

# **Drift och underhåll av avfallsförbränningsanläggningar – en jämförelse av två tekniker och strategier**

Andreas Johansson (SP/Högskolan i Borås)

Fredrik Niklasson (SP)

Anders Johnsson (Borås Energi och Miljö)

Julia Fredäng (Dalkia)

Hans Wettergren (Renova)



**Drift och underhåll av  
avfallsförbränningsanläggningar  
– utveckling av en metod för kostnadsjämförelser av  
olika teknik- och strategival**

**Operation and maintenance of Waste Combustion  
plant  
– development of a method for economical comparison  
of different techniques and strategies**

Andreas Johansson (SP/Högskolan i Borås)  
Fredrik Niklasson (SP)  
Anders Johnsson (Borås Energi och miljö)  
Julia Fredäng, (Dalkia)  
Hans Wettergren (Renova)

Projektnummer WR-09  
År: 2009

**WASTE REFINERY**  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås  
[www.wasterefinery.se](http://www.wasterefinery.se)  
[wasterefinery@sp.se](mailto:wasterefinery@sp.se)  
ISSN 1654-4706



## Sammanfattning

Detta arbete har tagit fram och demonstrerat en metod för att enkelt jämföra drift- och underhållskostnader för olika avfallsförbränningsanläggningar. Metoden går ut på att inledningsvis grovt sortera in kostnaderna i olika poster, jämföra mot andra anläggningar och sedan förfinas kostnadsindelningen där intresse finns eller där följdfrågor väcks. Med denna ansats kan arbetsinsatsen och tidsåtgången för jämförelsen hållas så låg som möjligt. Få studier av detta slag finns eftersom avfallsförbränningsanläggningar ofta har en unik uppsättning av tekniklösningar och driftsstrategier, vilket gör direkta jämförelser komplicerade och omfattande. Konsekvensen blir därför ofta att jämförelser uteblir vilket i sin tur medför att den kunskap som finns hos anläggningsägare om lyckade teknik- och strategival ej synliggörs. Branschgemensamma utmaningar förblir i viss mån också osynliga.

Den demonstrerade metoden synliggör effekterna av olika teknik- och strategival och påvisar var förbättringspotentialerna ligger hos de olika anläggningarna. Metoden har också varit enkel att använda och bedöms lämplig för att applicera även på ett större antal anläggningar. Projektet har i och med dessa resultat också uppnått sitt syfte.

Nyckelord: *Avfallsförbränningsanläggningar, Driftskostnader, Underhållskostnader, FB-pannor, Rosterpannor*

## Summary

This work has developed and demonstrated a simple method for comparison of operation and maintenance cost for various waste combustion techniques and plants. The principal of the method is to coarsely and initially divide cost into comparable posts. Post of specific interest is thereafter compared on a more detailed level. This procedure allows comparison with a modest consumption of time and effort. There is a lack of such comparison because of the effort needed to in detail compare the, often for each plant unique, selection of techniques and strategies. A consequence of the lack of comparisons is that success stories become invisible. The same can be said about common research needs.

The demonstrated method visualizes the effects of various selections of techniques and strategies. It also points out bottlenecks for further improvement of the investigated units. The method has been simple to use and it is therefore considered as suitable to use in a larger investigation covering several waste combustion units. Thus, the project has accomplished its aims.

Keywords: *Waste combustion units Maintenance costs, Operational costs Fluidised-Bed Boilers Grate furnaces*

---

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1	PROBLEMDISKUSSION	1
1.2	PROBLEMFÖRMULERING OCH MÅL	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR	1
<b>2</b>	<b>BAKGRUND</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>TEKNIKVAL VID ANLÄGGNINGARNA</b>	<b>4</b>
3.1	BORÅS ENERGI OCH MILJÖ	4
3.2	RENOVA	5
3.3	JÄMFÖRELSE AV ANLÄGGNINGARNAS PRESTANDA 2007	8
3.4	BRÄNSLESAMMANSÄTTNING HOS BORÅS ENERGI OCH MILJÖ OCH RENOVA	9
<b>4</b>	<b>RESULTAT</b>	<b>10</b>
4.1	METOD FÖR INSAMLING OCH SAMMANSTÄLLNING AV DATA	10
4.2	FÖRDELNING AV DRIFT- OCH UNDERHÅLLSKOSTNADER	11
4.3	FÖRDELNING AV KOSTNADER FÖR DRIFT AV FÖRBRÄNNINGSANLÄGGNING	12
4.4	FÖRDELNING AV UNDERHÅLL- OCH EFTERBEHANDLINGSKOSTNADER	13
<b>5</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>LITTERATURREFERENSER</b>	<b>16</b>

## Bilagor

<b>A</b>	<b>ALLMÄN KARAKTÄRISTIK FÖR VANLIGA TEKNIKER FÖR FÖRBRÄNNING AV AVFALL OCH RÖKGASRENING</b>
<b>B</b>	<b>DRIFT- OCH UNDERHÅLLSKOSTNADER FÖR BORÅS ENERGI OCH MILJÖ OCH RENOVA PER TON FÖRBRÄNT AVFALL</b>





# 1 Inledning

## 1.1 Problemdiskussion

Avfallsförbränningsanläggningarna runt om i Sverige byggs för att matcha rådande miljökrav och lokala tillstånd såsom bränsletillgång, el- och fjärrvärmebehov, kommuninvånarnas åsikter etc. Det finns därtill en rad olika tekniker att välja mellan när det gäller upparbetning och inmatning av det inkommande bränslet, förbränningen och dess säkerställande samt rökgasreningen och resthanteringen. Anläggningarna som byggs får i slutändan ofta unika förutsättningar, vilket försvårar jämförelser anläggningar emellan. En följd av brist på jämförelser är att det som anläggningsägare blir svårt att veta om det finns förbättringspotential och i så fall hur stor den är. Det blir svårt att identifiera lyckade drift- och underhållsstrategier eftersom dessa riskerar att bli lösryckta och utan mening för en annan anläggning med en annan teknikuppsättning och en annan bränslesammansättning. En mycket liten del av den kunskap som finns ute på anläggningarna tas därmed till vara på eller synliggörs. Negativa följder av detta är att befintliga kostnader och prestanda accepteras trots att kunskapen och/eller tekniken för förbättring finns.

Med en synliggjord kunskap om hur olika anläggningar presterar utifrån sina förutsättningar så skulle drift- och underhållskostnader kunna minskas, i allmänhet för befintliga anläggningar och i synnerhet för nya anläggningar. Vidare så skulle en ökad kunskap om hur drift- och underhållskostnader fördelar sig vid olika anläggningar även ge en ökad insikt om framtida teknik- och kunskapsbehov, vilket kan tjäna som en kompass för innovationer och forskningsprojekt.

## 1.2 Problemformulering och mål

Detta projekt syftar till att utveckla en metod för insamling av drift- och underhållskostnader från ett större antal anläggningar för avfallsförbränning. Projektet utförs i två etapper, där detta arbete avser första etappen som syftar till att utveckla en metod för att identifiera förbättringspotential inom drift- och underhållsfrågor vid avfallsförbränningsanläggningar, vilket sedan ska utnyttjas i en eventuell etapp 2. Inom etapp 1 skapas även en bild över hur drift- och underhållskostnader fördelas vid avfallsförbränningsanläggningarna hos Borås Energi och Miljö samt Renova. Dessa kostnader sätts i relation till de tekniker och det bränsle som respektive anläggning har.

Målet på sikt är att identifiera de områden där utmaningarna och förbättringspotentialen är som störst, samt nyttja befintlig kunskap för att kraftigt minimera drift- och underhållskostnaderna för avfallsförbränningsanläggningar.

## 1.3 Avgränsningar

Studien omfattar avfallsförbränningen hos Renova och Borås Energi och Miljö. Relevant systemgräns för drift- och underhållsfrågor hos dessa anläggningar diskuterades inledningsvis. Projektdeltagarna kom då gemensamt fram till att MAVAs hantering och ångturbiner utesluts ur studien så att systemgränsen sätts vid ånga/hetvatten ut. Det vill säga att ingen skillnad görs på om ångan används för att producera el eller fjärrvärme.

Systemgränsen för bränslet in sätts efter invägning. Rökgasreningsystem och hantering av restprodukter inkluderas också i studien medan följande exkluderas:

- Investeringar (definierat som kostnader som inte regelbundet görs på årsbasis)
- Bränslepriser
- Avtal med leverantörer/underleverantörer
- Särskilda tillstånd

Detaljnivån av kostnadsposter har tagits fram i dialog med projektdeltagarna med målsättningen att hitta nivåer som möjliggör relevanta jämförelser anläggningarna emellan.

## 2 Bakgrund

Deponiförbud och ökade priser på bibränslen ger avfallsförbränning en stor ekonomisk potential eftersom intäkter erhålls både från mottagningsavgifter och energiförsäljning. Avfall kräver dock en mer avancerad hantering än konventionella bränslen, vilket resulterar i höga drifts- och underhållskostnader. Dessa kostnader kan grovt delas upp i fem poster:

- **Förbehandling.** Mottagning/bränsleberedning/förädling/avskiljning/övervakning etc.
- **Drift.** Additiv/förbrukning av el och olja/sotning/oväntade stopp/skatter etc.
- **Underhåll.** Reparation/material etc.
- **Efterbehandling.** Askhantering/ metallåtervinning etc.
- **Tillgänglighet.** Öväntade driftstopp/tid för revision

Fördelningen mellan dessa kostnader varierar kraftigt mellan olika förbränningstekniker och är starkt beroende på vilken eller vilka typer av avfall som förbränns. Detta har dock aldrig sammanställts i en vidare bemärkelse och det har därför tidigare varit svårt att dra nytta av den kunskap som finns hos drift- och underhållspersonal. Ett problem med sammanställningar av denna typ är just insamlingen av relevant information från ett större antal anläggningar. Till exempel så ger enkätundersökningar i allmänhet en låg svarsfrekvens medan telefonintervjuer riskerar att generera opålitliga uppgifter. Studier har visserligen gjorts på enskilda anläggningar och av enskilda panntillverkare men dessa publiceras vanligtvis inte. Inom Värmeforsk finns en rapport som generellt beskriver olika underhållsstrategier som kan tillämpas vid värme- och/eller kraftproducerande anläggningar [1] och det finns en studie av drift- och underhållskostnader för kraftvärmeanläggningar [2] (ej avfall). En stor europeisk sammanställning över kostnader för hantering av avfall gjordes av Eunomia 2001 [3] där en någorlunda detaljerad redovisning av ett tysk rosteranläggning finns samt en sammanställning över svenska anläggningar. För de svenska anläggningarna i studien finns dock bara drift- och underhållskostnader uppskattade som en procentsats på investeringskostnaden (2%). Det finns även andra exempel på rapporter som indikerar drift- och underhållskostnader, t.ex. [4] och [5] men ingen av dessa tillåter en utvärdering av teknik- och strategival eftersom endast generella kostnadsspann är angivna. Det saknas således pålitlig data över hur olika panntyper presterar i termer av drift- och underhåll. En sådan sammanställning förväntas bland annat vara till stor hjälp för anläggningsägare som söker förbättringar eller ska bygga nytt. En större sammanställning förväntas också kunna ringa in gemensamma utvecklingsbehov och kunskapsluckor.

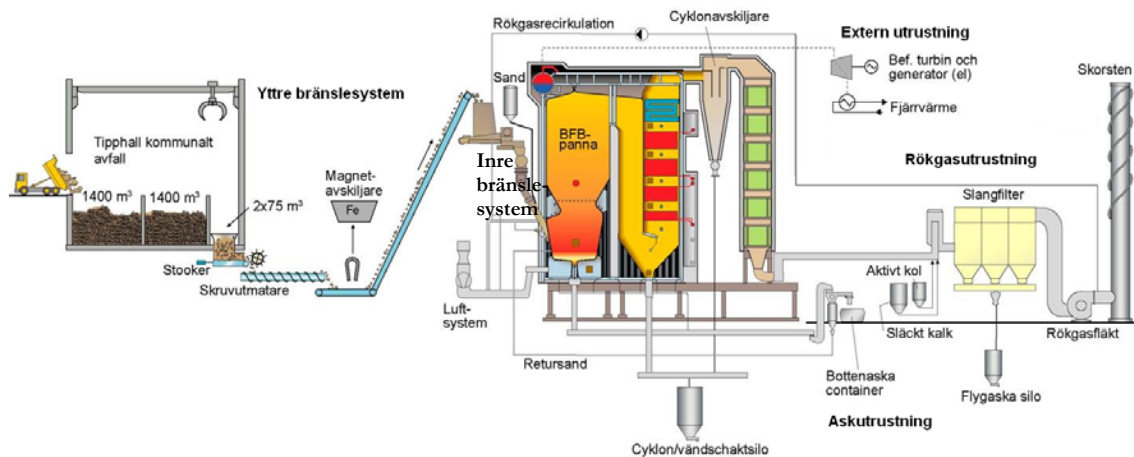
### 3 Teknikval vid anläggningarna

Nedan ges en översiktlig beskrivning av de undersökta anläggningarna. I Bilaga A finns kompletterande information om generella för- och nackdelar för olika tekniker.

#### 3.1 Borås Energi och Miljö

Borås Energi och Miljö förbränner sedan 2004 årligen ca 100 000 ton avfall i två 20 MW<sub>t</sub> BFB-pannor. Pannorna som är byggda av Metso Power (dåvarande Kvaerner Power) är med den så kallade ACZ™-tekniken (advanced combustion zone). Tekniken omfattar asymmetriska väggar i botten av eldstaden och en riktad lufttillförsel som skapar en vortex i eldstadens nedre del, allt för att underlätta fullständig förbränning och god omblandning (se översiktsbild i Figur 1). Eldstaden är också utrustad med en ammoniak-baserat SNCR för NO<sub>x</sub>-reduktion. Därtill finns ett textfilter där kalk och aktivt kol tillsätts för att reducera emissioner av HCl, SO<sub>2</sub>, tungmetaller och dioxiner. Ångdatan är på 49 bar 405 °C och vardera panna producerar 5 MW el utifrån ca 7 ton avfall i timman. De två pannorna har ett gemensamt yttre bränslehanteringssystem och till stor del även ett gemensamt ask- och rökgashanteringssystem. Särskilda åtgärder har vidtagits för att åstadkomma ett jämnt bränsleflöde in till eldstaden i form av en varvtalsstyrd matning med aktivatorvalsar och avrivare som hjälper till att hålla uppe volymiteten på bränslet. Anläggningen producerar fyra sorters askor; bottenaska, vändschaktsask, cyklonaska och filteraska. Metallåtervinning sker från bottenaskan innan den slutligen används som konstruktionsmaterial vid deponier. Flygaskorna däremot transporteras direkt till Langeöya i Norge för slutförvaring. Askflöden, dess innehåll och övrig prestanda är beskriven i [6].

Bränslet består till 20-30% av hushållsavfall medan resterande del utgörs av verksamhets/industriavfall. Allt bränslet bereds vid en anläggning strax utanför Borås (Sobacken). Vid beredningsanläggningen finns bland annat en förkross (en två-axlad riv), ett inmatningsbord, en hammarkvarn samt flera magneter. Verksamhetsavfallet/industriavfallet passerar vanligtvis förkrossen innan det förs via ett lamellband in till hammarkvarnen under övervakning av en operatör med tillgång till en kran. Operatören kan med kranen plocka bort svårprocessat och olämpliga material från bandet. Hammarkvarnen slår sedan sönder materialet i flera steg, när det matas in i kvarnen, när det passerar knivbryggan och när det passerar kvarnens bottenrost. Roster kan väljas med olika hålstorlek beroende på önskad slutlig partikelstorlek. Ett rejektsystem avskiljer okrossbart material som av misstag kan följa med in i kvarnen. Bränslet passerar sedan flera magneter som urskiljer kvarvarande skrot innan det fördelas till två bränslefack utanför anläggningen. Totalt sett avskiljs årligen ca 2500 ton metall vid förbehandlingsanläggningen.



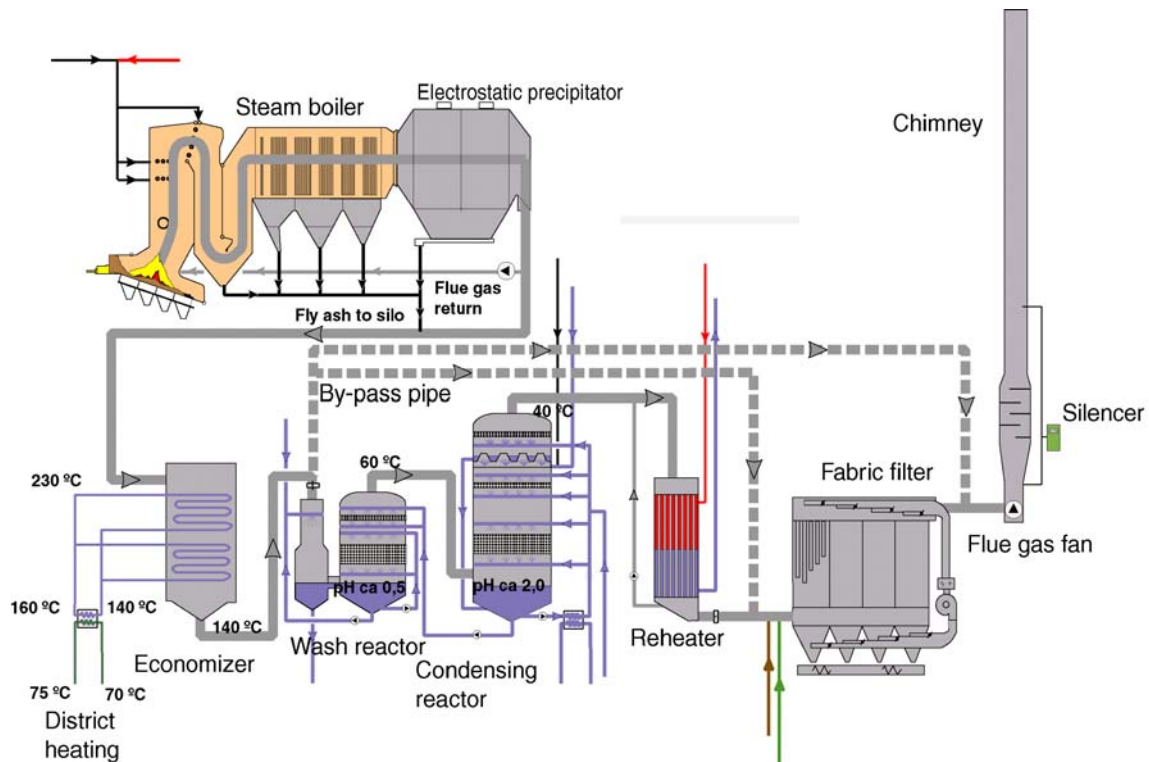
Figur 1. Principbild över en avfallspannorna i Borås.

Figure 1. Principal process scheme for the waste combustion plant in Borås

### 3.2 Renova

Renovas anläggning i Göteborg förbränner i dagsläget ca 500 000 ton avfall per år, varav ca hälften är hushållsavfall. Anläggningen består idag av tre ugnar och en fjärde är under konstruktion. Ugn 1 är levererad av Martin GmbH, togs i drift 2001 och har en panneffekt av 45 MW och en avfallskapacitet på 15 ton avfall per timma vid ett värmevärde på 10,9 MJ/kg avfall. Ångproduktionen är 54,7 ton per timma då ångans tryck och temperatur är 40 bar respektive 400°C. Ugn 4 och ugn 5, levererade av von Roll, togs i drift 1994/1995. Ugnarna har en panneffekt på vardera 56 MW och en avfallskapacitet på vardera 22 ton avfall per timma vid ett värmevärde på 10,9 MJ/kg avfall. Ångproduktionen är 73 ton per timma då ångans tryck och temperatur är 40 bar respektive 400°C. Till anläggningen finns en ångturbin med generator och mottryckscondensator (36,5 MW), för att ur avfallet kunna utvinna energi i form av elektricitet och fjärrvärme. Med avtappningsånga från turbinen (3,5 bar) drivs anläggningens absorptionsvärmepumpar, som genom den utkondenserade värmeenergin i rökgaserna återvinner och producerar ytterligare fjärrvärme. I Figur 2 visas en översiktsbild för anläggningen som i princip är likartad för samtliga ugnar och nedan följer en kortfattad beskrivning av anläggningen (en utförligare finns i [7])

I anslutning till avfallskraftvärmeverket finns en sorteringsanläggning där grovavfall upparbetas för att via en bandgång tömmas i avfallsbunkern. Det sorterade och sönderdelade grovavfallet blandas in i det normala hushållsavfallet före förbränning. Dock användes sorteringsanläggningen under 2007 enbart till att behandla hela bitar av tryckimpregnerat trä, till exempel slipers. I sorteringsanläggningen kan avfallet sorteras i flera steg via manuell utsortering med hjälp av en plockkran. För att underlätta sorteringen sönderdelas grovt material i en grovsax. En trummagnet avskiljer sedan järnskrot innan



Figur 2. Processbeskrivning av Renovas avfallskraftvärmeverk

Figure 2. Principal process description for Renovas' waste combustion plant

avfallet krossas i en hammarkvarn. Okrossbart material går som reject till en särskild behållare. Det finfördelade avfallet siktas sedan i en roterande cylindrisk trumma med centimeterstora hål. Tunga partiklar som grus och glas avskiljs och transporteras till avfallsupplag. Det siktade avfallet passerar slutligen ännu en magnet för avskiljning av järn- och plåterester. Det avfall som är kvar efter sorteringen transporteras till bunkern i förbränningsanläggningen via ett transportband.

Beskickning av ugnarna sker med två avfallskranar, vardera med en gripskopa på 8 m<sup>3</sup> och med en maximal last på 5 ton. Avfallet förs via en påfyllningstratt och ett påfyllningsschakt med en hydraulisk pusher ut på rosten där det mekaniskt matas fram under förbränningsprocessen. Den utbrända slaggen faller ner i ett vattenfyllt slaggläckningstråg där den släcks. Den släckta slaggen transporteras till slaggbunkern, där slaggen svalnar i väntan på transport till deponi. Den slagg som blir kvar när avfallet förbränts utgör cirka 19 viktsprocent av den mängd som matas in i ugnarna. Slaggen

består huvudsakligen av utbränd aska samt järnskrot, metaller, glas och sand. Järnskrot materialåtervinns för att användas som råvara vid stålframställning. Ur slaggen sorteras slaggrus ut, vilket utnyttjas som konstruktionsmaterial vid deponier men det kan även användas vid till exempel vägbyggen.

Primärluften tas från avfallsbunkern, tillförs under rosten och passerar genom rosterblocken, som därigenom kyls, och fördelas över rosterytan till bränslebädden. Sekundärluft utgörs av luft från slaggbunkern, men även av återförd rökgas. Sekundärluften förs in tangentiellt i förbränningsrummet för att ge en ökad omblandning och bättre

förbränningsförhållanden. Rökgasåterföring sker med 25 – 28 % av den totala rökgasvolymen för att minska luftöverskottet och därmed minska bildningen av främst kväveoxider. För att ytterligare reducera kväveoxidutsläppen tillförs 25 % -ig ammoniaklösning på två nivåer i eldstaden i ugn 1 och på en av tre nivåer i eldstaden i ugn 4 och 5. De vid förbränningen bildade rökgaserna passerar genom en avgasångpanna, vidare genom en matarvattenekonomiser, överhettare och ett elektrofilter som är första steget i rökgasreningen. Rökgasreningen sker i en för varje ugn separat rökgasreningslinje, först via ett elektrofilter där cirka 99 % av stoftet (flygaskan) avskiljs från rökgaserna. Det stoft som avskiljs transporteras till en av två asksilos. Askan blandas senare med recirk från spärrfiltret och slam från vattenreningen till en mycket stabil restprodukt. I tvättreaktorn sker sedan den huvudsakliga reningen av rökgaserna. Tvättreaktorn har en bädd med fyllkroppar, vilket ger rökgasen en så stor kontaktyta som möjligt med processvattnet som cirkulerar och absorberar föroreningar. Små stoftpartiklar, saltsyra, fluorvätesyra, kvicksilver och andra tungmetaller löses i vattnet och högst upp i reaktorn finns en droppavskiljare, ett finmaskigt nät, som fångar upp vattendroppar. I kondenseringsreaktor därefter kondenseras merparten av fukten i rökgasen. Föroreningar (bland annat dioxin som är stoftbundet) och fukt övergår då till vätskefas, som via tvättreaktorn pumpas till vattenreningen. I kondenseringsreaktorn sker också värmeåtervinning genom att ångbildningsenergin som frigörs vid kondensering överförs till ett mellankylsystem och via värmepumpar vidare till fjärrvärmenätet. Ungefär 22 % av den totala energiåtervinningen sker via kondensering och ekonomisrar för fjärrvärme. Även i kondenseringsreaktorn finns en fyllkroppsbädd och droppavskiljare som avskiljer små vattendroppar (aerosoler). Processvattnet leds sedan till vattenreningen. Efter att ha passerat kondenseringsreaktorn har rökgasen en temperatur på 40°C och en fukthalt på 7-10 %. För att förhållandena ska vara optimala för avskiljning i spärrfilter och för att inte fukten skall falla ut som droppar när gasen leds genom skorstenen och ut i den kallare luften, värms rökgasen med ånga till cirka 80-90°C (över daggpunkten) i en återvärmare. Det sista reningssteget för rökgaserna är spärrfiltret (ett slangfilter). I varje filter finns cirka 1000 stycken 7,5 meter långa slangar av temperaturtåligt textilmaterial, vilka kan liknas vid långa dammsugarpåsar. Finmalen släckt kalk och aktivt kol injiceras i rökgasen före filtret. De sura gaserna, framförallt svaveldioxid, reagerar med kalken och absorberas medan dioxin och tungmetaller binds av kolet. Kalk, kol och eventuellt stoft fångas upp på utsidan av slangarna och bildar där en beläggning. Den kemiska reaktionen och reningen avslutas när gasen passerar genom stoftbeläggningen och slangarna. För att säkerställa systemet finns ”våt” och ”torr” bypass, där rökgaserna kan ledas förbi respektive reningssteg. Vid våt bypass (våt rening ur drift) skall även enbart den torra reningen (spärrfiltret) klara utsläppskraven. Vid uppstart och nedsläckning av ugn (oljebrännardrift) är normalt båda reningsstegen förbikopplade (stor bypass).

Det överskottsvatten som uppstår genom kondenseringen pumpas till vattenreningsanläggningen där det sura tvättvattnet neutraliseras i ett första steg genom en tillsats av kalksten. I ett andra steg drivs bildad koldioxid bort och ytterligare pH-höjning sker genom tillsats av kalkmjölk. För att säkerställa att neutralisering alltid kan ske finns ett reservsystem, där neutraliseringen sker med natriumhydroxid, installerat. Efter pH-justering sker tillsats av fällningsmedel, TMT-15, i neutralisationssteg 2 samt flockningsmedel i flockningstanken varvid tungmetaller binds till svårslösliga svavelföreningar. Det neutraliserade och från tungmetaller reade processvattnet leds därefter via en värmepump genom ett sandfilter med totalt 5 sektioner och pumpas via egen ledning förlagd i Sävån ut i Göta älv. Det slam som bildas i vattenreningen blandas före transport till

deponeringsplatsen med flygaskan från elektrofiltret och aska från spärrfiltret. Detta stabiliseras både kemiskt och fysikaliskt till en så kallad Bambergkaka

### 3.3 Jämförelse av anläggningarnas prestanda 2007

Tabell 1. Verkningsgrad och tillgänglighet för de undersökta anläggningarna

Table 1. Efficiency and availability for the investigated units

	BEM	Renova
Levererad energi per ton avfall [MWh/ton]	2,8	2,9
Levererad energi/utvunnen energi [%]	89	89
Planerad drifttid [h]	8088	7912
Verklig drifttid [h]	7376	7909
Avvikelse [%]	9	0
Planerad Energiproduktion [GWh]	284	1277
Verklig leverans [GWh]	268	1276
Avvikelse [%]	6	0

Tabell 1 visar verkningsgrad och tillgänglighet för de undersökta anläggningarna. Verkningsgraden är angiven både som levererad energi per ton förbränt avfall och som enhet levererad energi per enhet producerad energi. Måtten är snarlika för de båda anläggningarna. Renovas planerade drifttid sammanföll i det närmsta med den verkliga, medan Borås Energi och Miljö hade jämfört med Renova en högre planerad drifttid men överskattade den med ca fyra veckor.

Tabell 2. Emissioner till luft och vatten för de undersökta anläggningarna ([7], [8])

Table 2. Emissions to air and water for the investigated units ([7], [8])

<b>Emissioner till luft</b>	<b>BEM</b>	<b>Renova</b>
CO <sub>2</sub> [ton/ton förbränt]	1,17	1,06
SO <sub>2</sub> [kg/ton förbränt]	0,05	0,07
NO <sub>x</sub> [kg/ton förbränt]	1,05	0,38
Stoft [kg/ton förbränt]	0,01	0,01
CO [mg/Nm <sup>3</sup> , 11% O <sub>2</sub> ]	~3	~20
SO <sub>2</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> , 11% O <sub>2</sub> ]	~1	7,2
HCl [mg/Nm <sup>3</sup> , 11% O <sub>2</sub> ]	~3	0,3
TOC [mg/Nm <sup>3</sup> , 11% O <sub>2</sub> ]	< 0,1	~0,4
<b>Emissioner till vatten</b>		
Klorid [kg/ton förbränt]	0	3,7
Sulfat [kg/ton förbränt]	0	0,2
Kväve [kg/ton förbränt]	0	0,09
<b>Övrig info</b>		
Ammoniak/NO <sub>x</sub> [-]	3	14
NO <sub>x</sub> -avgifter	1839	-3762



Tabell 2 visar några av de viktigaste emissionerna. För Borås Energi och Miljö sker samtliga emissioner till luft medan Renova både har emissioner till luft och vatten. Renova uppvisar en mycket låg emission av kväveoxider i förhållande till Borås Energi och Miljö. Renova drar här fördel av sin våta skrubber samt en betydligt högre dosering av ammoniak. Detta medför också att Renova går med vinst i NO<sub>x</sub>-systemet medan det motsatta gäller för Borås Energi och Miljö.

### 3.4 Bränslesammansättning hos Borås Energi och Miljö och Renova

I tabell 3 visas ett medelvärde för bränslesammansättning hos Borås Energi och Miljö och Renova under 2007. Analyserna är utförda inom VOKAB-projektet<sup>1</sup> och baserar sig för Borås Energi och Miljö på fyra provtagningar och för Renova på sex provtagningar. Bränslena är snarlika i termer av värmevärde, fukthalt och kolhalt, medan askhalten är något högre för Renova. Det senare härrör från att Renova endast förbehandlar delar av sitt bränsle. När det gäller svavel så är bränslena också likvärdig men det finns mer eller betydligt mer klor, alkalimetaller och tungmetaller i bränslemixen i Borås. Detta har med största sannolikhet sitt ursprung i en högre andel verksamhetsavfall/industriavfall.

Tabell 3. Bränslesammansättning hos Borås Energi och Miljö och Renova under 2007

Table 3. The composition of the waste fuel for Borås Energi och Miljö and Renova

	Effektivt värmevärde [MJ/kg]	Fukthalt [vikts-%]	C [vikts-% TS]	H [vikts-% TS]	N [vikts-% TS]
BEM	10,3	38,1	45,7	5,98	1,15
Renova	10,0	37,3	44,7	5,60	1,08
	Cl [vikts-% TS]	S [vikts-% TS]	Aska [vikts-% TS]	Fe [g/kg TS]	Al [g/kg TS]
BEM	0,59	0,31	18,5	4,31	9,83
Renova	0,51	0,32	20,8	4,10	5,78
	Zn [g/kg TS]	Pb [g/kg TS]	Cr [g/kg TS]	Cu [g/kg TS]	Ni [g/kg TS]
BEM	0,54	0,27	0,17	0,80	0,04
Renova	0,34	0,06	0,05	0,35	0,02
	As [g/kg TS]	Cd [g/kg TS]	Sb [g/kg TS]	Co [g/kg TS]	V [g/kg TS]
BEM	0,014	0,002	0,036	0,006	0,012
Renova	0,026	0,001	0,003	0,003	0,007
	Mo [g/kg TS]	Si [g/kg TS]	Ti [g/kg TS]	Mg [g/kg TS]	Ca [g/kg TS]
BEM	0,004	35,16	2,09	2,95	25,40
Renova	0,003	56,02	0,37	2,03	22,47
	Ba [g/kg TS]	Na [g/kg TS]	K [g/kg TS]	P [g/kg TS]	
BEM	0,35	6,42	3,47	1,08	
Renova	0,24	3,17	2,38	1,32	

<sup>1</sup> Se [www.wasterefinery.se](http://www.wasterefinery.se)

## 4 Resultat

### 4.1 Metod för insamling och sammanställning av data

Filosofin bakom framtagandet av den aktuella metoden för sammanställandet av drift- och underhållskostnader har varit att det skall vara så enkelt som möjligt för de företag som förväntas delta. Samtidigt skall resultaten visualisera kostnadsfördelningen på ett relevant sätt som skall synliggöra förbättringspotential och/eller flaskhalsar. För att hitta rätt nivå för bemötande av ovanstående beslutades det inom projektgruppen att först sammanställa data på en övergripande nivå för att sedan förfina i kostnadsposter som är relevanta för respektive företag. Detta medför att oavsett hur ett företag följer upp sina kostnader så tilläts åtminstone jämförelser på någon nivå. Om sedan jämförelsen väcker följdfrågor görs ytterligare försök till att hitta jämförbara underrubriker. Processen avstannar således när följdfrågorna tar slut, alternativt, när svaret på följdfrågan inte finns tillgänglig. I fallet för det senare så har åtminstone en fråga väckts så att en ytterligare utredning kan följa.

Insamlandet och indelandet av data startade med att befintlig information över olika flöden och kostnadsposter samlades in. Detta inkluderade främst data från miljörapporter samt resultat från internrapporter och ekonomiska sammanställningar. Flöden och kostnadsposter sorterades sedan in i ett exceldokument utifrån känd enhet; t.ex. kostnader per tillfälle, kostnad per ton, kostnad per GWh, tid per vecka, årsanställda etc. (se Figur 3).

Aktivitet	Personal		Övr kost		Enstaka kostnader		Flödesrelaterade kostnader			Produktionsrelaterade kostnader			
	Tid/vecka	Tid/år	Kostnad/år	kSEK/år	kSEK/tillf	Tillf/år	kSEK/år	kSEK/ton	Antal ton	kSEK/år	kSEK/GWh	Antal GWh	kSEK/år
Förbehandling													
Drift													
Slagbyte (hammarkvarn)													
Driftfel													
Lastmaskinskostnad													
FU Kvarn													
AU Kvarn													
AU Mekanik													
AU EI													
Övrigt													
Bränsletransporter													
Personal													
Drift av förbränningsanläggning													
EI													
Olja													
Additiv (totalt)													
-sand													
-aktivt kol													
-kalk													
-ammoniak													
Ånga													
Personal													
Efterbehandling													
Transporter (bottenaska)													
Transporter (cyklonaska)													
Transporter (filteraska)													
Hantering Norge													
Underhåll													
Revision (totalt)													
Byte av murning													
Rengöring av VÖF ytor													
Övrigt													
Dagligt mindre underhåll													
Yttre bränslehantering													
ÅP1													
ÅP2													
Aska, rökgaser, etc													
Personal													

Figur 3. Excelmall för insamlade och sorterade av kostnader och kostnadsposter

Figure 3. Template for the collection and classification of various costs

För varje enhet delades sedan kostnaderna in under fyra huvudrubriker; förbehandling, drift, efterbehandling samt underhåll. Efter en inledande sammanställning, och en iterativ process bestående av telefonsamtal och mail mellan deltagarna, identifierades sedan de relevanta underrubrikerna och den för sammanhanget relevanta nivån för vidare uppdelningen i kostnadsposter. Därefter kunde kompletterande uppgifter direkt efterfrågas. Tidigt i processen, dvs redan efter den första sammanställningen, framgick också vilka områden som var intressanta att gå in djupare i. För dessa områden inhämtades information via ett anläggningsbesök/intervju. Detta besök kretsade således kring frågeställningar och uppdelningar som anläggningsrepresentanten själv var intresserad av att gräva djupare i.

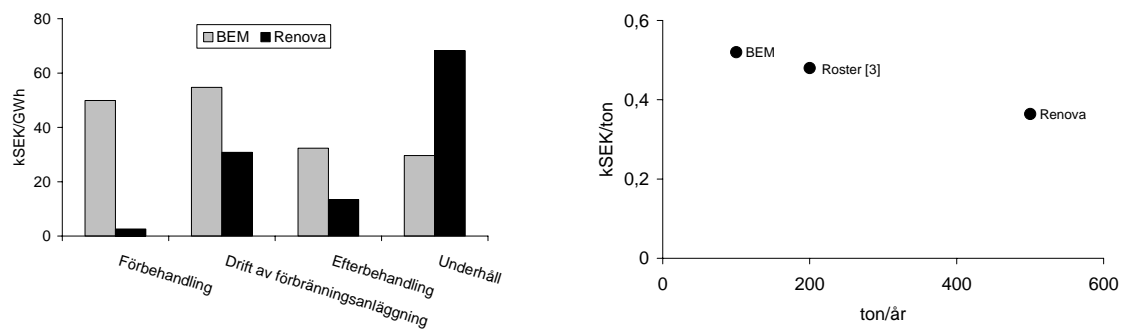
Sammanfattningsvis så omfattar metoden således fem moment:

1. Fastställande av systemgränser
2. Insamlande av befintlig data
3. Sammanställning och indelning av data enligt framtagen mall
4. Jämförelse mot en anläggning/databas
5. Följdfrågor

Moment 2-5 itereras sedan tills det att önskvärd nivå har uppnåtts. I föreliggande studie har ovan moment itererats två till tre gånger beroende på vilka följdfrågor som väcktes.

## 4.2 Fördelning av drift- och underhållskostnader

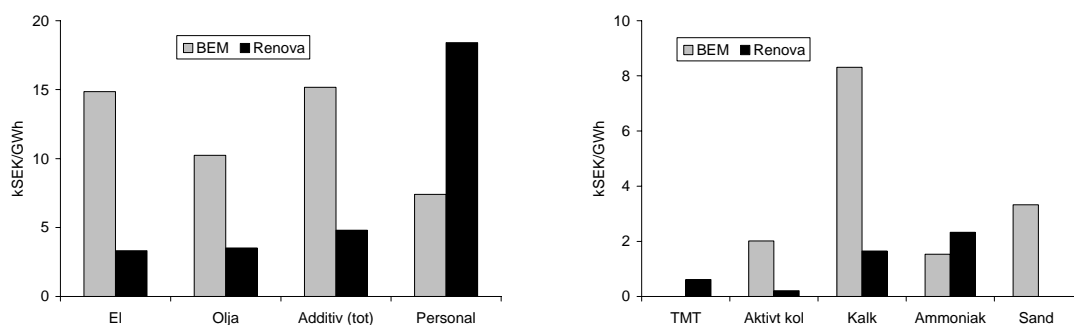
Kostnaderna för samtliga poster fås i excelmallen som kSEK/år, kSEK/GWh samt kSEK/ton förbränt avfall. I syfte att åstadkomma en jämförelse anläggningar emellan så är det främst de två senare enheterna mest intressanta. I denna rapport redovisas emellertid bara kostnader per GWh eftersom anläggningarna i princip har samma verkningsgrad och samma värmevärde på bränslet. Figur 4a visar kostnaderna per gigawattimma för de huvudsakliga kostnadsposterna för respektive anläggning. Samtliga kostnadsposter varierar kraftigt mellan de aktuella anläggningarna. När det gäller förbehandling så är orsaken till skillnaden främst att FB-teknik kräver förbehandling (mindre styckstorlek krävs på bränslet) på allt inkommande avfall. Hos Renova är det emellertid bara RT-flisen som förbehandlas, dvs. ca 2,5 % av den totala avfallsmängden. Situationen ser annorlunda ut om istället kostnaden per ton förbehandlat avfall jämförs. Då är siffrorna för BEM och Renova på ca 0,16 kSEK/ton respektive 0,33 kSEK/ton. Totalt sett så uppgår de rörliga drift- och underhållskostnaderna till 167 kSEK/GWh för Borås Energi och Miljö och 115 kSEK/GWh för Renova. Kring dessa siffror skall det nämnas att hänsyn endast har tagits till de rörliga kostnaderna och inte till de fördelar och intäkter som de medför. Hänsyn har heller inte tagits till storleksskillnaderna anläggningarna emellan. Ökad storlek på anläggning medför annars ofta lägre specifika kostnader. Ett försök att illustrera detta har gjorts i Figur 4b som plottar drift- och underhållskostnaden per ton behandlat avfall, mot antal ton behandlat avfall per år för respektive anläggning. I figuren ingår även data från en tredje anläggning, en tysk rostpanna som förbränner avfall [3]. Även om tre datapunkter är i underkant för få att dra pålitliga slutsatser så indikerar ändå Figur 4b en möjlig trend som bör beaktas.



Figur 4. (a) Huvudsaklig kostnadsfördelning (b) Inflytande av anläggningsstorlek på den specifika kostnaden

Figure 4. (a) Distribution of the main costs (a) The influence of units size on the specific costs

### 4.3 Fördelning av kostnader för drift av förbränningsanläggning



Figur 5. (a) Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för drift av förbränningsanläggning (b) Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för additiv

Figure 5. (a) Distribution of the main operational costs (a) Distribution of the main additive costs

Figur 5 visar hur kostnaderna för drift av förbränningsanläggningen fördelar sig på underrubrikerna; el, olja, additiv samt personal. FB-tekniken medför ett ökat behov av fläktenergi på grund av det högre tryckfallet över bottenbädden relativt roster-tekniken. Trots detta sticker kostnaden för elförbrukningen för Borås Energi och Miljö ut, relativt Renova. När det gäller förbrukningen av olja så finns det inget i teknikvalen som motiverar skillnaden i Figur 5. Orsakerna till förbrukningen av el och olja i Borås rekommenderas därför att ses över.

Förbrukningen av additiv är också betydligt högre i Borås än hos Renova, vilket till stor del beror på teknikvalet men även på att ett besvärligare bränsle används (mer alkali, klor och tungmetaller) i Borås. I Borås används ett torrt rökgasreningssystem som har fördelarna av att vara enkla och ha låga investeringskostnader men som kräver höga flöden av kalk och aktivt kol. Våta system som det Renova använder sig av är ofta dyrare i investering, mer

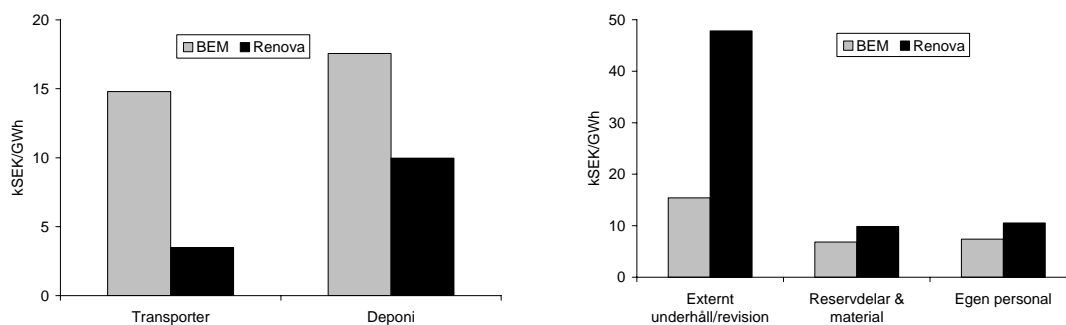
komplext och mer energikrävande men har fördelen av att tillåta bättre stökiometri mellan rökgas och additiv. I Figur 5b visas kostnaderna per additiv och per anläggningen och som synes är förbrukning av aktivt kol och kalk kraftigt högre i Borås jämfört med Renova. Även om teknik- och bränsleskillnaderna påbjuder avvikelser så rekommenderas att förbrukningen av kalk och aktivt kol ses över i Borås för att om möjligt minska dessa.

Både Renova och Borås Energi och Miljö använder sig av SNCR med ammoniakinsprutning. Den något högre ammoniakförbrukningen hos Renova kan förmodligen förklaras med den högre förbränningstemperaturen i rosterpannor relativt FB-pannor, men bör ändå undersökas närmare.

#### 4.4 Fördelning av underhåll- och efterbehandlingskostnader

I Figur 6 visas kostnaderna för efterbehandling (Figur 6a) och underhåll (Figur 6b). Efterbehandlingen består av kostnader för transport av restprodukter samt deponikostnader. Även här blir teknik- och strategival tydliga. I Borås går flygaskan till Langeöya i Norge medan bottenaskan hanteras kostnadsfritt för Borås Energi och Miljö av en entreprenör som återvinner metaller ur den. Renova däremot hanterar huvudsakligen själva sina restprodukter, vilket främst medför betydligt lägre transportkostnader. Efterbehandlingskostnaderna motsvarar för Borås Energi och Miljö ca 20 % av de totala drift- och underhållskostnaderna. Ungefär en tredjedel av dessa härrör från transport och deponering av vändschaktsaska som till mångt och mycket består av finkornig bäddsand. En utredning kring möjligheten till alternativ hantering eller minskad mängd vändschaktsaska tycks således vara (åtminstone ekonomiskt) motiverad.

Underhållskostnaderna i Figur 6b har blivit indelade i kostnader för dagligt underhåll med egen personal, kostnader för reservdelar och material samt kostnader för externa tjänster/revision. I samtliga fall är Renovas kostnader högre eller betydligt högre än motsvarande kostnader för Borås Energi och Miljö, vilket är en återspeglning av främst ett komplexare rökgasreningssystem och en lägre grad av förbehandling av bränslet.



Figur 6. (a) Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för efterbehandling (b) Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för underhåll

Figure 6. (a) Distribution of the main subsequent treatment costs (b) Distribution of the main maintenance costs

## 5 Slutsatser

Detta arbete har tagit fram och demonstreras som en metod för att enkelt sammanställa drift- och underhållskostnader för avfallsförbränningsanläggningar. Metoden ger en överskådlig inblick i fördelningen av kostnader och belyser tidigt och tydligt vilka områden som är intressanta att studera vidare. Trots att de undersökta anläggningarna befattar sig med nästintill rakt igenom olika tekniker så synliggörs för- och nackdelar med de olika teknikerna. Befintlig kunskap och områden med den största förbättringspotentialen framträder också.

Generellt så uppvisar Borås Energi och Miljö högre kostnader för förbehandling, drift av förbränningsanläggning och efterbehandling medan Renova uppvisar de högsta kostnaderna för underhåll. Förutom teknik- och strategival bör parametrar som bränslesammansättning och anläggningsstorlek tas i beaktande vid jämförelser som i detta arbete.

Metoden är enkel i sitt utförande och bedöms vara passande att använda för att kartlägga ett större antal avfallsförbränningsanläggningar. Möjlig förbättringspotential och befintlig kunskap förväntas bli än tydligare när anläggningar med liknade teknikval jämförs.

## 6 Rekommendationer och användning

En rekommenderad fortsättning på projektet är att en etapp 2 genomförs för att fortsätta det generella kunskapsuppbyggandet kring hur olika anläggningar presterar i termer av drift- och underhåll. Med inblick i fler anläggningars drift- och underhållsstrategier kopplat till de specifika anläggningarnas förutsättningar och prestanda möjliggör fler följdfrågor och tydligare insikt i förbättringspotentialen och i den befintliga kunskapen i svenska anläggningar. Metoden kan även användas för att överblicka kostnadsfördelningen vid andra typer av anläggningar

Utifrån den initiala jämförelsen mellan Borås Energi och Miljö samt Renova rekommenderas att följande utreds närmare:

- Orsakerna till den höga elkonsumtionen vid pannorna i Borås, förklarar teknikval hela skillnaden?
- Konsumtionen av olja i Borås är i jämförelse med Renova mycket hög. Är detta motiverat/kan den minskas?
- Kostnaderna för hantering av askor är för Borås Energi och Miljö en förhållandevis stor kostnad, är det möjligt att hantera någon av askorna på ett alternativa sätt?
- Underhållskostnaderna är betydligt högre hos Renova jämfört med Borås Energi och Miljö, vilket till del har sitt ursprung i ett mindre förbehandling av bränsle. Är det ekonomiskt försvarbart att öka andelen förbehandlat avfall?
- Additivkostnaderna skiljer sig kraftigt och ibland mycket kraftigt mellan Renova och Borås Energi och Miljö, vilket kan bero på tekniskillnaderna men detta bör undersökas närmare.
- Kan det finnas kopplingar mellan höga kostnader för underhåll och låga kostnader för additiv/el/olja? Kan i så fall kan en minskning av additiv/olja/elkostnader motivera högre underhållskostnad (ex. oftare byta drivlager)?

## 7 Litteraturreferenser

- [1] Ekström, J., Sondén, M., Hägg, M., Johansson, B.-Å., Johansson, M., Ågren, K., Gunnarsson, H., Sandin, P.; ”Underhållsmetoder –utveckling, trender och rekommendationer” Värmeforskrapport 988, December 2006.
- [2] Gustavsson J.-O.; ”Sammanställning av drifts- och underhållserfarenheter från kommunala och industriella kraftvärmeanläggningar”, Värmeforskrapport 563, Februari 1996.
- [3] “Costs for Municipal Waste Management in the EU” Final Report to Directorate General Environment, European Commission, Eunomia, 2001
- [4] McLanaghan, S.R.B. “Delivering the Landfill Directive: The Role of New & Emerging Technologies”, Report for the Strategy Unit, AiIE, Penrith, 2002
- [5] AiIE, Review of residual waste treatment technologies, Report Prepared on Behalf of Kingston upon Hull City Council and East Riding of Yorkshire Council, AiIE, Penrith, 2003
- [6] Johansson, A.; Wikström, E.-L.; Johansson L.; Eskilsson, D.; Tullin, C.; Andersson, B.-Å.; Victorén, A.; Johnsson, A.; Peters, G.; “The Performance of a 20 MWth Energy-from-Waste Boiler”, Proceeding of the 19th International conference on Fluidised Bed Combustion, Vienna 2006
- [7] Miljörapport 2007 för avfallskraftvärmeverket och förbehandlingsanläggningen, inklusive återvinningscentralen vid Sävenäs, Renova
- [8] Miljörapport för år: 2007, Borås Energi och Miljö
- [9] “Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration”, EU Commission, Integrated Pollution Prevention and Control, August 2006
- [10] Bästa Tillgängliga Tekniker för avfallsförbränning. Översättning av kapitel 5 BREF Waste Incineration Avfall Sverige, RAPPORT F2008:02



## A Allmän karaktäristik för vanliga tekniker för förbränning av avfall och rökgasrening

Utförliga mätdata, diagram och analysresultat läggs som bilagor.

### A.1 Avfallsförbränningstekniker

I Tabell 4 visas generell karaktäristik för några av de vanligaste avfallsförbränningsteknikerna. Informationen är hämtat från EU kommissionens sammanställning över bästa tillgängliga tekniker [9].

Tabell 4. Karaktäristik för några av de vanligaste avfallsförbränningsteknikerna [3]

Table 4. Characteristics for some of the most applied waste combustion techniques

Teknik	Karaktär/ användning	Avfallsmängder (per lina)	Drift- och miljö prestanda		Botten aska	Rökgasvo lym	Kostnads information
			Fördelar	Nackdelar			
Roster - luftkyld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• värmevärde: låg - mellan (LCV 5 – 16.5 GJ/t)</li> <li>• hushållsavfall och andra heterogena fasta avfall</li> <li>• kan hantera fraktioner av avloppsslam och/eller sjukhusavfall ihop med hushållsavfall</li> <li>• tillämpas vid de flesta moderna anläggningar som förbränner hushållsavfall</li> </ul>	1 till 50 t/h med de flesta installationer na 5 till 30 t/h. De flesta industriella applikationer na är ej under 2,5 eller 3 t/h.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mycket väl demonstrerad i storskala</li> <li>• robust - låg underhållskostnad</li> <li>• lång driftshistorik</li> <li>• kan hantera heterogent avfall utan särskild förbehandling</li> </ul>	Generellt inte lämplig för pulver, vätskor eller material som smälter längs rostern	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TOC 0,5 % till 3 %</li> </ul>	4000 till 7000 Nm <sup>3</sup> /t Avfallsmängden beror på LCV. Typiskt 5200 Nm <sup>3</sup> /t.	Hög kapacitet som reducerar den specifika kostnaden per ton avfall.
Roster - vätskekyld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Som luftkyld fast:</li> <li>• LCV 10 – 20 GJ/t</li> </ul>	1 till 50 t/h med de flesta installationer na 5 to 30 t/h. De flesta industriella applikationer na är ej under 2,5 eller 3 t/h.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Som luftkyld fast:</li> <li>• kan hantera avfall med högre värmevärde</li> <li>• bättre möjligheter att kontrollera förbränningen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Som luftkyld fast:</li> <li>• risk för rosterförstörande läckor</li> <li>• mer komplex</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TOC 0,5 % till 3 %</li> </ul>	4000 till 7000 Nm <sup>3</sup> /t Avfallsmängden beror på LCV. Typiskt 5200 Nm <sup>3</sup> /t.	Något högre kapital-kostnad jämfört med luftkyld.
Fluid bädd - bubblande	<ul style="list-style-type: none"> <li>• endast för finfördelat avfall. Begränsad användning av obehandlat hushållsavfall</li> <li>• ofta användbart för slam</li> </ul>	1 till 10 t/h	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bra omblandning</li> <li>• flyg askor med bra lakningskvalité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kräver noggrann kontroll för att undvika bäddagglomering</li> <li>• stora mängder flygaska</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TOC &lt;3 %</li> </ul>	Relativt lägre än rostrar	Rökgasreningskostnaderna kan vara lägre. Kostnad för förbehandling.
Fluid bädd - cirkulerande	<ul style="list-style-type: none"> <li>• endast för finfördelat avfall. Begränsad användning av obehandlat hushållsavfall</li> <li>• ofta användbart för slam och RDF</li> </ul>	1 till 20 t/h oftast använd över 10 t/h	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bra omblandning</li> <li>• flyg askor med bra lakningskvalité</li> <li>• större bränsleflexibilitet än BFB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cyklone behövs för att behålla bäddmaterialet</li> <li>• stora mängder flygaska</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TOC &lt;3 %</li> </ul>	Relativt lägre än rostrar	Rökgasreningskostnaderna kan vara lägre. Kostnad för förbehandling.

### A.2 Rökgasreningstekniker

Tabell 5. Exempel på kriterier relevanta för IPPC som kan tas hänsyn till vid ett val mellan våt/halvtorr/torr rökgasreningssystem [10]

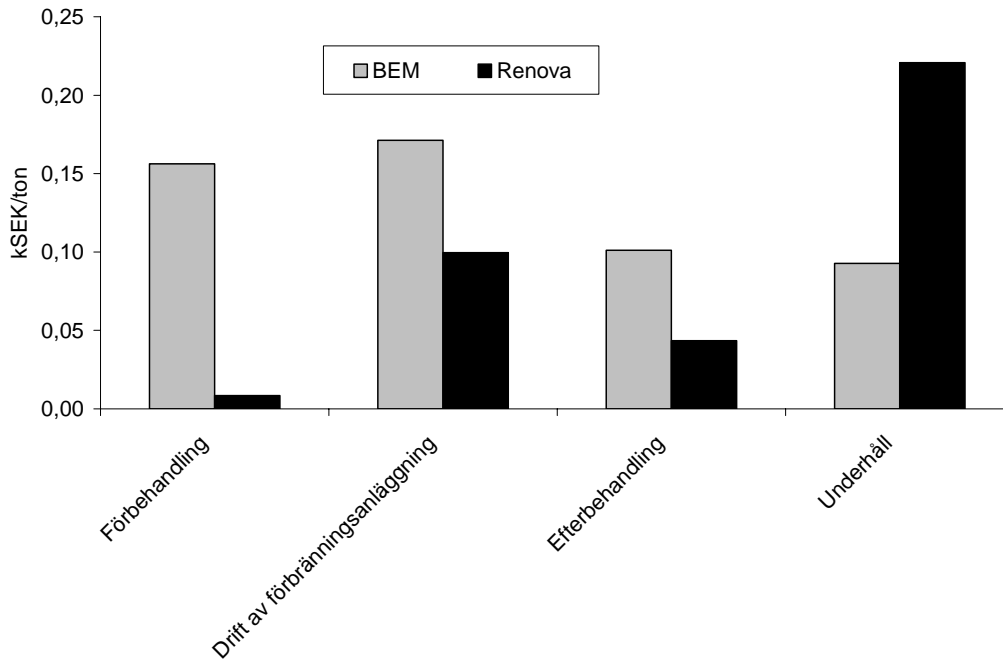
Table 5. Examples on relevant criterias when selecting flue-gas treatment system

Kriterier	Vått system	Halvtorr system	Torr med kalk	Torr med NAHCO <sub>3</sub>	Kommentarer
Prestanda vad avser utsläpp till luft	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Våta system ger generellt lägsta utsläpp av HCl, HF, NH<sub>3</sub> och SO<sub>2</sub></li> <li>Varje system kombineras vanligen med ytterligare stoftavskiljning och utrustning för infångning av PCDD/F</li> <li>Torra system med kalk kan nå ner till samma nivåer som våta eller halvtorra system men med en högre dosering och större produktion av rester</li> </ul>
Produktion av rester	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Torra system med kalk ger upphov till större mängder rester per ton avfall och våta system till rester med högsta halter av föroreningar</li> <li>Materialutvinning är möjlig från våta system efter behandling av spillvattnet från skrubbrar och från halvtorra system</li> </ul>
Vattenförbrukning	-	0	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vattenförbrukningen är generellt högre för våta system</li> <li>Torra system använder lite eller inget vatten</li> </ul>
Produktion av spillvatten	-	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spillvattnet som produceras i våta system (om de inte indunstas) kräver behandling och att spillas – där en lämplig recipient för det salta avloppet kan hittas (t ex havsmiljö) kan utsläppet i sig själv inte utgöra en betydande nackdel</li> <li>Avlägsnandet av ammoniak från avloppet kan vara komplex</li> </ul>
Energiförbrukning	-	0	0	0	Energiförbrukningen i våta system är högst beroende på pumpenergin – och ökas ytterligare där våta reningen kombineras som det är vanligt med t ex stoftavskiljning
Förbrukning av kemikalier	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generellt lägsta förbrukningen med våta system</li> <li>Generellt högsta förbrukningen med torra system med kalk – men kan minskas med återcirkulering</li> <li>Halvtorra och torra system kan dra fördel av en mätning av rågasens surhet</li> </ul>
Möjlighet att klara variationer av halter av föroreningar i flödena	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Våta system hanterar bäst halter av HCl, HF och SO<sub>2</sub> i inloppet som varierar mycket och snabbt</li> <li>Torra system med kalk ger mindre flexibilitet – men detta kan förbättras med en mätning av gasens surhet</li> </ul>
Plymens synlighet	-	0	+	+	Plymen syns mest för våta system (om inte särskilda åtgärder vidtas). Plymen från torra system syns minst
Processens komplexitet	- (högsta)	0 (medel)	0 (lägsta)	0 (lägsta)	Våta system är i sig ganska enkla men andra komponenter krävs i processen för att ge ett heltäckande system, inklusive en vattenbehandlingsanläggning etc
Kostnader – investering	Generellt högre	Medel	Generellt låga	Generellt lägre	De högre kostnaderna för ett vått system orsakas av de tillkommande kostnaderna för stoftavskiljning och biutrustning – mest för små anläggningar
Kostnader - drift	Medel	Generellt lägre	Medel	Generellt lägre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avloppsvattenbehandlingen medför högre driftskostnader för våta system – särskilt för små anläggningar</li> <li>Högre kostnader för omhändertagande av rester där större volymer produceras och mer kemikalier används. Våta system förbrukar i allmänhet de lägsta mängderna av kemikalier och kan därför ha de lägsta kostnaderna för omhändertagandet av rester</li> <li>I driftskostnaderna ingår förbrukningsvaror, avfall och underhåll. Driftskostnaderna beror i hög utsträckning på lokala priser för förbrukningsvaror och avfallshantering</li> </ul>

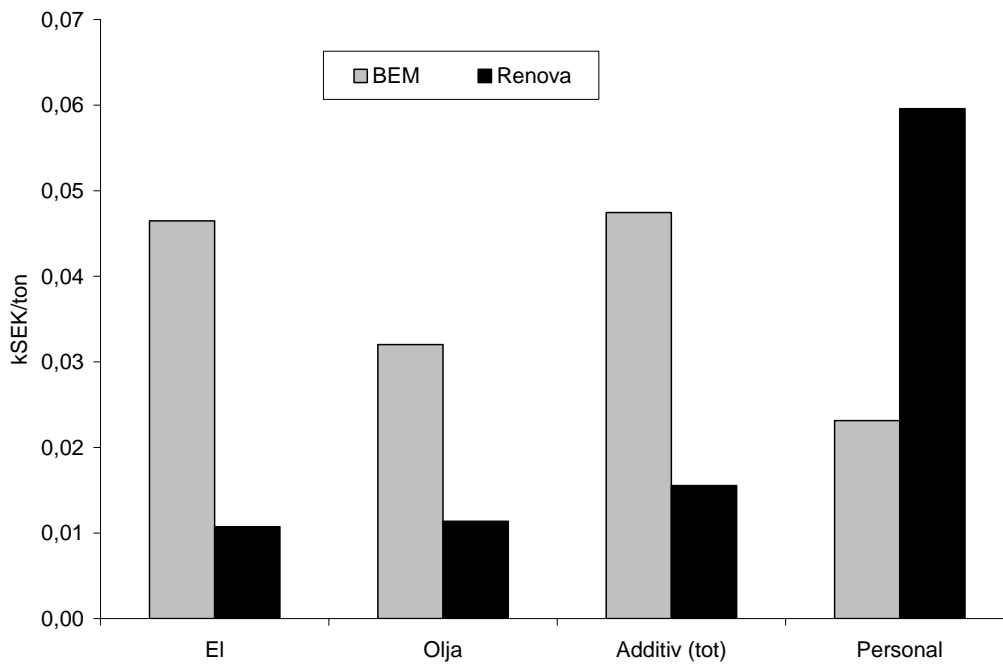
**Fotnot:**

- + betyder att denna teknik generellt erbjuder en fördel med avseende på denna utvärderingskriterie
- 0 betyder att tekniken erbjuder ingen betydelsefull fördel eller medför ingen betydelsefull nackdel med avseende på denna utvärderingskriterie
- betyder att denna teknik medför en nackdel med avseende på denna utvärderingskriterie

## B Drift- och underhållskostnader för Borås Energi och Miljö och Renova per ton förbränt avfall

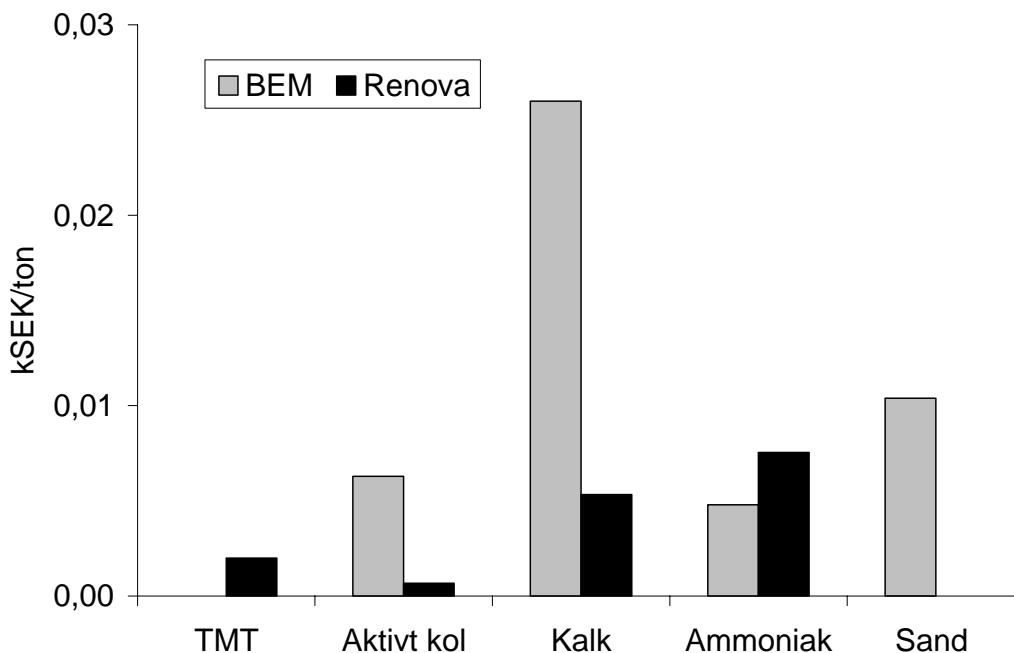


Figur 7. Huvudsaklig kostnadsfördelning i kSEK per ton förbränt avfall

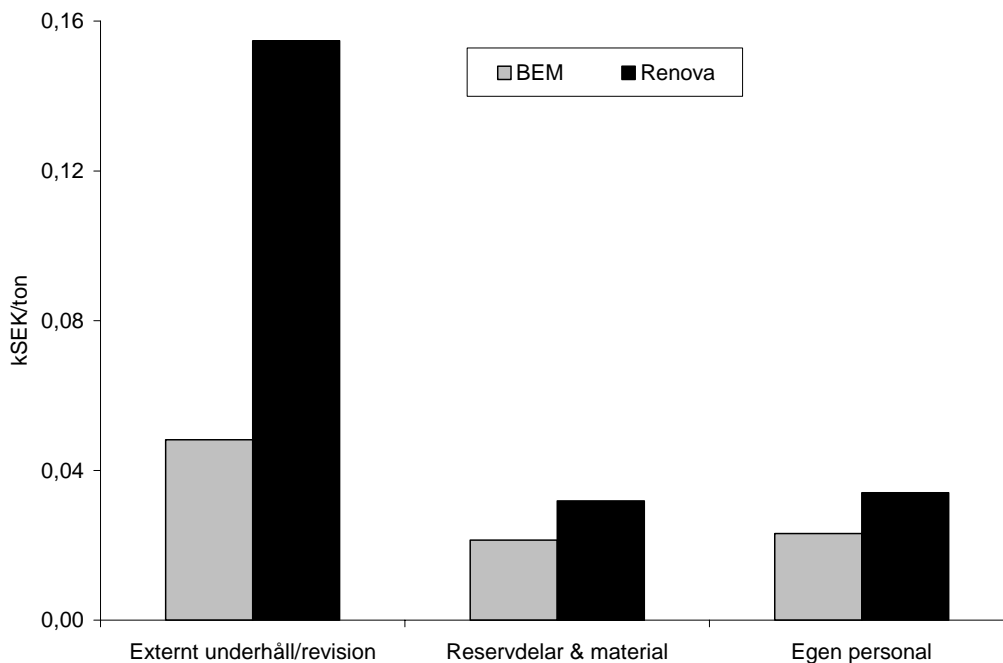


Figur 8. Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för drift av förbränningsanläggning i

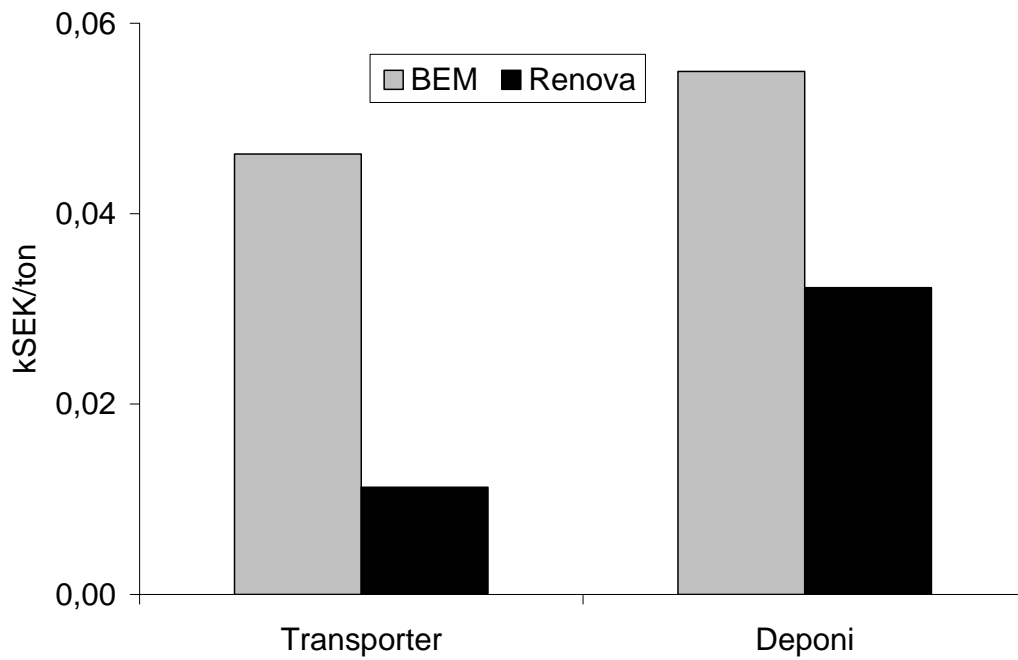
*kSEK per ton förbränt avfall i kSEK per ton förbränt avfall*



*Figur 9. Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för additiv*



*Figur 10. Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för underhåll i kSEK per ton förbränt avfall*



Figur 11. Fördelning av de huvudsakliga kostnaderna för efterbehandling i kSEK per ton förbränt avfall





**WASTE REFINERY**  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås  
wasterefinery@sp.se  
[www.wasterefinery.se](http://www.wasterefinery.se)