 2, Figur 18-Figur 19, indikerar att driften över lag inte påverkats signifikant av det krossade och siktade bränslet (simulerat Fall 3). Panneffekt, bäddtemperatur och syrgaskoncentration i rökgaserna ligger stabilt på samma nivåer med ungefär samma störningskaraktäristik som för angränsande driftfall. I PVA 2 inträffade dock i samband med bytet till det krossade och siktade bränslet ett större driftstopp, vilket indikeras i Figur 19. Driftstoppet orsakades emellertid av en automatisk brandvakt i bränsleinmatningssystemet. Denna störning härrör alltså inte från förbränningskomplikationer, vilket är fokus för denna studie, utan är antingen slumpmässigt uppkommen eller beror på testbränslets eventuella annorlunda lagringsegenskaper. Vidare styrker den koncentrerade jämförelsen, i Figur 20-Figur 21, av försöksperioderna med krossat och siktat bränsle i PVA 1 och referensperioden för bränsleprovtagning av hammarkvarnat bränsle i PVA 1, att inga dramatiska skillnader föreligger mellan de både bränslefallen (motsvarande Fall 1 och 3); effekt, bäddtemperatur, syrgaskoncentration, NOx och CO ligger på jämförbara nivåer, och frekvensen av CO-spikar är jämförbar mellan de två fallen. Samma stabila förhållanden ses för PVA 2, se Figur 21, bortsett från det oväntade driftstoppet. Här ses även att perioden med reducerad effekt (blåskuggad i Figur 21) kunnat genomföras utan några synbara negativa effekter, vilket ger en ytterligare indikation om att bränslet är hanterbart för de aktuella pannorna.

Den statistiska kvantifieringen av driften i form av medelvärdering av driftparametrar med beräkning av standardavvikelser, ger möjlighet att konkret jämföra de båda fallen med avseende på nivå och stabilitet. Figur 23 bekräftar uppfattningen från den grafiska presentationen av effektnivån; effektnivån från försöksperioden motsvarande Fall 3 (krossat och säkerhetssiktat bränsle) är jämförbar med efterföljande individuella driftdygn och vecko-

medelvärde för det simulerade Fall 1 (ordinarie hammarkvarnat bränsle). Vidare är fluktuationerna i samma storleksordning – om inte något lägre. Jämfört med referensfallet erhölls dock en något högre effektnivå ur panna PVA 1 med försöksbränslet. Eventuellt kan detta förklaras med den något högre fukthalt som uppmättes för det hammarkvarnade bränslet vid provtagningen. Detta styrks även av den något lägre uppmätta bäddtemperaturen i panna PVA 1 under referensförsöket med hammarkvarnat bränsle, enligt Figur 24, något som visserligen bekräftas av driftpersonal vara normalt. I övrigt uppvisar bäddtemperaturen samma mönster som effektnivån – vissa dygnsskillnader i nivå förekommer, men sett till veckomedelvärde är nivå och fluktuationer för de två bränslena jämförbara.

För att bedöma bränslets inverkan på förbränningen är emissionskaraktäristiken viktig. Figur 25 visar medelvärde och standardavvikelse för koncentration av CO och NOx i rökgaserna (normaliserat vid 11% O_2) för PVA1 och 2. Dessutom jämförs dessa nivåer med gränsvärdet för dygnsmedelvärdet för CO-emissioner – 50 mg/Nm^3. Gränsvärdet är direkt applicerbart på alla plottade fall, förutom veckomedelvärdet, vilket alltså är baserat på en längre tidsperiod. Figur 25 visar att CO-medelvärdet för båda pannorna under försöksperioden med krossat och siktat bränsle ligger väl under gränsvärdesnivån. CO-nivån för PVA 1 för perioden, ca 30 mg/Nm^3, är jämförbar både med referensperioden och de efterföljande dygnen med ordinarie bränsledrift. För PVA 2 ligger den till och med lägre än alla de andra jämförda dygnen. Beträffande fluktationerna av CO från medelvärdet, d.v.s. standardavvikelserna, ses även här att försöksperioden med krossat och siktat bränsle inte orskat större fluktuationer än vid drift med ordinarie hammarkvarnat bränsle; fluktuationsnivåerna i PVA1 är jämförbara med referensfallet och sticker heller inte ut ifrån nivåerna de efterföljande driftdagarna. Emellertid inses att första dagen efter försöket med krossat och siktat bränsle, lidit av onormalt höga CO-emissionsnivåer, vilket kan tänkas ha orsakat av dåligt bränsle. Denna period bör därmed endast med försiktigthet jämföras med försöksperioden. Denna tes stärks även av analysen för antal överskridningar av gränsvärden för tiominuters- och halvtimmasmedelvärden, presenterade i Figur 26. Här konstateras att det förekommer signifikant fler överskridningar av de bägge gränsvärdena, inte minst i panna PVA 1. Detta jämfört med försöket med kross-siktat bränsle, referensfallet och övriga analyserade dagar. Jämförs å andra sidan, försöket i PVA 1 med krossat och siktat bränsle med referensfallet, så finner man att en något högre frekvens i försöksfallet. Men om denna frekvens jämförs med dygn 2 och 3 efter försöksdygnet, så inses att försöken med krossat och siktat bränsle gett upphov till en normal, på gränsen till låg, gränsöverskridningsfrekvens; exempelvis förekom inte några överskridelser alls i PVA 1 under försöksperioden med krossat och siktat bränsle.

NOx-nivåerna ses i Figur 25 ha hållit låga medelvärdes- och fluktuationsnivåer under försöksperioden med krossat och säkerhetssiktat bränsle. Nivåerna i PVA1 är direkt jämförbara med referensfallet och det direkt efter försöksperioden följande dygnet, både beträffande medelvärde och standardavvikelse. Jämfört med dygn 2 och 3 är NOx-nivåerna för försöksperioden till och med betydligt lägre, för båda pannorna. En intressant observation kring detta är dessutom att en direkt koppling kan göras mellan NOx-, CO- och O_2-nivåerna, den senare presenterad i Figur 27; för lägre CO-värden från dygn 1 till dygn 3 krävs högre syrenivå, och därmed bildas även mer NOx. I Figur 27 ses generellt att syrgas och rökgasåterföringen legat på en normal, angränsande till låg, nivå under försöksperioden. Därmed bör de uppmätta nivåerna av CO och NOx under försökperioderna anses vara relevanta, då avvikande syrgas- och rökgasåterföringsnivåer inte förekommit. I PVA 1 förekommer visserligen något förhöjda fluktuationer jämfört med vid referensförsöken,

men dessa är inte av den storleken att de bedöms ha påverkat emissionsnivåerna signifikant. Däremot ligger rökgasåterföringen i PVA 2 över alla de jämförda försöken, både beträffande nivå och fluktuationer. Den troliga förklaringen till detta är den något lägre bränslefukthalt som analysen av bränslet anger, se Tabell 2. Detta medför att rökgasåterföringen måste ökas för att bäddtemperaturen skall kunna kontrolleras.

Spik-analysen, presenterad i Figur 28, ger ett gott komplement till medelvärdesanalysen. Då medelvärdesanalysen ger en uppfattning om nivån, och standardavvikelsen storleken på den genonsnittliga fluktuationen, ger spik-analysen svar på hur många signifikanta och bestående avvikelser som förkommit under en viss period. Analysen för försöksperioden med krossat och siktat bränsle ger att antalet CO-spikar generellt är lägre än vid driften med ordinarie hammarkvarnat bränsle. Jämfört med referensperioden uppvisar försöksperioden en lägre spik-frekvens, vilket även gäller för dygn 1 och 2 efter försöksdygnet. För försöksperioden, dygn 3 och hela den kringliggande veckan är dock nivåerna relativt jämförbara, även om skillnader förekommer; exempelvis har PVA 1 lägre frekvens än hela veckan, men högre frekvens än dygn 3, emedan motsatt förhållande råder för PVA 2. Sammanfattningsvis bör slutsatsen av analysen vara att de båda bränslena är jämförbara med avseende på frekvensen CO-spikar. Analysen av NOx-spikar liknar till stora delar den för CO. Jämfört med referensdygnet uppvisar PVA1 låg spik-frekvens för NOx – så även för dygn 1 och 2 efter försöksperioden. Men jämfört med veckomedelvärdet ligger spik-frekvensen på en normal nivå. Därmed anses frekvensen NOx-spikar, på samma sätt som CO-spikarna, jämförbara mellan de olika testeldade bränslena.

5.4 Analys av genomförande och måluppfyllnad

För att en jämförelse mellan två förbehandlingstekniker med avseende på förbränningsresultat skall bli så tillförlitlig som möjlig, är det önskvärt att de behandlade bränslena sammansättningsmässigt är så lika varandra som möjligt. Utgångspunkten för förbränningstestet i detta projeketet har därför varit att använda sig av två så lika bränslen som möjligt, även om deras ursprung varit olika. Emellertid är avfall ett ytterst heterogent material. Även om två olika bränsleomgångar tas från samma källa är det långt ifrån säkert att de har samma kemiska och fysikaliska egenskaper. I detta projekt har det så långt som möjligt försökts skapas en bränsleblandning för krossning och siktning som är så lik det ordinarie hammarkrossade bränslet som möjligt. Detta har gjorts genom att försöka uppnå samma fraktionsblandning beträffande verksamhetsavfall och hushållsavfall i de båda fallen. Den kemiska analysen av de två bränslefraktionerna visar dock på en viss skillnad mellan de två provtagna fraktionerna. Detta kan bero på ett flertal saker. Det kan helt enkelt föreligga en skillnad mellan ordinarie bränslet i Borås och det använda testbränslet i Norrköping, trots att de förväntas komma från liknande källor. Vidare kan transporter, omlastning, förvaring, analyssiktning eller provtagning ha inverkat på bränslet eller bränsleprovet. Det kan även ha varit så att en tillfällig skillnad i bränslesammansättning hos bränslefraktionerna uppkommit under försöksperioden.

Även om det är troligt att osäkerheten beträffande bränslesammansättningen skulle minskat om försöksbränslet tagits från samma källa som ordinarie bränsle, så är det dock ingen garanti. Beträffande förbehandlingen så gjordes bedömningen att det inte var praktiskt ge-

nomförbart att krossa bränslet på plats i Borås. En uppsättning mobila krossar och siktar skulle ha krävts, vilket bedömdes som en alltför utmanande uppgift i detta första steg för undersökning av tekniken. Detsamma gällde för krossning av boråsbränsle i Norrköping. Det skulle varit en alltför stor utmaning att hålla isär testbränslet från det ordinarie bränslet i tippfickor och krosslinjer. För att täcka bränslebehovet i Norrköping när ordinarie utrustning används för krossning av testbränslet skulle dessutom dubbla laster avfall behövts köras till Norrköping – en ström för testbränslet, och en ström för att ersätta det ordinarie bränslebehovet i Norrköping. Sammanfattningsvis kan dock konstateras att resultaten från förbränningsförsöken med det krossade och säkerhetssiktade avfallsbränslet entydigt visar att både drift- och emissionsprestanda inte särskiljer sig från det ordinarie bränslet. Inte heller har några större svängningar förekommit vid växling mellan de olika bränslena. Därmed anses att de skillnader som förelegat i sammansättning mellan de två bränslena inte har påverkat förbränningen signifikant.

För att försörja Ryverkens två FB-pannor med testbränsle under fyra dygns normaldrift var den ursprungliga planen att cirka 1400 ton bränsle skulle processas och transporteras från Händelöverket. Emellertid uppstod en rad försvårande, praktiska omständigheter under förbehandling och transport, vilka gjorde att mängden bränsle som kunde processas blev mindre:

- Ett större lager siktat bränsle skulle läggas upp i en tipphall, för effektivt siktningsarbete och avtransport. Denna lokal kom dock inte att kunna användas, då den med kort varsel tvangs tas i anspråk av E.On. Därmed fick både siktningsarbetet och avtransport genomföras kontinuerligt med minimal lageruppläggning utomhus.
- Avtransporttakten minskade signifikant av att endast lastbilar med mindre lastkapacitet kunde användas, på grund av krav på bakåttippade bilar.
- En brand uppstod i ett bränslelager på Händelöverket, vilket tvingade E.On att akut ta krossarna i eget bruk. Detta medförde att bränsleförbehandlingen fick avbrytas i förtid. I och med att endast ett mindre lager förbehandlat bränsle då fanns kvar att avtransportera, blev den totala förbehandlade mängden mindre än väntat.

Den totala mängden förbehandlat och avtransporterat bränsle visade sig räcka för eldning under cirka ett dygn, parallellt i de båda pannorna. Räknas stabil drifttid, så uppgår den totalt till ca 32 h för båda linjerna. Det största tappet i stabil drifttid beror på ett totalt driftstopp i PVA 2 i samband med insättningen av försöksbränslet. Detta driftstopp bedöms dock inte ha någon koppling till försöksbränslet; en automatisk brandvakt i inmatningssystemet stoppade bränsletillförseln, vilket är något som dessvärre händer med jämna mellanrum, i och med att avfallsbränslen självantänder relativt lätt.

Sammanfattningsvis blev alltså den totala försöksperioden väsentligt kortare än planerat. Men som resultaten visar, så kom försöken igång snabbt och effektivt utan insvängningssvårigheter. Som resultaten vidare visar så flöt dessutom försöksperioden på väl, utan större störningar orsakade av bränslet. Därför görs bedömningen att den insamlade datan är tillräcklig för att resultattolkningen skall vara tillförlitlig.

6 Slutsatser

Långsamtgående valskrossning i primär- och sekundärsteg i kombination med säkerhetssiktning har utvärderats som potientiell förbehandlingsmetod för avfallsbränsle för förbränning, för såväl större FB-pannor som i mindre sådana med en enda inmatningslinje. Idékonceptet med primärkross, mellansikt, sekundärkross och säkerhetsikt har jämförts ekonomiskt med traditionellt hammarkvarnsystem och ett valskrossystem för en större CFB-panna. Utöver detta har ett förbränningstest genomförts i två parallella, mindre FB-pannor med en enda inmatningslinje per panna, för att undersöka om bränslet uppfyller de praktiska krav som ställs i mindre FB-pannor. Sammanfattningsvis ger resultaten inledande belägg för att valskrossat och siktat avfall fungerar minst lika väl som, och är billigare än, primärkrossat och hammarkrossat avfall för förbränning i mindre FB-pannor med en enda inmatningslinje.

Den ekonomiska utvärderingen av konceptet, i form av investeringskalkyler och bedömningar av drift- och underhållskostnader utifrån liknande utrustning vid existerande anläggningar och på marknaden, ger en kostnad om cirka 104-118 SEK/ton avfall, beräknat på en kapacitet om 100 000 ton avfall per år för idékonceptet. Detta kan jämföras med de framtagna faktiska kostnaderna för motsvarande, traditionella system med primärkross och hammarkvarn hos Lidköping Värmeverk AB om 155-180 SEK/ton avfall. Detta ger att krossning med långsamtgående valskvarnar följt av säkerhetssiktning är 37-76 SEK billigare per behandlat ton avfall. Vidare visar den ekonomiska studien att idékonceptet har likvärdig kostnad per behandlad enhet avfall som den förbehandlingsanläggning med två långsamtgående krossar, utan siktar, som finns som i drift på Händelöverken i Norrköping. Granskning av de olika kostnadsposterna i de tre kalkylerna visar att det är de högre underhålls- och elförbrukningskostnaderna som ger upphov till den högre totalkostnaden för hammarkvarnkvarnssystemet, jämfört med valskrossning (och siktning). Investeringskostnaderna är däremot jämförbara.

Förbränningstesten med bränslet som behandlats med långsamtgående primärkross, sekundärkross och säkerhetssiktning gav inte några signifikanta skillnader i driftprestanda, jämfört med det bränsle som förbehandlats med primärkross, mellansikt och hammarkvarn:

- Nivå och stabilitet hos centrala parameterar, såsom panneffekt, bäddtemperatur och emissioner avvek inte från den ordinarie driften.
- Antalet spikar från CO och NOx ökade ej. Ej heller ökade antal överträdelser av stipulerat dygns-, halvtimmas- och tiominutersmedelvärden av CO-koncentration, jämfört med ordinarie drift.
- Partikelstorleksfördelningen visar att bränslet som behandlats med valskrossning och säkerhetssiktning uppfyller de krav som ställs för mindre FB-pannor.

En viss osäkerhet i förbränningsresultaten föreligger i den skillnad i bränslesammansättning hos testbränslet och det ordinarie bränslet som detekterats. Denna mindre osäkerhet bedöms dock inte vara avgörande för resultaten.

7 Rekommendationer och användning

Den ekonomiska analysen och förbränningstestet visar att konceptet med krossning och siktning av avfallsbränsle framstår som ett lovande alternativ för förbehandling av avfall för FB-pannor. Kraven på partikelstorleksfördelning har visats kunna uppfyllas, och under förbränningstesten uppstod inga avvikelser beträffande drift eller emissioner, jämfört med det hammarkvarnade ordinarie bränslet. Även om en viss osäkerhet kring bränslets sammansättning föreligger, så sammanfaller resultaten i en rekommendation om att konceptet definitivt bör beaktas som förbehandlingsmetod för såväl större som mindre FB-anläggningar. Det skall poängteras att den ekonomiska analysen bygger på erfarenhetsmässiga data från förbehandling, från två anläggningar (Lidköpings Värmeverk AB och E.On, Händelöverken). Den ekonomiska erfarenheten från långsamtgående krossning är begränsad; i Sverige finns i dagsläget endast en anläggning i drift. Emellertid är resultaten positiva, vilket gör att projektets rekommendation blir att konceptet bör ses som ett fullgott alternativ för förbehandling av avfallsbränsle såväl för större som mindre FB-anläggningar.

Utöver de rent ekonomiska och förbränningsmässiga aspekterna finns även andra viktiga faktorer att väga in i jämförelserna mellan krossning och kvarnmalning, men som inte direkt undersökts i detta projekt. Tillgänglighets- och säkerhetsaspekterna är viktiga faktorer för val av förbehandlingsteknik. Indikationer finns om att hammarkvarn i högre grad ger upphov till dammexplosioner och brand i bränslesystemen, än långsamtgående kross. Detta torde bero på den högre anslagsenergi som hammarkvarnen ger upphov till, och därmed i större grad ger upphov till bildning av små partiklar samt gnistor och heta inerta partiklar. Vidare antyder de högre underhållskostnaderna för hammarkvarnar att tekniken har förbättringspotiential i tillgänglighet. Hög tillgänglighet är en mycket viktig aspekt, och bör således noggrant vägas in i den kontinuerla bedömningen av teknikval.

Inom detta projekt har inte systemuppbyggnaden kring siktning undersökts i detalj. Det bedöms att en optimal utformning av siktningssystemet kan bidra till ytterligare kostnadsbesparingar, varför detta är något som rekommenderas för fortsatt arbete inom området. Exempelvis bör undersökas hur rejektfraktionen från säkerhetssiktningen kan recirkuleras till krossningen. Indikationer finns även på att det kan vara positivt att ytterligare bearbeta rejektet, exempelvis med målet att urskilja icke brännbar fraktion, innan återföring till krossning. Liksom i detta projekt bör systemen undersökas både ekonomiskt och praktiskt. Vidare rekommenderas att fortsatta jämförande test av hammarkvarn och krossning/siktning som förbehandlingsmetod genomförs. Bränslet skall då tas från samma källa för att eliminera eventuella osäkerheter beträffande skillnader i sammansättning. Syftet med sådana test bör vara att öka kunskapsgrunden, med avseende på mest fördelaktig förbehandlingsmetod för olika typer av bränslen.

Det skall understrykas att detta projekt inte gör anspråk på att visa att långsamtgående krossning i kombination med säkerhetssiktning entydigt är fördelaktigt framför förbehandling med hammarkvarn. Exempelvis visar resultaten på att det finns en stor förbättringspotential hos hammarkvarntekniken, i form av minskade underhållskostnader och minskad elförbrukning. Projektet begränsar sig till att visa att under de förhållanden som rådde inom projektets ramar, så fungerade konceptet med krossning och siktning lika bra som förbehandling med hammarkvarn.

8 Litteraturreferenser

[1] Koornneef J, Jungunger M, Faaij A. Development of fluidized bed combustion – An overview of trends, performance and cost. Progress in Energy and Combustion Sience, 2007:33(1):19-55.

[2] Sudhakat R, Kolar AK. Experimental investigation of the effect of initial fuel particle shape, size and bed temperature on devolatilization of single wood particle in a hot fluidized bed. Journal of analytical and applied pyrolysis 2011:92:239-249.

[3] J. Van Caneghema, A. Bremsb, P. Lievensa, c, C. Blocka, P. Billena, I. Vermeulena, R. Dewilb, J. Baeyensd, C. Vandecasteelea, Fluidized bed waste incinerators: Design, operational and environmental issues, Progress in Energy and Combustion Science Volume 38, Issue 4, 2012, Pages 551–582

[4] Brand i avfallsvärmekraftverk, Recyclingnet, 2013-04-11, http://www.recyclingnet.se/artiklar/nyheter/brand-i-avfallskraftvarmeverk/

[5] Fredrik Niklasson, Anita Pettersson, Frida Claesson, Andreas Johansson, Anders Gunnarsson, Marianne Gyllenhammar, Anders Victorén, Göran Gustafsson. Sänkt bäddtemperatur i FB-pannor för avfallsförbränning - etapp 2 (Slutrapport), Waste Refinery rapport WR19, 2010

[6] Wikström-Blomqvist, E., Jones, F. Bestämning av andel fossilt kol i avfall som förbränns i Sverige. Avfall Sverige rapport 2012:02,

WASTE REFINERY
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 Borås
wasterefinery@sp.se
www.wasterefinery.se