

Systemstudie Avfall - Sammanfattning -

Sammanfattning av huvudresultat
från projektet ”Termisk och biologisk
avfallsbehandling i ett systemperspektiv ”

Johan Sundberg
Mattias Bisaillon
Mårten Haraldsson
Ola Norrman Eriksson
Jenny Sahlin
Karolina Nilsson

Systemstudie Avfall - Sammanfattning -

Sammanfattning av huvudresultat
från projektet ”Termisk och biologisk
avfallsbehandling i ett systemperspektiv ”

Waste treatment
in a systems perspective
- Summary report -

Johan Sundberg
Mattias Bisailon
Mårten Haraldsson
Ola Norrman Eriksson
Jenny Sahlin
Karolina Nilsson

Projektnummer WR-21
År: 2010

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

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar huvudresultaten från forskningsprojektet ”Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv”. Inom projektet har verktyg och resultat tagits fram för att ur ett systemperspektiv utvärdera nya och förbättrade tekniker för behandling av avfall från hushåll och verksamheter. Fokus för analysen är det integrerade avfalls- och energisystemet på kommunal/regional nivå. Analysen omfattar även flera kringliggande system som till exempel jordbruket, produktion av fordonsbränsle och elproduktion.

Rapporten tar upp intressanta resultat som exemplifierar möjligheterna med systemmodellering för avfallsplanering. Den presenterar också en samlad men ändå övergripande beskrivning av de resultat som tagits fram inom projektet, samt hur dessa har spridits och används i andra projekt. En djupare beskrivning av modeller, metodik och resultat ges framförallt i de två delrapporter som tagits fram inom projektet. Delrapporterna presenterar två fallstudier för två olika kommunala/regionala avfallssystem ”Systemstudie Avfall – Göteborg” och ”Systemstudie Avfall – Borås”. De modeller och den metodik som utvecklats inom forskningsprojektet har används i flera ”spinoff-projekt”. Huvudresultaten från dessa studier presenteras kortfattat i denna rapport tillsammans med referenser till mer omfattande beskrivningar.

Man kan konstatera att under de tre år som projektet har drivits så har flera delar av resultaten använts för den praktiska planeringen inom Borås och Göteborg. Genom informationsspridning av resultaten från de två fallstudierna, men framförallt genom de ytterligare studier som genomförts där modellkonceptet har varit grunden för analysen, har projektet bidragit till ökad förståelse och kunskap om avfallssystemet nationellt. Resultaten har även spridits internationellt inom forskarvärlden och där bidragit med kunskap kring modellbeskrivningar men också med systemresultat om hur man med fjärrvärme och olika avfallsbehandlingstekniker kan effektivisera avfallsbehandlingen. Resultaten har även nått den politiska arenan inom EU då det gäller möjligheterna att reducera klimatpåverkan från avfallsbehandlingssystemet.

Nyckelord: Systemstudier, modellering, avfallsbehandling, fjärrvärme, kostnadseffektivitet, miljöanalys.

Summary

The report "Waste treatment in a systems perspective - Summary report" summarizes the main results from the studies made within the research project "Thermal and biological treatment in a systems perspective". The aim of the project is to develop tools and methodologies for systems analysis of waste management. The tools are used to evaluate waste treatment technologies for both household waste and commercial waste in a systems perspective. The focus is set to the municipal/regional waste and district heating system. However, to generate a full system analysis it is also important to consider effects that occur in the systems environment, such as the transport sector, the electricity production system, the agricultural sector etc.

The report describes the benefits of using systems models for waste management planning by illustrating interesting results from the case studies made within the framework of the project. The report also presents the outcome from the whole project on an aggregated level as well as how the results and models have been used in different spin off projects.

More thorough descriptions of models, methodologies and results are given in the reports for the two case studies, mainly. These reports presents two different case studies for municipal/regional waste management systems and are published by Waste Refinery, "A systems study of the waste management system in Gothenburg" and "A systems study of the waste management system in Borås".

The models and methodology developed in the research project has been used in several "spin-off projects". Some of the main results of these studies will be presented in this report, together with references to more extensive descriptions.

We can conclude, after these three years of research, that the results from the system studies have been used for the practical waste management planning in both Borås and Gothenburg. The models and the results from the two case studies have also been used by other waste management systems in Sweden as well as for national waste management studies. The project has been presented internationally for researchers and practitioners where it has contributed with modelling knowledge and results presenting the effectiveness of integrated waste management combined with district heating systems. The results concerning options for reducing greenhouse gases have also reached the political arena in the EU, e.g. through ISWA to the Copenhagen meeting (COP15).

Keywords: Systems analysis, modelling, waste management, planning, district heating, cost effective, environmental assessment, greenhouse gases.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	V
SUMMARY	VI
1 INLEDNING	1
1.1 LÄSANVISNING OCH RAPPORTUPPLÄGG	1
1.2 PROJEKTBEKRIVNING	1
1.3 MODELLER OCH AVGRÄNSNINGAR	2
2 SAMMANFATTNING AV FORSKNINGSPROJEKTETS RESULTAT	4
2.1 SYSTEMSTUDIE AVFALL – GÖTEBORG.	4
2.2 SYSTEMSTUDIE AVFALL – BORÅS	7
2.3 AVFALLSFÖRBRÄNNINGEN I ETT KLIMATPERSPEKTIV	9
2.4 KLIMATUTVÄRDERING AV GÖTEBORGS REGIONALA AVFALLSPÅN A2020.	14
2.5 AVFALLSMINSKNING I ETT SYSTEMPERSPEKTIV – FALLSTUDIE GÖTEBORG.	16
2.6 HUR KAN AVFALLSSYSTEMET BIDRA TILL ATT UPPFYLLA 2020-MÅLEN ATT MINSKA KLIMATPÅVERKAN OCH ÖKA ANVÄNDNINGEN AV FÖRNYELSEBARA BRÄNSLEN?	21
2.7 SAMARBETE MED ANDRA FORSKNINGSPROJEKT INOM WASTE REFINERY	23
3 SAMMANSTÄLLNING AV PUBLIKATIONER FRÅN PROJEKT BASERADE PÅ FORSKNINGSPROJEKTETS MODELLER OCH RESULTAT.	25

Bilagor

A	SAMMANFATTNINGEN FRÅN ”SYSTEMSTUDIE AVFALL – GÖTEBORG”
B	SAMMANFATTNINGEN FRÅN ”SYSTEMSTUDIE AVFALL – BORÅS”
C	UTVECKLING AV MODELLER OCH METODIK INOM WR21
D	TEKNIKUTVÄRDERING - SIKTNING AV AVFALL (WR06)
E	TEKNIKUTVÄRDERING - SVAVELRECIRKULATION (WR07)
F	TEKNIKUTVÄRDERING - FÖRBEHANDLINGSTEKNIKER (WR12)
G	TEKNIKUTVÄRDERING - FÖRÄDLING AV RÖTREST FRÅN STÖRRE BIOGAS ANLÄGGNINGAR (WR20)
H	TEKNIKUTVÄRDERING - ENERGIÅTERVINNING AV BILFLUFF- ETAPP 2 (WR23)

1 Inledning

1.1 Läsanvisning och rapportupplägg

Detta kapitel (kapitel 1) beskriver översiktligt syftet med projektet och hur analyserna i projektet har utförts. Tyngdpunkten i rapporten ligger sedan i kapitel 2 som tar upp och exemplifierar ett antal resultat från projektet. Kapitel 2.1-2.6 beskriver resultat från del- och kringprojekt medan kapitel 2.7 beskriver hur kunskaper i detta projekt nyttjats inom andra WR-projekt. I kapitel 3 återfinns en sammanställning över publikationer som tagits fram baserade på resultat framtagna i projektet.

I bilagorna till rapporten återfinns fördjupade sammanfattningar av de två fallstudier som genomförts i Göteborg och Borås. Därutöver återfinns även en mer utförlig beskrivning av den utveckling som skett av modeller och analyser samt beskrivningar av analyser som utförts för fem nya tekniker som tagits fram inom Waste Refinery.

Varje delkapitel för respektive projektpresentation (kapitel 2.1-2.7) har en egen källförteckning och egna figur- och tabellnummer. Detta gäller även för bilagorna.

1.2 Projektbeskrivning

Målsättningen med projektet ”Termisk och biologisk avfallsbehandling ur ett systemperspektiv” har varit att ur ett systemperspektiv utvärdera nya och förbättrade tekniker för behandling och energi- och materialåtervinning av organiskt avfall från hushåll och verksamheter. Med systemperspektiv menas att de olika delarna i ett avfallshanteringssystem och deras inbördes relationer ingår såväl som systemets relation till omgivningen som t.ex. energisystem och transportsystem. Med organiskt avfall avses både brännbart och biologiskt nedbrytbart avfall. Med organiskt avfall avses både brännbart som t.ex. trä, bomull, kartong, plast (även plast är ett organiskt mtrl) och biologiskt nedbrytbart t.ex. matavfall, papper. Projektet omfattar därmed tekniker inom Waste Refinerys verksamhetsområden Termisk behandling och Biologisk behandling.

Att studera en teknik eller behandlingsmetod utifrån ett övergripande systemperspektiv är relativt ovanligt men brukar som resultat ge flera och ofta väsentliga insikter om nyttan och utvecklingsmöjligheten för tekniken/metoden. För avfallsbolag, energibolag, tillståndsmyndigheter, anslagsgivare m.fl. ger resultaten en möjlighet att långsiktigt värdera nyttan med tekniken/metoden utifrån ett samhälls- och företagsperspektiv. Minst lika viktigt är att systemstudiernas scenarioanalyser även ger en övergripande riskanalys där både ekonomi och miljö beaktas. I ett forskarperspektiv är dessa systemresultat högtintressanta och efterfrågade i vetenskapliga publikationer.

Utvärderingen av modellangreppssättet har främst skett genom fallstudier i Borås och Göteborg. Dessa fallstudier har utförts i nära samverkan med berörda parter i respektive kommun. För Borås innebär detta att Borås Energi och Miljö tillsammans med Profu ingått i arbetsgruppen. I Göteborg har arbetsgruppen utgjorts av Profu, Kretsloppskontoret, Renova, Göteborg Energi samt Gryaab. Dessa fallstudier har löpt parallellt under 2,5 års tid och frågeställningarna har utformats för att anpassa de frågor som idag är aktuella för

intressenterna. Bägge dessa fallstudier finns redovisade i separata rapporter [1,2], för mer detaljer kring utformningen av fallstudierna hänvisas därför till dessa rapporter.

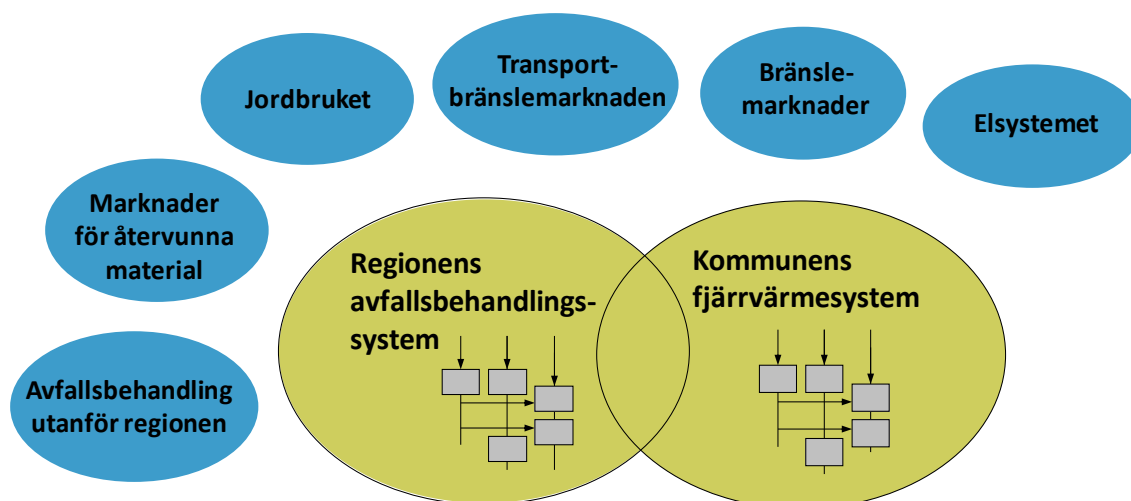
Dessutom har de modeller som tagits fram inom projektet nyttjats för att ur ett systemperspektiv utvärdera ett urval av tekniker som tagits fram i andra WR-projekt. Dessa finns beskrivna i bilagorna till denna rapport.

Projektet har även syftat till att bidra med förbättringar och insikter inom forskningsområdet systemanalys av avfallshantering. Områden som utvärderats rör metodik för att interaktivt utnyttja flera olika modeller, utvecklad scenariometodik för system med flera systemägare, vidareutveckling av datormodellering samt förbättrad beskrivningen av miljöpåverkan. Dessa finns beskrivna i Bilaga C.

1.3 Modeller och avgränsningar

Valen av systemgräns och beräkningsmetodik är svåra eftersom det finns flera olika möjliga avgränsningar och flera olika intressenter med olika typer av långsiktiga frågor som behöver belysas. De val som vi har gjort i detta projekt anser vi fångar upp huvuddelen av de långsiktiga frågor som behöver studeras för utvecklingen av avfallsbehandlingssystemet. Valen baseras på tidigare erfarenheter med liknande modeller från olika forsknings- och utvecklingsprojekt. De beräkningsmodeller som anpassats och utnyttjas för analysen hjälper oss att hitta systemövergripande resultat med avseende på både ekonomi och miljö.

Det system som är i fokus för analyserna i projektet har vi här benämnt avfallsbehandlings-systemet. Vi tar med alla befintliga tekniker för avfallsbehandling (förbränning, biologisk behandling, förädling mm) inklusive olika typer av förbehandling och efterbehandling, t.ex. sorteringsanläggningar för brännbart avfall eller slaggsortering. Vi tar även med möjliga framtida processer som är av intresse att studera för det framtida behandlingssystemet. Systemgränsen är i princip densamma som definierats för Waste Refinery, d.v.s. systemet för termisk och biologisk avfallsbehandling av olika typer av organiskt avfall inklusive kringprocesser till dessa behandlingsmetoder. I figur 1 nedan illustreras detta system med gulgrön färg och benämns ”Regionens avfallsbehandlingssystem”. Avgränsningen lämnar några delar av det övergripande avfallssystemet utanför systemet i fokus. Exempelvis finns inte avfallslämnarnas system med (hushållen, industrin mm), däremot ingår insamlingen från avfallslämnaren till respektive behandlingsanläggning. Ytterligare en del som utesluts är material som går till återvinning. Studien gör inte heller anspråk på att beskriva och modellera alla flöden inom ett geografiskt avgränsat område. Avfallsbehandling har blivit en marknadsbaserad tjänst som i allt större utsträckning avgörs av marknaden och inte det geografiska ursprunget. Vi utnyttjar dock uppskattningar på totala mängder som uppkommer inom ett område för att bedöma det framtida kapacitetsbehovet för olika behandlingsmetoder.



Figur 1. Avfallsbehandlingssystemet och omgivande interagerande system. De system som tillhör omgivningen är markerade med blå färg (samt gulgrön i fallet Kommunens fjärrvärmesystem). Fjärrvärmesystemet är så pass viktigt för analyserna att det studeras med en separat modell (Martesmodellen). Avfallsbehandlingssystemet studeras med modellen ORWARE.

Figure 1. The waste management system and interacting systems in the environment.

De system som tillhör omgivningen är markerade med blå färg (samt gulgrön i fallet Kommunens fjärrvärmesystem). Flera av dessa interagerar tydligt med avfallsbehandlingssystemet och är dessutom ibland avgörande för systemanalysens resultat. Exempelvis hittar man ofta den stora miljöfördelen eller nackdelen för en specifik miljöbetraktelse just i ett omgivande system. Ett av de viktigaste omvärldssystemen för våra studier är det kommunala fjärrvärmesystemet. Större delen av de tekniker och metoder som föreslås för energiåtervinning påverkar direkt eller indirekt det kommunala fjärrvärmesystemet. Inom begreppet fjärrvärmesystemet återfinns även kommunens elproduktion från kraftvärmeanläggningar kopplade till fjärrvärmesystemet. Fjärrvärmesystemet är så pass viktigt för analyserna att det även studeras med en separat modell (Martesmodellen). I praktiken innebär våra modellstudier en iteration mellan två modeller, ORWARE för avfallsbehandlingssystemet och Martes för fjärrvärmesystemet. Övriga modeller som nyttjas för att beskriva de omgivande systemen (exempelvis MARKAL) ingår ej i iterationen då resultaten från dessa inte påverkas av vad som sker i det regionala avfallssystemet.

[1] Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., "Systemstudie Avfall - Göteborg", Delprojekt i termisk och biologisk behandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås, 2010.

[2] Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., "Systemstudie Avfall - Borås", Delprojekt i termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås, 2010.

2 Sammanfattning av forskningsprojektets resultat

Efter de tre år som projektet ”Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv” har pågått så kan man konstatera att projektet har gett många resultat. Direkta resultat i de fallstudier som genomförts för Göteborg och Borås men i lika hög grad indirekta resultat genom de ”spinn off”-projekt som startats där modellkonceptet och/eller resultaten har varit grunden för analysen. Resultaten har sammantaget bidraget till ökad förståelse kring avfallssystemfrågor både regionalt, nationellt och internationellt.

Vi har i detta kapitel valt att presentera ett antal av dessa studier. Presentationerna ger en allmän och sammanfattande beskrivning tillsammans med några exempel på resultat. Syftet med sammanställningen är framförallt att illustrera möjligheterna med att utnyttja den typ av modellkoncept som utvecklats inom ramen för forskningsprojektet. Utöver det vill vi presentera, ur systemsynpunkt, intressanta kunskaper om avfallsbehandlingssystemet. För de som vill förkovra sig mer i respektive projekt ges i slutet av varje delkapitel referenser till mer omfattande beskrivningar.

2.1 Systemstudie Avfall – Göteborg.

Vid en framtida situation med ett behov av ny avfallsbehandling i Göteborg bedöms en rötningsanläggning vara konkurrenskraftig mot ny avfallsförbränning. Detta gäller med avseende på både ekonomi och klimatpåverkan. Vid en ytterligare analys framgår att direkt återföring av rötat avloppsslam till åkermark är att föredra framför pelletering eller förbränning av slammet.

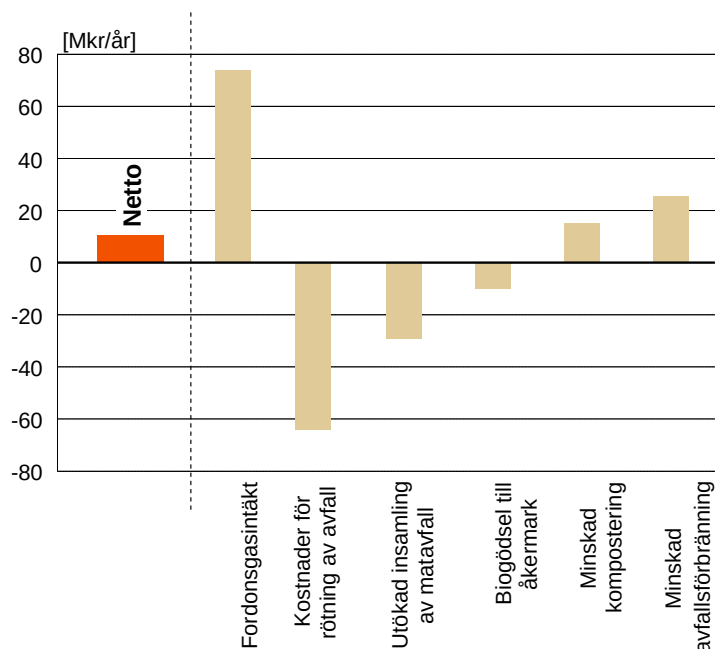
Syftet med projektet *Systemstudie Avfall - Göteborg* har varit att ur ett systemperspektiv utvärdera nya och förbättrade tekniker för behandling av avfall. Systemstudien fokuserar på utvecklingen av Göteborgs avfalls- och fjärrvärmesystem fram till år 2030. Här redovisas två exempel på resultat som tagits fram i projektet. I Bilaga A återfinns sammanfattningen av rapporteringen av projektet, där återfinns ytterligare ett antal resultat. Hela projektet redovisas i rapporten *Systemstudie avfall – Göteborg* [1].

Exempel 1: En jämförelse av termisk och biologisk avfallsbehandling

Ur ett ekonomiskt perspektiv har nya tekniker svårt att vara konkurrenskraftiga gentemot den typ av tekniker som idag byggts upp för avfallsbehandling i Göteborg. Detta gäller även när man jämför en nyinvestering i befintlig teknik mot en investering i ny teknik. Den nya teknik som ändå visar sig vara av störst ekonomiskt intresse är rötning av avfall (figur 1.)

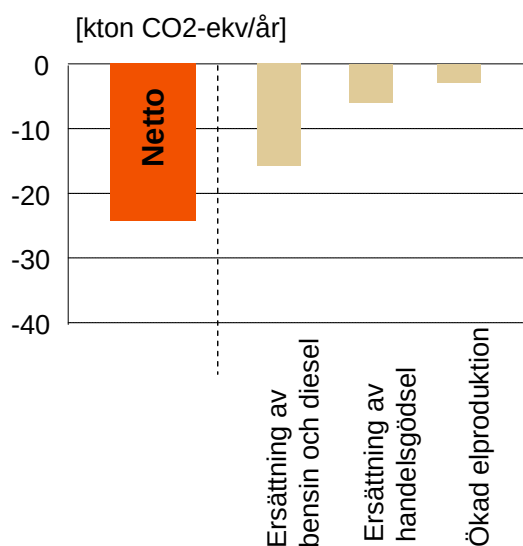
Av figur 1 framgår att resultatet förbättras ca 10 Mkr/år vid uppförande av en rötningsanläggning istället för en ny avfallsförbränningsanläggning (inklusive investeringskostnad för rötnings- respektive förbränningsanläggning). Detta uppnås främst genom att man erhåller en intäkt för försåld fordonsgas. Men också genom att man slipper kostnader för uppförandet av en avfallsförbränningsanläggning (”Minskad avfallsförbränning”) och kostnader för kompostering av matavfall (”Minskad kompostering”). En ny avfallsförbränningsanläggning skulle visserligen också generera värme och el. Kostnadsminskningen som erhålls genom den tillkommande värmeproduktionen är dock relativt liten. Orsaken är att alternativkostnaden för värmeproduktion i Göteborgs fjärrvärmesystem är låg. Värdet på fordonsgasen som genereras från avfallet är således klart högre än värdet på den el och värme som kan genereras från samma avfall.

Jämförelsen mellan uppförandet av en rötningsanläggning och uppförandet av ny avfallsförbränning visar också att utsläppen av växthusgaser minskar mer genom att nyttja rötning av avfall, se figur 2.



Figur 1. Intäkter och kostnader vid uppförande av en rötningsanläggning istället för en förbränningsanläggning. Utfallet för en förbränningsanläggning motsvarar 0 kr i figuren.

Figure 1. Costs and revenues for anaerobic treatment compared with incineration. In the presentation the figures for incineration are set to zero.

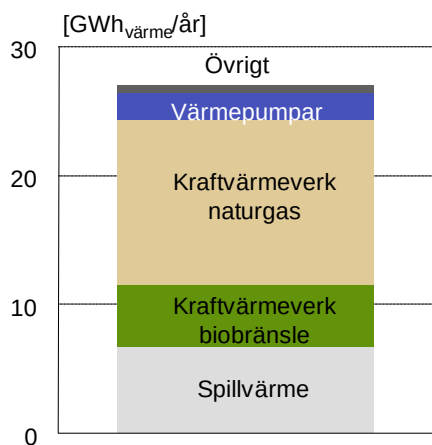


Figur 2: Utsläpp av växthusgaser vid uppförande av en rötningsanläggning jämfört med uppförandet av en avfallsförbränningsanläggning.

Figure 2. A comparison of emissions of greenhouse gases from waste incineration and anaerobic treatment.

Orsaken till de lägre utsläppen för en rötningsanläggning är främst att den genererade fordonsgasen ersätter fossila drivmedel inom transportsektorn. Dessutom kan restprodukten från rötningen av avfall nyttjas för att ersätta handelsgödsel i jordbruket. Detta leder till en minskad produktion av handelsgödsel och därigenom minskade utsläpp av växthusgaser. Paradoxalt nog leder också valet av rötning istället för förbränning till att

elproduktionen i Göteborg ökar. Detta alltså trots att elproduktionen från avfall blir lägre. Anledningen är att den alternativa värmeproduktionen till avfallsförbränning genererar betydligt mer el på samma värmeunderlag (figur 3 visar alternativ värmeproduktionen).

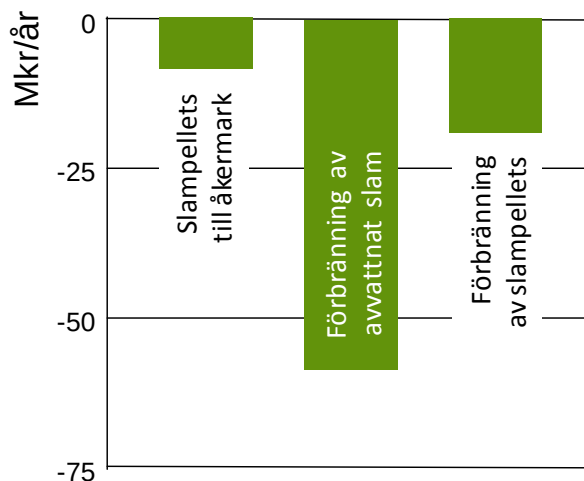


Figur 3. Värmeproduktion som kompensation för bortfall av värme från avfallsförbränning vid uppförande av rötningsanläggning istället för förbränningsanläggning i Göteborg.

Figure 3. Production of district heating that will be used when anaerobic treatment is used instead of incineration

Exempel 2: Utvärdering av alternativ hantering av avvattnat avloppsslam

I projektet har även ingått att studera alternativ för hantering av avvattnat rötat avloppsslam. Totalt har fyra alternativ studeras vilka utgörs av återföring av slam till åkermark i avvattnad eller i pelleterad form samt förbränning av avvattnat eller pelleterat slam. Differensen i resultat mellan de olika alternativen framgår av figur 4, där tre av alternativen ställs mot alternativet att i avvattnad form återföra slammet till åkermark. Resultatet kan grovt även översättas till hantering av avvattnad rötrest från rötat avfall. För detta material är främst återföring till åkermark ett aktuellt alternativ och det intressantaste resultatet blir då jämförelsen mellan att återföra slammet till jordbruksmark i avvattnad eller i pelleterad form.



Figur 4. Ekonomisk jämförelse av alternativ hantering av avvattnat rötat avloppsslam. De tre alternativen jämförs mot alternativet att återföra avvattnat slam till åkermark (motsvarande 0 Mkr/år i figuren).

Figure 4. A comparison of treatment options for sewage sludge. Distribution of sewage sludge to agriculture is set as reference.

Av figur 4 framgår att det ekonomiska utfallet blir sämre för alla tre alternativ jämfört med alternativet att återföra avvattnat rötat avloppsslam till åkermark. En viktig faktor är här avståndet från avloppsreningsverket till åkermarken (vilken i dessa analyser bedömts till 30 km). Ett längre avstånd ger direkt ett försämrat ekonomiskt resultat för detta alternativ. Själva huvudpoängen med att pelletera slammet innan det förs ut på åkermarken är just att

minska transportkostnaderna (utöver detta erhålls även förbättrade hanterings- och lagringsmöjligheter). Samtidigt leder det till merkostnader i form av kapital- och driftskostnader för en pelleteringsanläggning. Orsaken till att förbränning av avloppsslam faller sämre ut är främst att förbränningskapacitet måste byggas just för detta material. I en situation där det finns ledig förbränningskapacitet skulle det ekonomiska utfallet för dessa alternativ förbättras betydligt.

Även ur ett klimatperspektiv visar sig återföring av avvattnat rötat avloppsslam vara det bästa alternativet. På samma sätt som för den ekonomiska bedömningen spelar transportavståndet även här en viktig roll. Ett längre transportavstånd förstärker fördelarna med att först pelletera slammet. Å andra sidan försvinner en del av näringsämnena i slammet vid torkning, vilket minskar möjligheterna att ersätta handelsgödsel. En annan fördel med pelletering av slam är att detta kan öka fjärrvärmebehovet (givet att fjärrvärme nyttjas för att torka slammet). Med den höga andel kraftvärme som finns i Göteborgs fjärrvärmesystem ökar därmed möjligheterna att generera el. Denna fördel har dock inte varit tillräcklig för att resultatet skall väga över mot pelletering av slam. Att förbränning av slam och slampellet faller sämre ut än återföring av avvattnat rötat slam beror på att man inte utnyttjar möjligheten att ersätta handelsgödsel. Det beror också på det faktum som beskrivits i exempel 1, att mer avfallsförbränning leder till minskad elproduktion i Göteborg.

Referenser:

[1] Bisailon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O. 2010, "Systemstudie Avfall - Göteborg". Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås

2.2 Systemstudie Avfall – Borås

Borås Energi och Miljö har hand om en stor del av avfallsanteringen och fjärrvärmeproduktionen i Boråsregionen. Företaget har ett övergripande miljömål som genomsyrar hela verksamheten och som innebär att man arbetar för att Borås skall bli en fossilbränslefri stad. I Systemstudie Avfall – Borås har ett flertal strategier utvärderats som anknyter till detta miljömål. Strategierna inbegriper olika alternativ för kraftvärmeproduktion (inkluderande två alternativ för termisk behandling av avfall), utveckling av den biologiska behandlingen av avfall samt ökad materialåtervinning. Systemstudie Avfall visar att strategierna kan bidra till att uppnå miljömålet. Samtidigt visar studien att det är väsentligt att analysera strategiernas påverkan utanför Borås och att man måste göra en avvägning mellan strategiernas miljönytta och ekonomiska nytta.

Borås Energi och Miljö levererar fjärrvärme, fjärrkyla, biogas, samt energi- och avfallstjänster och arbetar kontinuerligt med att minska sin miljöpåverkan. Redan under 1990-talet etablerade man separat insamling av matavfall och rötning för produktion av fordonsgas. Genom att den brännbara resten gick till förbränning på annan ort (och sedan 2003 förbränns i en egen anläggning) uppfyllde man deponiförbudens krav långt innan de började gälla år 2002 respektive 2005. Fjärrvärmeproduktionen har kontinuerligt utvecklats och domineras idag helt av kraftvärmeproduktion baserat på biobränsle respektive avfall.

Borås Energi och Miljö har ett övergripande miljömål som genomsyrar hela verksamheten och som innebär att man arbetar för att Borås skall bli en fossilbränslefri stad. I System-

studie Avfall – Borås har ett flertal strategier utvärderats som anknyter till detta miljömål. Strategierna inbegriper olika alternativ för kraftvärmeproduktion (inkluderande två alternativ för termisk behandling av avfall – förbränning respektive förgasning av avfall), utveckling av den biologiska behandlingen av avfall (genom förändrad insamling, utökad förbehandling respektive förändrad hantering av biogödsel) samt ökad materialåtervinning genom övergång från dagens system med återvinningsstationer till fastighetsnära insamling.

I Systemstudie Avfall [1] har de olika strategierna utvärderats främst med avseende på klimatpåverkan och ekonomi. Rent kvantitativt visar sig valet av kraftvärmeproduktion ha störst betydelse, både vad avser klimatpåverkan och ekonomi. Orsaken är att detta vägval påverkar klart störst avfalls- och energimängder.

Centralt att analysera strategiernas påverkan utanför Borås

De olika strategierna för förändrad avfallshantering och fjärrvärmeproduktion i Borås påverkar tekniska system utanför Borås. Systemstudie Avfall visar att det är viktigt att i analysen ta hänsyn till hur dessa system påverkas, speciellt i analysen av klimatpåverkan. Detta gäller framförallt hur alternativ avfallsbehandling och alternativ elproduktion sker om de inte sker i Borås, vilka drivmedel som produceras och används om man inte producerar fordonsgas i Borås och vilken annan materialproduktion som kan undvikas genom ökad insamling av material för återvinning i Borås.

Analyserna visar också att en minskad fossilbränsleanvändning i Borås inte nödvändigtvis leder till minskad klimatpåverkan när man även tar med effekterna i andra tekniska system. Studien av förbehandling av organiskt avfall innan rötning visade att produktionen av förbehandlingskemikalier (som sker utanför Borås) potentiellt kan leda till större klimatpåverkande utsläpp än de minskningar man kan uppnå genom ökad produktion av fordonsgas. Studien av olika kraftvärmealternativ visade att naturgaskraftvärme i Borås kan vara ett alternativ för att totalt sett minska klimatpåverkande utsläpp. Alternativet skulle innebära en klart ökad användning av fossilt bränsle (naturgas) i Borås men skulle samtidigt, genom sin höga elproduktion, ge betydande utsläppsreduktioner i det nord-europeiska elproduktionssystemet.

Avvägning mellan strategiernas miljönytta och ekonomiska nytta

I skrivande stund (september 2010) har den svenska ekonomin börjat återhämta sig från den globala finanskrisen och den efterföljande lågkonjunkturen. Lågkonjunkturen har slagit hårt mot kommunernas ekonomier och läget är fortfarande ansträngt i många fall. Utvecklingen de sista två åren belyser tydligt att kommunerna måste prioritera för att få de ekonomiska resurserna att räcka till.

En viktig prioritering är hur mycket resurser som skall läggas på att förbättra miljön. Det finns många exempel på kommuner i landet som använder en högre avfallstaxa i syfte att kunna leverera en avfallshantering som innebär lägre miljöpåverkan. Exempel på detta innefattar bland annat en utbyggd källsortering av matavfall och fastighetsnära insamling av återvinningsmaterial.

Som ett av många underlag till resursprioriteringen har vi i Systemstudie Avfall ställt några av resultaten rörande klimatpåverkan i relation till deras ekonomiska påverkan. I studien av olika kraftvärmealternativ kunde vi konstatera att alternativet med avfallsbaserad kraftvärme gav bäst ekonomiskt utfall men samtidigt också att det gav de största klimat-

påverkande utsläppen¹. Om något av de andra alternativen skulle väljas kommer således kostnaden att öka, samtidigt som också utsläppen minskar.

I studien tog vi därför fram jämförelsetalet kostnad per ton CO₂-ekvivalenter som undviks genom att istället välja något av alternativen bibränsleeldad kraftvärme, naturgaseldad kraftvärme eller förgasning av avfall (med kraftvärmeproduktion) framför avfallsbaserad kraftvärme. Detta jämförelsetal kan sedan ställas i jämförelse mot priset på utsläppsrätter, d.v.s. marginalkostnaden för de åtgärder som genomförs inom ramen för handeln med utsläppsrätter för att uppnå de mål som satts upp av EU. Jämförelsen framgår av tabell 1 nedan. Den lägsta kostnaden per utsläppsreduktion fås för alternativet förgasning av avfall. Alla tre kraftvärmealternativ uppvisar dock klart högre kostnad per utsläppsreduktion jämfört med det pris på utsläppsrätter som antagits i studien för år 2015.

Tabell 1. Beräknad extra kostnad per minskad emission av CO₂-ekv genom att välja något annat kraftvärmealternativ än avfallsbaserad kraftvärme samt antaget pris på utsläppsrätter för koldioxid år 2015.

Table 1. Calculated extra costs for reducing CO₂-eq from selecting other fuels for CHP production. Based on assumptions of the price for CO₂ allowances 2015

Kraftvärmealternativ	Kostnad per utsläppsreduktion (kr/ton CO ₂ -ekv)
Biobränsleeldad kraftvärme	1100
Naturgaseldad kraftvärme	1270
Förgasning av avfall (med kraftvärme-produktion)	790
Antaget pris på utsläppsrätter för år 2015	300

Referenser:

[1] Bisailon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., "Systemstudie Avfall - Borås", Delprojekt i termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås, 2010.

2.3 Avfallsförbränningen i ett klimatperspektiv

I ett systemperspektiv är avfallsförbränningen en effektiv åtgärd för att minska klimatpåverkan. Det visar flera olika studier genomförda med de modeller som byggts upp inom ramen för detta Waste Refinery. Reduktionen av klimatpåverkande gaser är dessutom stor även om avfallet transporteras långa sträckor, men det förutsätter att förbränningen ersätter deponering.

¹ Konkurrenten var dock hård mot biobränsleeldad kraftvärme och resultaten beror starkt av elverkningsgraden för respektive teknik, marginalelproduktionens utsläpp, den fossila andelen i avfallet som förbränns och hur alternativ avfallsbehandling sker.

Den svenska fjärrvärmeproduktionen har i allt större omfattning blivit förnyelsebar och användningen av fossila bränslen för fjärrvärme är idag blygsam. Nationella styrmedel har här haft en avgörande effekt för denna utveckling. Inom en snar framtid kan avfallsförbränning vara den dominerande utsläppskällan av fossilt CO₂ i våra fjärrvärmesystem trots att större delen av avfallsbränslet är att betrakta som förnyelsebart. De brännbara fossila fraktionerna i avfallet, d.v.s. plaster, syntetiska textilier och gummi är relativt små och andelen förnyelsebart bränsle uppgår till runt 85 viktsprocent (60 energiprocent). Att reducera även den brännbara fossila andelen är önskvärd ur klimatsynpunkt vilket bland annat tydliggjordes i utredningen för skatt på avfallsförbränning (BRAS).

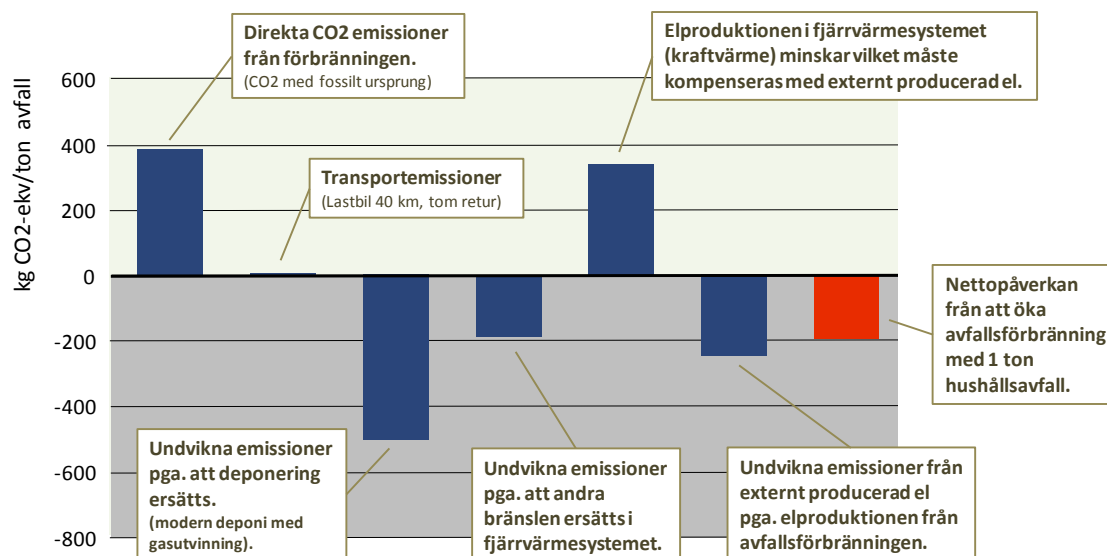
Något som inte fått samma uppmärksamhet är den positiva effekt avfallsförbränningen har i ett mer övergripande perspektiv. Om man lyfter sig från ”skorstensperspektivet” och tar hänsyn till alternativ avfallsbehandling för det avfall som förbränns och alternativ energiproduktion för den el och värme som produceras från avfallsförbränningen ser bilden annorlunda ut.

Detta har studerats i detta Waste Refinery projekt (WR21) samt i några spinnoff-projekt där dessa modeller har kunnat utnyttjas. Resultaten har fått stor internationell spridning genom forskarkonferenser och rapporter [1-8]. Resultaten har även varit ett av underlagen för ISWA:s ”White Paper” som presenterades för medlemsländerna under klimatomötet i Köpenhamn (COP15).

Resultaten är tydliga och visar att tack vare avfallsförbränningen minskar de totala utsläppen av klimatpåverkande gaser. Som ett exempel på resultat från dessa utredningar visas i figur 1 huvudresultat från beräkningarna för Sysavs avfallsförbränning i Malmö. Motsvarande beräkning för Renovas avfallsförbränning i Göteborg återfinns i ”Systemstudie Avfall – Göteborg” [9].

Man kan konstatera från resultaten att det finns flera faktorer som starkt påverkar utfallet. Den enskilt största är de vinster som görs när deponering undviks. Nästa lika betydelsefullt är de alternativa bränslen som ersätts och även de direkta utsläppen från förbränningen av fossila avfallsfraktioner. De bränslen som ersätts är en mix av olika bränslen, både fossila och förnyelsebara. Totalt ges en reduktion av nettoutsläppen av klimatpåverkande gaser och för Sysavs system minskade utsläppen med 200 kg CO₂-ekv för varje ytterligare ton avfall som förbrändes. Ur klimatsynpunkt är därmed avfall till och med ett bättre bränsle än biobränsle.

Ett problem som ofta lyfts fram är de långa avfallstransporter som kan bli aktuella med tillhörande transportemissioner. Om vi ökar avfallsförbränning i Sverige idag måste avfallsbränslet importeras från andra länder vilket då kan resultera i långa transportavstånd. Beräkningarna visar dock att även om vi hypotetiskt (och med hög kostnad) skulle transportera avfallet med lastbil från länder långt bortom Europa skulle vi ändå få en klimatvinst.



Figur 1. Förändring i klimatpåverkan om avfallsförbränning i Malmö (Sysav) ökar förbränningen med 1 ton hushållsavfall.

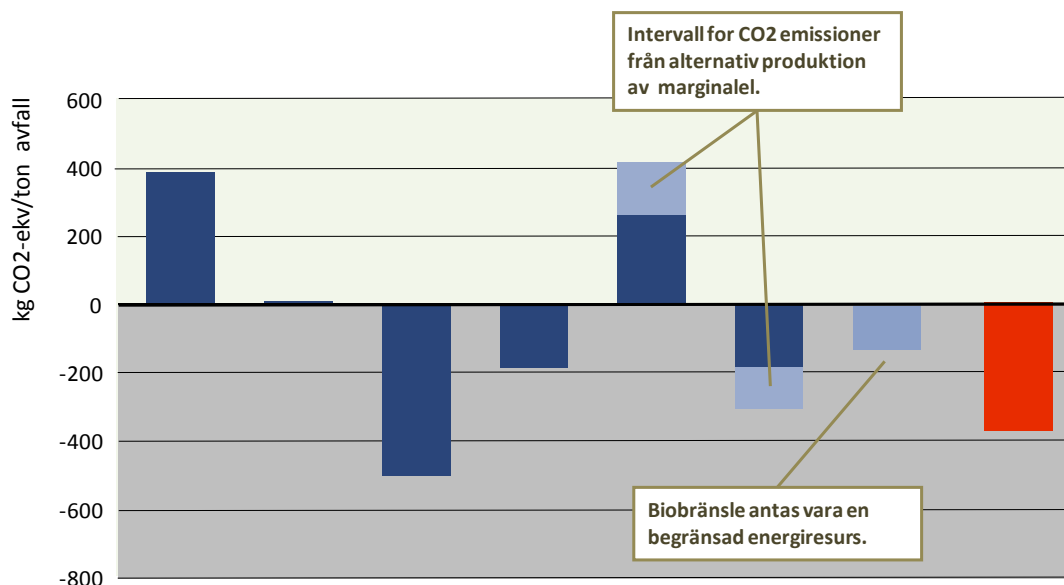
Figure 1. Resulting changes in GHG-emissions from increasing incineration with one tonne MSW – Case study Sysav (Malmö).

Det finns ett antal osäkerheter i både antaganden och indata. De flesta osäkerheterna har liten påverkan på resultatet men det finns två antaganden som tydligt påverkar utfallet. Den första är den kompenserande elproduktionen; det vill säga vilken elproduktion som ökar eller minskar utanför det studerade systemet om fjärrvärmesystemet ökar eller minskar sin totala elproduktion.

I figur 2 illustreras konsekvenserna av att anta två olika utfall på kompenserande marginal-elproduktion; ett med antagande om användandet av en hög andel fossila bränslen i marginalelproduktionen och en med låg andel. Bägge nivåerna speglar ett medelvärde för den framtida bränsleanvändning och är beräknade med energisystemmodellen Markal [10].

Den andra osäkerheten berör ett antagande om biobränslemarknaden. Flera forskare anser idag att den tillgängliga mängden biobränsle framöver bör ses som en begränsad resurs, speciellt om klimatstyrningen ökar användningen av biobränsle. För beräkningarna innebär detta att en del biobränsle frigörs när avfallsförbränningen ökar och detta biobränsle kan användas i andra system och där ersätta fossila bränslen. Figur 2 visar att om vi tar hänsyn till bägge dessa två osäkerheter, så ökar klimatnyttan ytterligare av att öka avfallsförbränning.

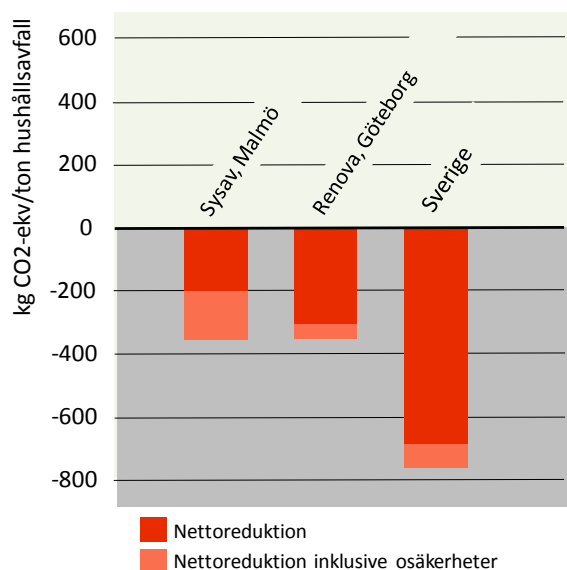
Man bör även tillägga att det just nu pågår en forskardiskussion om de direkta utsläppen av fossilt CO₂ från avfallsförbränning. Ett handfull kol-14 mätningar (Sverige, Danmark och USA) indikerar att de direkta utsläppen kan vara lägre än tidigare uppskattningar som är baserade på studier om avfallets sammansättning. Nya studier kring detta pågår vilket kan leda till att avfallsförbränningens potential till att reducera klimatpåverkan stärks ytterligare.



Figur 2. Förändring i klimatpåverkan om avfallsförbränning i Malmö (Sysav) ökar förbränningen med 1 ton hushållsavfall – Påverkan från val av marginalet och antagandet om att biobränsle är en begränsad resurs.

Figure 2. Resulting changes in GHG-emissions from increasing incineration with one tonne MSW – Case study Sysav (Malmö) – Consequences from the choice of marginal electricity and from the assumption that biomass is a limited resource.

Fjärrvärmesystemen i Malmö och Göteborg är välutvecklade med en hög andel kraftvärme-produktion. Detta innebär att energinyttan med att tillföra mer avfallsförbränning är relativt låg jämfört med övriga fjärrvärmesystem i Sverige. Att producera el med hjälp av kraftvärme med högt elutbyte är en effektiv åtgärd för att sänka utsläppen av fossilt CO₂ och tillför man avfallskraftvärme i system med stor andel hetvattenproduktion blir klimatnyttan större. Skillnaden är markant vilket illustreras i figur 3. Uppskalningen av resultaten på nationell nivå bygger på en uppsättning antaganden om alternativ bränsletillförsel i de svenska fjärrvärmesystemen.



Figur 3. Klimatpåverkan då avfallsförbränningen ökar med 1 ton hushållsavfall i Malmö, Göteborg och för ett genomsnittligt svenskt fjärrvärmesystem.

Figure 3. Resulting changes in GHG-emissions from increasing incineration with one tonne MSW in the district heating system of Malmö, Göteborg and for an average Swedish system.

De underliggande beräkningarna för de värden som presenteras i detta kapitel är relativt komplexa då de är flera följeffekter som behöver fångas i analysen både i avfallssystemet och i fjärrvärmesystemet. Exempelvis så beräknas den alternativa värmeproduktionen genom att analysera en värmeproduktion för varje dygn under ett år, för en årsmedellastkurva. Man har för dessa beräkningar stor nytta av det modellkoncept, fjärrvärmemodellen och avfallsmodellen, som tagits fram inom ramen detta Waste Refinery projekt.

Referenser:

- [1] ISWA (2009), Workshop - Waste Management & Climate Change: Securing the Benefits, Preparing of White Paper for COP15 - ISWA Task Force on Greenhouse Gases and Solid Waste Management, 17-19 May 2009, Paris, Frankrike
- [2] ISWA (2009), Integrated waste management in a climate change perspective" ISWA Dakofa conference (COP15), 3-4 December 2009 Köpenhamn, Danmark.
- [3] ISWA (2009), What contribution can waste to energy make to the new EU targets for 2020?" Waste-to-energy, 6th Beacon conference, 24-25 November 2009, Malmö, Sverige.
- [4] Avfall Sverige (2009), Waste to Energy - A Smart Way to Reduce Climate Gases and to Increase Renewable Energy" slutredovisning i samband med EU:s ministermöte 24 juli 2009, Åre, Sverige.
- [5] Avfall Sverige (2009), "Energy from waste- An international perspective" Rapport U2009:05.
- [6] Avfall Sverige (2009), Klimatpåverkan från import av brännbart avfall, rapport U 2009:06.
- [7] Avfall Sverige (2009), Energy from waste - Potential contribution to EU renewable energy and CO₂ reduction targets, Report U 2009:18

[8] Avfall Sverige (2010), Import of combustible waste and its impact on emissions of climate gases Report U 2010:01.

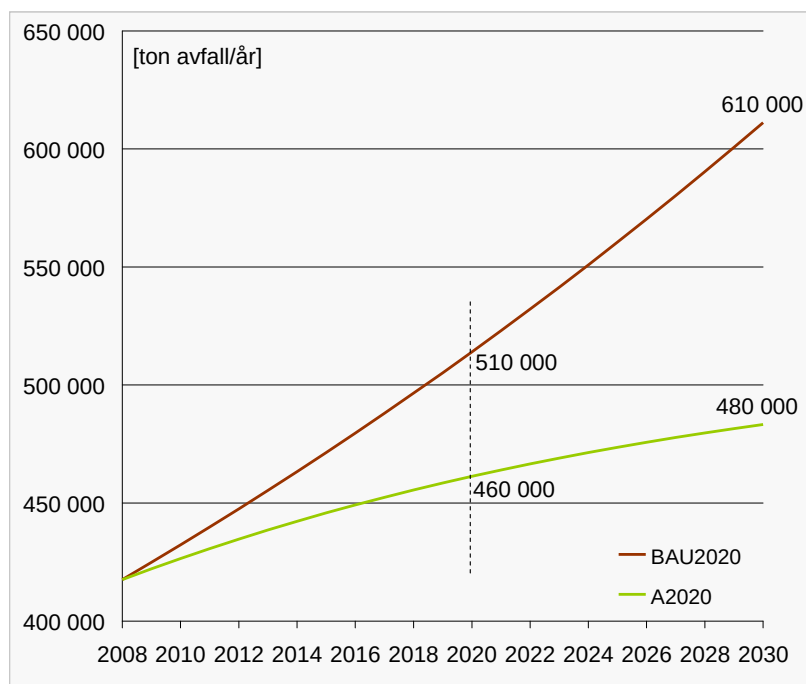
[9] Bisailon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., "Systemstudie Avfall - Göteborg". Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås, 2010.

[10] Elforsk (2008), Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion – Modellberäkningar, Elforsk Rapport 08:30.

2.4 Klimatutvärdering av Göteborgs regionala avfallsplan A2020.

Att begränsa avfallsmängderna är den enskilt viktigaste åtgärden för att minska utsläppen av växthusgaser från dagens avfallsbehandling. Ökad materialåtervinning från dagens restavfall ger också tydliga positiva miljöeffekter. Effektivare transporter av avfallet ger, i sammanhanget, endast marginellt positiva effekter.

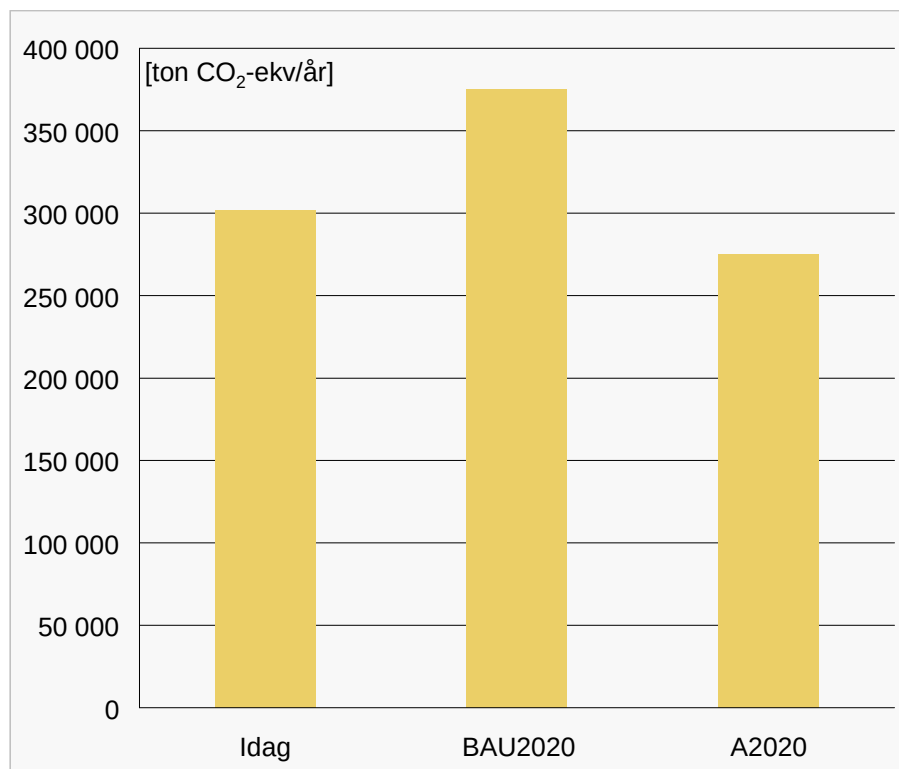
I samarbete med Kretsloppskontoret har Profu genomfört en klimatbedömning av målen i Göteborgsregionens avfallsplan (A2020). Projektet har genomförts med framtagna modeller i detta WR-projekt. Analysen innehåller dels ett nuläge (år 2008) och dels två alternativa situationer för år 2020. Det första av dessa alternativ speglar en situation där inget av de mål som satts upp i avfallsplanen genomförs (benämnt BAU2020). Det andra alternativet speglar en situation där de mål som bedöms påverka utsläppet av växthusgaser har uppnåtts (benämnt A2020). I figur 1 presenteras utvecklingen för mängden hushållsavfall i regionen givet BAU2020 och A2020. Om inga verksamma åtgärder sätts in för att bromsa denna utveckling beräknas avfallsmängderna i regionen öka med 23 % fram till år 2020 (enligt BAU2020).



Figur 1. Prognos för hushållsavfallsmängderna s utveckling för alternativen "måluppfyllelse" (A2020) och ingen måluppfyllelse (BAU2020)

Figure 1. Prognosis for the municipal solid waste quantities for the alternatives "reaching targets" (A2020) and "not reaching targets" (BAU2020).

I figur 2 redovisas det totala utsläppet av växthusgaser (CO₂-ekv) 2008 samt de två alternativa utvecklingarna till år 2020. Avfallssystemet i Göteborgsregionen ger idag upphov till totalt 300 000 ton CO₂-ekv/år. Omräknat kan sägas att varje invånare i regionen årligen genererar 460 kg hushållsavfall vilket resulterar i ett utsläpp på 330 kg CO₂-ekv/år.

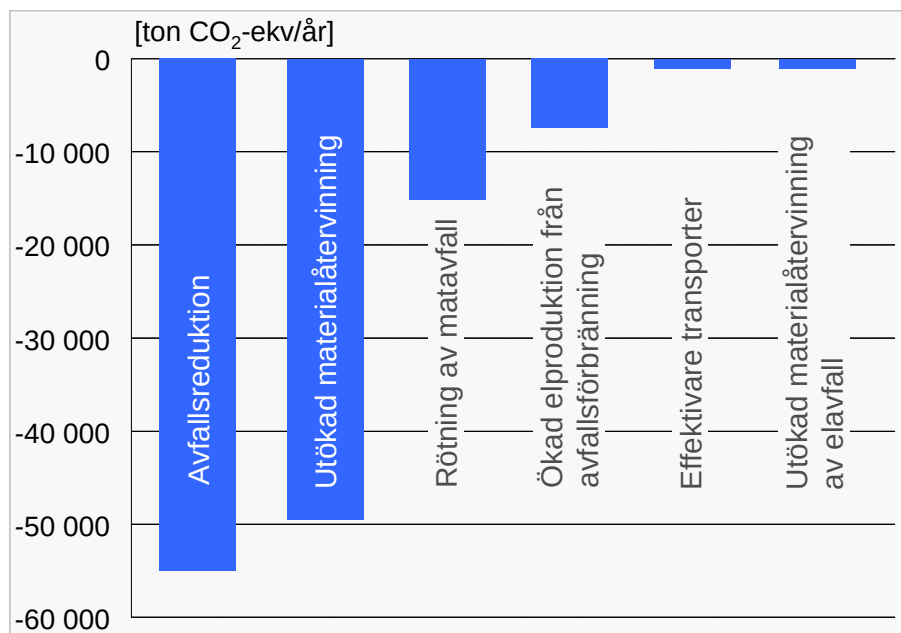


Figur 2 Totalt utsläpp av växthusgaser från avfallssystemet idag, samt alternativen ingen måluppfyllelse (BAU2020) och måluppfyllelse (A2020).

Figure 2. Emissions of climate gases from the waste management system today, and in the alternatives "reaching targets" (A2020) and "not reaching targets" (BAU2020).

I summeringen för figur 2 ingår utsläpp från tillverkning av de produkter vi konsumerar som blir till avfall, samt konsekvenserna av den avfallshantering som sker i regionen. Den material- och energiåtervinning som sker ger totalt sett minskade utsläpp av växthusgaser. Anledningen är att dessa behandlingsmetoder ersätter annan material- och energi-produktion som genererar växthusgaser. Dessutom ingår i analysen att den befintliga avfallsbehandlingen i Göteborgsregionen leder till att avfall inte behöver deponeras, vilket hade genererat stora mängder växthusgaser i form av metangas. Av figuren framgår vidare att den totala klimatpåverkan från avfallssystemet i regionen kommer att öka om inga åtgärder vidtas (se fallet BAU2020). Omvänt gäller att om målen i A2020 uppnås så kan den totala klimatpåverkan minska till 275 000 ton CO₂-ekv/år, eller 275 kg CO₂-ekv/invånare och år. (De absoluta talen skall användas med försiktighet, det är skillnaden mellan scenarierna som är relevant).

I figur 3 redovisas minskningen av växthusgaser som kan uppnås genom de uppsatta målen i A2020. Tydligast utsläppsminskning uppnås genom avfallsreduktion och utökad materialåtervinning av bl. a. producentansvarsmaterial. Även rötning av regionens matavfall samt ökad elproduktion från avfallsförbränningen ger tydliga utsläppsminskningar. Effektivare transporter och ökad materialåtervinning av elavfall ger också minskade utsläpp, om än i mindre omfattning jämfört med de övriga mål som analyserats.



Figur 3. Minskningen av växthusgaser inom olika delar av avfallshanteringen vid måloppfyllelse

Figure 3 Reduction of climate gases from parts of the waste management system when reaching the targets.

2.5 Avfallsminskning i ett systemperspektiv – Fallstudie Göteborg.

Avfallsminimering är prioriterat inom EU:s ramdirektiv för avfall. Projektet visar att den stora klimatvinsten främst ligger i att minska produktionen, snarare än att undvika avfallshanteringen av de produkter som blivit avfall. En analys på systemnivå är därför viktigt för att undvika suboptimering, visar detta projekt på uppdrag av Naturvårdsverket och Kretsloppskontoret, Göteborg.

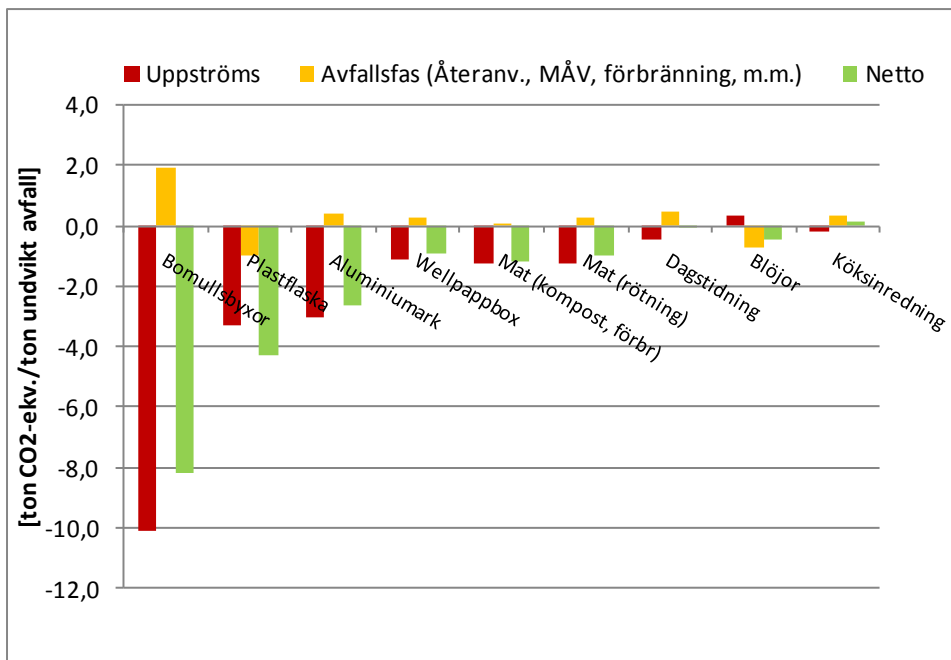
Resultatet från studien visar att de undvikta emissionerna vid produktion ger störst miljövinster vid minskade mängder. Detta gäller för samtliga undersökta avfallsfraktioner. Allra störst är reduktionen av växthusgaser när man förebygger produktion och avfall av bomullsbyxor, plastflaskor samt aluminiumark, visar detta projekt på uppdrag av Naturvårdsverket och Kretsloppskontoret, Göteborg [1].

Projektet beräknar utsläpp av växthusgaser under produkternas hela livscykel: råvaruutvinning, produktion, distribution, användning och avfallshantering. Följande avfallsfraktioner studeras: matavfall, plastflaska, dagstidning, wellpapplåda, aluminiummark, köksinredning (skåp, lådor, stommar, m.m.), blöjor samt bomullsbyxor. Syftet med projektet är att undersöka effekten på utsläpp av växthusgaser av att minska utvalda avfallsfraktioner. Effekterna belyses ur ett systemperspektiv, genom en fallstudie för Göteborgs avfallssystem, och det bygger på metodik, modeller och validerat dataunderlag från Systemstudie Avfall, utfört in om Waste Refinery.

Efter uppströmsfasen går produkterna till avfallshantering. Beräkningarna för avfallsbehandlingen varierar med respektive avfallsslag, baserat på hur behandlingen sker idag i Göteborg. De typer av avfallsbehandling som studeras är: återanvändning, materialåtervinning, förbränning, rötning och kompostering. För matavfall studeras även ett eventuellt, framtida scenario med 100% rötning. Modelleringen av avfallssystemet har skett i datormodellen ORWARE, medan Martes har använts för modelleringen av effekterna inom fjärrvärmesystemet.

Studien inkluderar systemeffekter av avfallsminskning. Det betyder till exempel att om avfallsmängderna som skulle ha gått till förbränning minskar, måste man kompensera för bortfallet av fjärrvärmeproduktion. Eventuellt tillkommande utsläpp från de alternativa bränslen som ökar för att kompensera för detta bortfall, måste då inkluderas i en systemstudie. På samma sätt måste man kompensera för bortfall av mängder till materialåtervinning.

Huvudresultaten från projektet illustreras i figur 1. Figuren visar systemeffekterna i form av utsläpp av växthusgaser vid minskning av respektive avfallsfraktion. Resultatet redovisas som utsläpp av koldioxidekvivalenter (i ton) per ton avfall, och fördelas på de två faserna i livscykeln: Uppströms (röda staplar) och Avfallsfas (gula), samt summan av dem: Netto (gröna). I figuren betyder negativa staplar en minskning av utsläpp vid minskade avfallsmängder. En avfallsminskning ger i avfallsfasen påverkan på utsläpp från bland annat insamling och behandling av avfallet, liksom produktion av fjärrvärme, el, drivmedel och konstgödsel.



Figur 1. Utsläpp av ton CO₂-ekvivalenter/ton undvikt avfallsfraktion i uppströms- och avfallsfasen samt netto. Negativa staplar innebär en minskning av utsläppen. MÅV= materialåtervinning

Figure 1. Emissions of tonnes CO₂-equivalents/tonne avoided waste fraction in the upstream and downstream (waste) phases and net emissions

Studien visar att nettoresultatet för till exempel plastflaskor är en minskning av drygt 4 ton CO₂-ekv. per ton förebyggt avfall. I uppströmsfasen och avfallsfasen minskar utsläppen med drygt 3 ton respektive 1 ton per ton förebyggt avfall. Bidraget är alltså större av att minska produktionen av plastflaskor än undvikta utsläpp vid avfallsbehandlingen.

Den undvikta avfallsbehandlingen för plastflaskor antas till 70% vara förbränning och 30% materialåtervinning. När förbränning av plastavfall reduceras, minskar utsläppen av koldioxid, och den fjärrvärmeproduktion som träder in som följd av minskad avfallsförbränning ger lägre utsläpp av dessa emissioner.

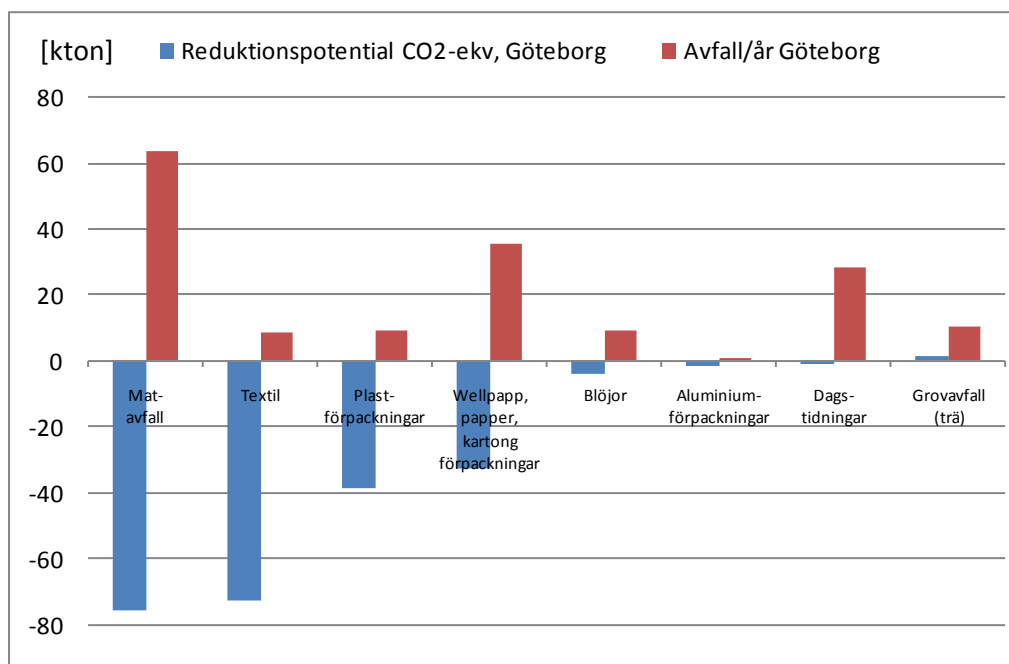
För matavfall (i figuren endast benämnt som mat) visas resultatet av de båda undersökta behandlingsalternativen: dels nuläget med en kombination av kompostering och förbränning, dels ett alternativ med enbart rötning. Resultatet av studien visar att miljövinsten av att minska matavfall är större i nulägesalternativet (en kombination av kompostering och förbränning) jämfört med om avfall undviks i ett fall med enbart rötning. Skillnaderna mellan alternativen är dock små.

Resultatet för Göteborg har räknats upp till nationell nivå och utifrån detta kan vi konstatera att skillnaderna mellan ett lokalt och ett nationellt perspektiv är små och att effekterna från avfallsförebyggande åtgärder bedöms vara generella för hela Sverige.

För de studerade avfallsfraktionerna har vi beräknat den totala reduktionspotentialen för utsläpp av växthusgaser, om avfallet skulle förebyggas till 100% i Göteborg. Potentialen visas i figur 2 (blå staplar). Potentialen beräknas som nettoutsläppen per ton för respektive avfallsfraktion, (figur 1, gröna staplar) multiplicerat med den totala mängden avfall för

respektive fraktion (figur 2, röda staplar). Metoden för att beräkna mängden varierar beroende på avfallsslag. För fraktionerna dagstidning, wellpappbox, plastflaska och aluminiummark utgår vi från mängden satt på marknaden i Göteborg, för matavfall, blöjor och köksinredning utgår vi från uppkomna mängder i hushållen i Göteborg, och för bomullsbyxorna baserar vi underlaget på mängden lämnad till återanvändning Göteborg.

Man ser i figur 2 att den största potentialen finns i att minska utsläppen kopplade till matavfall, eftersom matavfall är den av de studerade fraktionerna som uppkommer i störst mängd i Göteborg. Potentialen för textil är nästan lika stor som matavfallets, därefter kommer potentialen för avfall från förpackningar av plast. I beräkningen har vi antagit att våra resultat för bomullsbyxor gäller för all textil, samt att plastflaskan (HDPE) representerar alla plastförpackningar.



Figur 2 Reduktionspotential för utsläpp samt mängd avfall i Göteborg.

Figure 2 Potential for reduction of emissions and waste quantities in Göteborg.

Från studien framgår det också att det för de flesta avfallsfraktioner finns en potential för kostnadsbesparingar genom avfallsförebyggande. Emellertid är det en stor utmaning att översätta hur förändringen av kostnaden påverkar de olika aktörerna inom avfalls- och fjärrvärmesystemet, samt utifrån detta hitta vägar att hantera om och hur kostnadsbesparingar kan komma alla aktörer till godo.

Lokalt i Göteborg pågår det arbete med åtgärder för att minska avfallsmängderna. Det finns även förslag till nya åtgärder som kan komma att införas. De flesta åtgärderna syftar till att öka medvetenheten om betydelsen av att minska avfallsmängderna, för att därigenom ge förutsättningar för förändringar på lång sikt. Några är mer konkreta satsningar på åtgärder som införts eller kommer att införas i avfallssystemet. Nedan ges exempel på aktuella åtgärder:

- Uppförandet av en Kretsloppspark för att främja återanvändning och förädling av avfall

- Viktsbaserad avfallstaxa
- Informationssatsningar
- Utbildning och studiebesök, samt
- Personlig coachning för avfallsminskning

Sammanfattningsvis kan vi dra följande slutsatser från projektet:

- Lokalt finns en ambition och ett påbörjat arbete med införandet av åtgärder för att nå avfallsminskning. Inga konkreta effekter har dock ännu kunnat kvantifieras i Göteborg.
- Arbetet vid Kretsloppsparken och försäljningen vid second handbutikerna, som är kopplade dit, är ett tydligt tecken på att det finns ett stort intresse och potential för att lämna, sälja, köpa och återanvända second handprodukter och -material.
- Störst reduktion av utsläpp av växthusgaser nås genom minskning i produktionsprocesser som ligger ”uppströms” avfallshanteringen.
- De största utsläppsreduktionerna per viktsenhet fås vid minskning av avfall bestående av bomull, plast och aluminium, av de avfallsslag som ingår i studien.
- Störst potential för utsläppsreduktion totalt fås vid minskning av matavfall, av de avfallsslag som ingår i studien. Matavfall är den största enskilda avfallsfraktionen i Göteborg.
- Hushållens grovavfall av trä, här i form av målad köksinredning (skåp, lådor, stommar, m.m.), har däremot en liten potential för utsläppsreduktion. Detta beror på att fraktionen har små utsläpp uppströms och vid avfallshantering (inklusive fjärrvärmeproduktion). Dessutom är det små mängder insamlat grovavfall.
- För flera avfallsslag innebär avfallsminskning en kostnadsbesparing för aktörer när kostnader för bland annat insamling och slagghantering minskar.
- Skillnader mellan resultaten för Göteborg och nationellt är små.
- En minskning av mängden avfall som går till förbränning skulle kunna möjliggöra för ökad förbränning av importerat avfall vilket skulle innebära att deponering av avfallet utomlands kan undvikas. Om de undvikta utsläppen av koldioxid-ekvivalenter från deponering tillgodoräknas resultatet här, stärks resultatet ytterligare.

Referenser:

[1] Sahlin, J., Bisailon, M., och Nilsson, K., Avfallsminskning i ett systemperspektiv – Fallstudie Göteborg. Naturvårdsverket 2010-03-11.

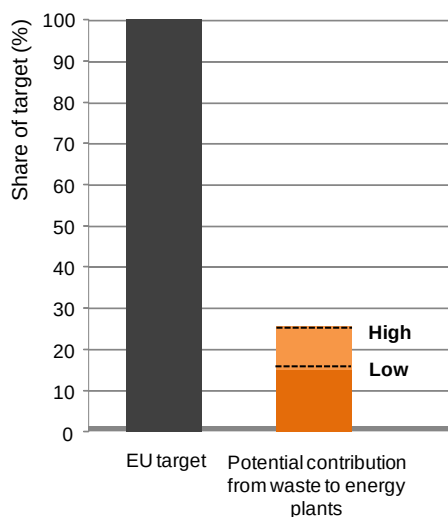
2.6 Hur kan avfallssystemet bidra till att uppfylla 2020-målen att minska klimatpåverkan och öka användningen av förnyelsebara bränslen?

En studie gjord för Avfall Sverige visar att energi från förnyelsebara avfallsfraktioner avsevärt kan bidra till att målen för ökad användning av förnyelsebar energi samt minskade utsläpp av växthusgaser uppnås. Avfall kan därigenom bli en viktig energikälla i Europa.

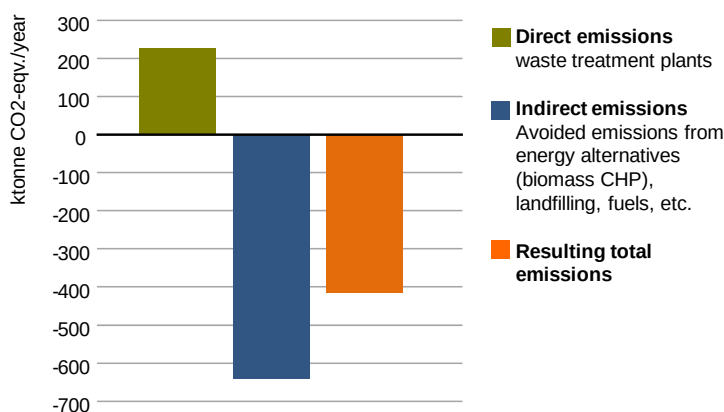
Undersökningen visar att de förnyelsebara delarna av avfallsflödet kan bidra med så mycket som 25 % av det totala målet för att minska CO₂-utsläppen till 2020 (figur 1). Motsvarande bidrag till målet att öka användningen av förnyelsebar energi är 20 %.

Studien, som är gjord för Avfall Sverige [1], visar att den stora minskningen av utsläpp av växthusgaser vid ökad energiutvinning ur avfall har två orsaker: 1) man undviker deponering av avfall och därmed metanutsläpp från deponier, och 2) man ersätter alternativa, fossila bränslen för värme- och elproduktion. Båda orsakerna bidrar med ca 50 % vardera och minskningarna uppkommer p.g.a. att utsläppen från andra källor minskar när energi från avfall ökar (figur 2).

För att dessa mycket stora bidrag till målen för ökad användning av förnyelsebar energi och minskade utsläpp av växthusgaser ska uppnås krävs en medveten fokusering och satsning. Förändringarna kräver stora investeringar i både förbränningsanläggningar och fjärrvärmesystem som är svåra att realisera, särskilt på så kort tid som fram till 2020. Det är mer realistiskt att anta att avfallsförbränning kan fortsätta att expandera i samma hastighet som har skett under de senaste 10 till 15 åren. Om så är fallet kommer avfallsförbränning att bidra med 4 % av målet att öka användningen av förnyelsebar energi till 2020 och 14 % av den totala minskningen av CO₂-utsläppen till 2020. Även med denna, mer konservativa, expansionstakt kan avfall till energi vara ett viktigt alternativ för att nå målen.



Figur 1 Potentiellt bidrag till målet om minskade CO₂-utsläpp till år 2020.
Figure 1 Potential contribution the CO₂ reduction target in year 2020

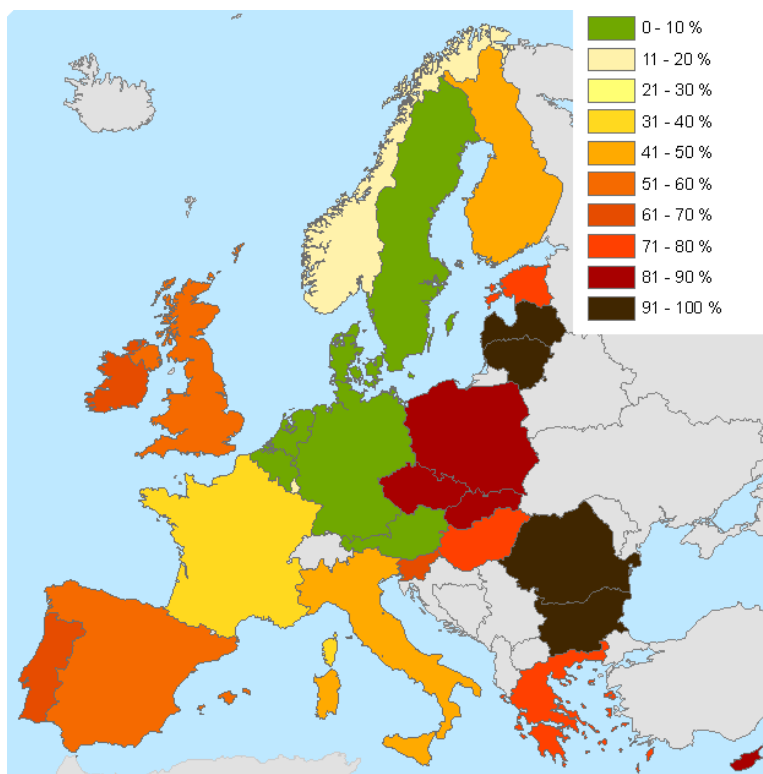


Figur 2 Direkta och indirekta utsläpp från avfallshantering
Figure 2 Direct and indirect emissions from the waste handling

Det nuvarande europeiska systemet för avfallshantering är i många europeiska länder baserat på deponering (figur 3), vilket ofta är det miljömässigt sämsta avfallshanterings-

alternativet. Miljöpåverkan vid deponering är stor, eftersom man inte utnyttjar resurserna i avfallet i form av material och energi samt att deponier orsakar utsläpp till luft och vatten. Å andra sidan är deponering det avfallshanteringsalternativ som har lägst kostnader. Enligt gällande EU-direktiv skall europeisk avfallshantering genomgå omfattande förändringar för att minska miljöpåverkan. Minskningen skall ske genom reducerade mängder avfall till deponering och istället ökad återanvändning, materialåtervinning och energiåtervinning. Syftet med denna studie är att undersöka och kvantifiera möjligheterna för energiutvinning från förnyelsebara avfallsfraktioner. Förnyelsebar energi från avfall kan bidra till att uppnå Europeiska miljömål år 2020. Ett sekundärt mål är att öka kunskapen om energiutvinning ur avfall och öka medvetenheten om dess potential som energikälla.

Undersökningen omfattar majoriteten av de förnyelsebara avfallsfraktionerna (biologiskt nedbrytbara) som genereras inom EU-27 från både hushåll och industri. Det skall betonas att studien undersöker möjlig energiutvinning ur de avfallsmängder som återstår efter materialåtervinning och biologisk behandling. Därmed undergräver man inte möjligheterna att nå EU:s mål om materialåtervinning, eftersom vi endast inkluderar restfraktioner som annars skulle ha deponerats. Dessutom förutsätter undersökningen att det kommer att införas ett mål om biologisk avfallsbehandling (kompostering och rötning), baserad på en befintlig grönbok i ämnet. Jordbruksavfall och slam ingår inte heller i studien. Uppgifterna om utgångsvärden för avfallsmängder år 2006 kommer från Eurostats databas. Flera scenarier för avfallstillväxt fram till 2020 utvärderas. Huvudscenariot bygger på en ökning av avfallsmängder med ekonomisk tillväxt.



Figur 3 Andel av hushållsavfall som deponerades i Europa under år 2008.

Figure 3 Share of municipal solid waste to landfill 2008.

Referenser:

[1] Avfall Sverige 2009c, Energy from waste - Potential contribution to EU renewable energy and CO₂ reduction targets, Report U 2009:18, Malmö, Sweden, 2009.

2.7 Samarbete med andra forskningsprojekt inom Waste Refinery

WR21-projektet har samarbetat med en rad andra WR-projekt för att bidra med kunskap ur ett systemperspektiv. En central slutsats från flera genomförda teknikutvärderingar är att en stor del av resultaten, speciellt med avseende på miljöpåverkan, beror på konsekvenser och effekter i system som ligger utanför det system där tekniken utnyttjas. Inkluderandet av dessa konsekvenser och effekter i analysen kan helt förändra rangordningen mellan olika alternativ i teknikutvärderingen.

WR21-projektet har samarbetat med en rad andra WR-projekt för att bidra med kunskap ur systemperspektiv. Samarbetet har huvudsakligen genomförts på två sätt:

1. Genom att data inhämtats från andra WR-projekt och att dessa data sedan har utvärderats *kvantitativt* ur systemperspektiv inom ramen för WR21. Hit hör samarbeten som genomförts tillsammans med följande WR-projekt: WR07 (Svavel-recirkulation), WR12 (Förbehandlingstekniker), WR20 (Förädling av rötrest från större biogasanläggningar) samt WR23 (Energiåtervinning av bilfluff - etapp 2).
2. Genom att WR21 bidragit med *främst kvalitativa* observationer om parametrar som har betydelse ur systemperspektiv för olika projekt. Hit hör samarbeten som genomförts tillsammans med följande WR-projekt: WR06 (Siktning av avfall) och WR15 (Bedömning av två tekniker för torkning av lätt nedbrytbart organiskt avfall).

Valet av systemgräns centralt

En central slutsats från teknikutvärderingarna är att en stor del av resultaten, speciellt med avseende på miljöpåverkan, beror på konsekvenser och effekter i system som ligger utanför det system där tekniken utnyttjas. Hur man drar systemgränsen och vad man väljer att inkludera i analysen har alltså stor betydelse för resultatet. Här gäller det att, så långt det är möjligt, identifiera hur tekniken genom sin resursförbrukning (t ex kemikalieförbrukning, elförbrukning) och genom sina nyttiga produkter (t ex utvunnen ammoniak från rötningsens kvävehaltiga rejektivatten) påverkar andra omkringliggande system. I det följande illustreras detta genom resultat från teknikutvärderingen inom ramen för samarbetet med WR20.

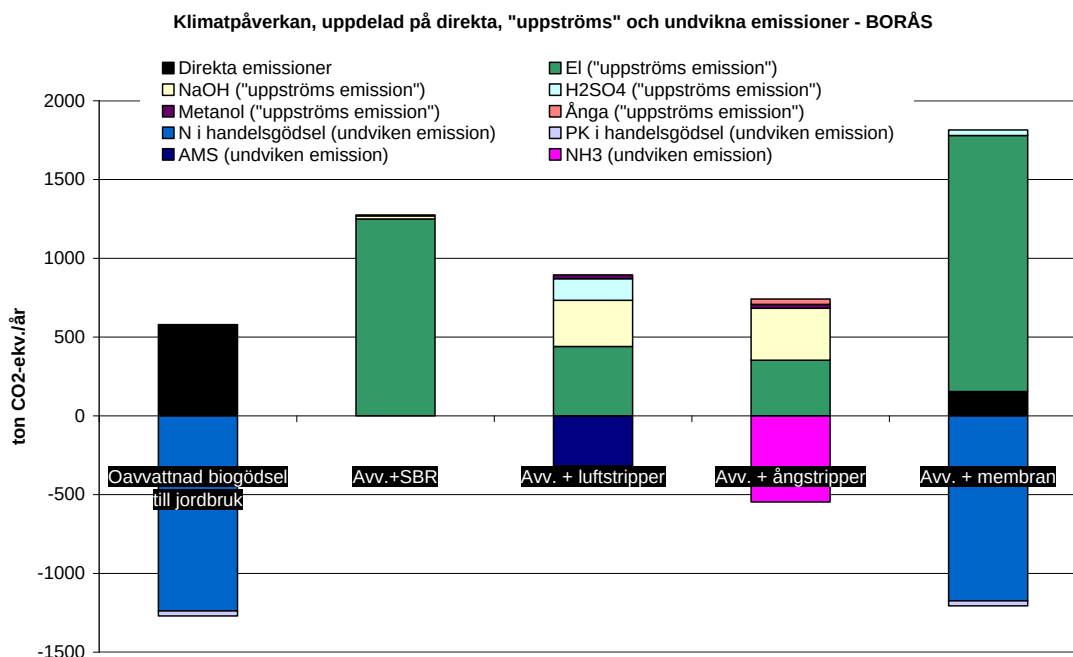
Fokus i WR20 var att studera tre alternativa tekniker för att ta hand om rejektivattnet från avvattningen av biogödsel (luftstripper, ångstripper och membranläggning). Projektet utfördes som fallstudier i Borås och Göteborg. För att göra studien inom WR20 skulle det räcka med att fokusera analysen på rejektivattnet eftersom den avvattnade biogödseln behandlas på samma sätt. Emellertid uttryckte Borås Energi och Miljö, Renova och Göteborg Energi ett klart intresse (både inom WR20 och WR21) att få med en analys av att helt undvika avvattning och istället transportera ut och sprida den oavvattnade biogödseln på åkermark. Man ville dessutom studera två alternativ där rejektivattnet behandlades biologiskt (SBR i Borås respektive DeAmmon i Göteborg). Med hjälp av de resurser som fanns inom WR21 utvidgades därför analysen inom WR20 till att även omfatta dessa alternativ. Utvidgningen innebar också att det blev centralt för analysen i WR20 att inkludera både avvattning och hantering av den avvattnade biogödseln eftersom dessa steg helt undviks när man sprider oavvattnad biogödsel på åkermark.

I figuren nedan illustreras resultaten rörande klimatpåverkan för fallstudien i Borås (resultaten beskrivs i detalj i slutrapporten för WR 20). Figuren innefattar både direkta och indirekta emissioner. Direkta emissioner uppkommer vid hantering, lagring och behandling av oavvattnad biogödsel respektive avvattnad biogödsel och rejektivatten i Borås.

Indirekta emissioner utgörs av två olika typer:

1. "Uppströms" emissioner som sker vid tillverkning av kemikalier (NaOH, H₂SO₄ och metanol), ånga och el som behövs i olika omfattning för de olika alternativen.
2. Emissioner som undviks genom utebliven konventionell produktion av de nyttigheter som respektive alternativ ger upphov till. Som exempel innebär alternativet med ångstripper att NH₃ (ammoniak) produceras. Från alternativet med ångstripper avräknas då emissionerna för att motsvarande mängd NH₃ ska produceras på konventionellt sätt.

Om man i teknikutvärderingen skulle välja att enbart titta på de direkta emissionerna skulle alternativet med spridning av oavvattnad biogödsel ge klart sämst resultat. Men när man även inkluderar de indirekta emissionerna som sker i omkringliggande tekniska system så blir resultatet tvärtom att spridning av oavvattnad biogödsel ger lägst klimatpåverkan. Detta understryker vikten av att inkludera konsekvenser och effekter i system som ligger utanför det system där tekniken utnyttjas.



Figur 1. Klimatpåverkan för de studerade alternativen i Borås, uppdelad på direkta, "uppströms" och undvikna emissioner.

Figure 1 Climate effect for the studied alternatives in Borås; direct, upstream, and avoided emissions.

3 Sammanställning av publikationer från projekt baserade på forskningsprojektets modeller och resultat.

I följande lista ges referenser till olika officiella publikationer från forskningsprojektet "Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv – WR21". I listan återfinns både Waste Refinerys egna rapporter och rapporter från spinn off-projekt som har en stor och tydlig koppling till de modeller och resultat som tagits fram inom WR21-projektet. I listan återfinns även tidskriftsartiklar och presentationer från forskarkonferenser. Förutom dessa publikationer har projektet även spridits via radio, dagstidningar och flera konferenser/seminarier arrangerade helt eller delvis av Waste Refinery, dessa redovisas inte här.

Aarsrud, P., Bisaillon, M., Hellström, H., Henriksson, G., Jakobsson, E., Jarlsvik, T., Martinsson, U., Jensen, C., Johansson, L-G., Kanerot, M. och Ling, D. 2010, "Förädling av rötrest från storskaliga biogasanläggningar". WR-20, Waste Refinery, Borås

Avfall Sverige 2009a, "Energy from waste - An international perspective". Report U2009:05, Malmö, Sweden

Avfall Sverige 2009b, Klimatpåverkan från import av brännbart avfall, rapport U 2009:06, Malmö, Sverige

Avfall Sverige 2009c, Energy from waste - Potential contribution to EU renewable energy and CO₂ reduction targets, Report U 2009:18, Malmö, Sweden

Avfall Sverige 2010, Import of combustible waste and its impact on emissions of climate gases Report U 2010:01, Malmö, Sweden

Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O. 2010, "Systemstudie Avfall - Göteborg", Delprojekt i termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås

Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O. 2010, "Systemstudie Avfall - Borås", Delprojekt i termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås

Eriksson, O. and Bisaillon, M. 2010, "Multiple System Modeling of Waste Management", manuscript

Eriksson, O., Bisaillon, M., Haraldsson, M., Sundberg, J. 2010, "Improvements in environmental performance of biogas production from municipal solid waste and sewage sludge", Abstract submitted to World Renewable Energy Congress 2011, May 8-13, Linköping, Sweden

Eriksson, O., Bisaillon, M., Haraldsson, M., Sundberg, J. 2010, "Integrated waste management as a mean to promote renewable energy", Abstract submitted to World Renewable Energy Congress 2011, May 8-13, Linköping, Sweden

Sahlin, J., Bisaillon, M., och Nilsson, K., 2010, "Avfallsminskning i ett systemperspektiv – Fallstudie Göteborg", Naturvårdsverket

Sundberg J., Bisaillon M., Haraldsson M., 2009, "ISWA Workshop - Waste Management & Climate Change: Securing the Benefits, Preparing of White Paper for COP15 - ISWA Task Force on Greenhouse Gases and Solid Waste Management", 17-19 May 2009, Paris, France

Sundberg, J., Bisaillon, M., Haraldsson, M., Eriksson, O., Sahlin J. 2009, "Integrated waste management in a climate change perspective – Summary of results from case studies in Sweden", abstract submitted to Waste and Climate Conference, ISWA & DAKOFA conference (COP15), 3-4 December 2009, Copenhagen, Denmark

Sundberg J., Sahlin J. 2009, "What contribution can waste to energy make to the new EU targets for 2020?" ISWA-Waste-to-energy, 6th Beacon conference, 24-25 November 2009, Malmö, Sweden

Sundberg J., Sahlin J. 2009, "Waste to Energy - A Smart Way to Reduce Climate Gases and to Increase Renewable Energy" Slutredovisning i samband med EU:s ministermöte 24 juli 2009 Avfall Sverige, Åre, Sverige.

A Sammanfattningen från ”Systemstudie avfall – Göteborg”

I denna bilaga återfinns sammanfattningen från rapporten ”Systemstudie Avfall – Göteborg” [1]. Hela rapporten kan hämtas från www.wasterefinery.se.

Sammanfattning

Syftet med projektet *Systemstudie Avfall i Göteborg* har varit att ur ett systemperspektiv utvärdera nya och förbättrade tekniker för behandling av avfall i Göteborgs. Systemstudien fokuserar på utvecklingen av Göteborgs avfalls- och fjärrvärmesystem fram till år 2030. Arbetet har pågått i 2,5 år med en arbetsgrupp bestående av representanter från Renova, Kretsloppskontoret, Göteborg Energi, Gryaab samt Profu. Arbetsgruppen har arbetat iterativt med att vidareutveckla modeller och planeringsmetodik, samla information och indata för analyserna samt diskutera de resultat som successivt tagits fram. I denna rapport presenteras huvudresultaten från projektet d.v.s. de slutgiltiga utvärderingar som genomförts för den framtida utvecklingen av avfallsbehandlingssystemet samt de metoder/modeller som tagits fram för denna utvärdering. I utvärderingarna ingår flera olika termiska behandlingsmetoder för el- och/eller värmeproduktion från olika avfallsströmmar samt tekniker för biologisk behandling som rötning och kompostering med efterföljande hantering restprodukter. Systemstudie Avfall i Göteborg ingår som en del i forskningsprojektet ”Termisk och biologisk behandling i ett systemperspektiv – WR21”

I denna sammanfattning av rapporten har vi valt att presentera resultaten från Systemstudie Avfall i tre steg. Först ges 10 generella sammanfattande slutsatser. I steg 2 rangordnas de olika utvecklingsvägar som har studerats med guld silver och bronsmedaljer. Rangordningen görs utifrån fyra olika parametrar i fyra separata tabeller, en för ekonomi, en för klimatpåverkan, en för försurning och en för övergödning. Sist i sammanfattningen ges en mer utförlig presentation av huvudresultaten från scenarioanalysen där de relativa skillnaderna mellan de studerade utvecklingsvägarna presenteras med hjälp av stapeldiagram. Avslutningsvis återfinns en diskussion kring de resultat som tagits fram.

Tio slutsatser från analyserna:

1. Ur ekonomiskt perspektiv har nya tekniker svårt att vara konkurrenskraftiga gentemot den typ av tekniker som idag byggs upp för avfallsbehandling i Göteborg. Detta gäller även när man jämför en nyinvestering i befintlig teknik mot en investering i ny teknik
2. Den nya teknik som ändå visar sig vara av störst ekonomiskt intresse är rötning av avfall. Detta gäller under förutsättning att det uppstår ett behov av att utöka kapaciteten för avfallsbehandling i regionen. Så är inte fallet idag, men med de bedömningar som gjorts i projektet är det troligt att ett sådant läge kommer att uppstå, antingen genom att avfallsmängderna ökar eller genom att befintlig kapacitet behöver bytas ut

3. För att uppnå en reduktion av klimatgaser från avfallsbehandlingssystemet i Göteborg är det en tydlig fördel att förbränningen av avfall genererar så mycket el som möjligt. Med detta uppnås två effekter; dels tränger den genererade elen från avfallsförbränning undan annan elproduktion i det nordiska elsystemet vilken släpper ut en större mängd växthusgaser, dels ökar produktionen av el i annan kraftvärme i fjärrvärmesystemet (genom att värmeleveranserna från avfallsförbränningen minskar) vilken på samma sätt tränger undan annan elproduktion i elsystemet
4. Även produktion av fordonsgas genom rötning av avfall ger en minskning av utsläppet av växthusgaser. Orsaken är dels att den genererade fordonsgasen ersätter fossila drivmedel inom transportsektorn och dels att utbyggnaden av avfallsförbränning begränsas, vilket på samma sätt som ovan leder till ökad produktion av el i annan kraftvärme i fjärrvärmesystemet
5. Resultatet för utsläpp av försurande ämnen från systemet visar på att man uppnår en tydlig utsläppsreduktion genom att upphöra med kompostering av matavfall och rötat avloppsslam. En lämpligare behandlingsform för matavfall är rötning med återföring av rötresten till jordbruket. För avloppsslam är lämpligare alternativ återföring till jordbruk alternativt förbränning med energiutvinning
6. Vid en jämförelse mellan källsortering och central sortering av matavfall framkom att en central sortering kan vara ekonomiskt intressant. Huvudorsaken är att investeringskostnaden i central sortering är lägre jämfört med densamma för källsortering. Miljöeffekterna blir närmast likvärdiga för de två alternativen. Osäkerheten i resultaten ligger främst i hur väl en central sortering kan fungera och vilken kvalitet som kan uppnås på de sorterade fraktionerna. Här har förutsatts att bägge insamlingssystemen fungerar väl.
7. Vid en jämförelse mellan en investering i en avfallspanna respektive en förgasningsanläggning för avfall framkommer att den senare är intressant ur ett klimatperspektiv men att den samtidigt är helt utesluten ur ett ekonomiskt perspektiv. Att förgasningen blir intressant ur ett klimatperspektiv beror i första hand på att den genererar en mindre mängd värme, vilket möjliggör ökad drift i övrig kraftvärme i Göteborgs fjärrvärmesystem. I andra hand påverkas resultatet av att elproduktionen blir högre från en förgasningsanläggning jämfört med en avfallspanna
8. I analysen har valts en systemgräns som utesluter möjligheten av att importera avfall för behandling inom systemet. I en känslighetsanalys har dock gränsen öppnats upp och resultatet visar på stora fördelar ur klimatsynpunkt att importera och behandla avfallet i regionen. Huvudorsaken är att man därigenom kan minska deponeringen av organiskt avfall utanför systemet. Övriga miljöparametrar och kostnader ingick ej i denna känslighetsanalys
9. Att upphöra med kompostering av matavfall och rötat avloppsslam ger även positiva effekter när det gäller emissioner av övergödande ämnen. Alternativet att röta matavfall och att föra ut detta tillsammans med rötat avloppsslam på jordbruket ger dock också betydande övergödande emissioner. Bäst resultat ur övergödningssynpunkt ges därför i de analyser där det rötade avloppsslammet nyttjas som bränsle i en förbränningsanläggning

10. Vid en noggrannare analys av olika alternativ för hantering av rötat avloppsslam framkom att det ekonomiskt mest fördelaktiga alternativet utgörs av att återföra slammet till jordbruksmark. Ur övergödningssynpunkt är det istället lämpligare att nyttja slammet som bränsle (i analogi med slutsats 9). För klimat och försurning är resultaten likvärdiga för de olika alternativen.

Rangordning av utvecklingsvägar

Som nämnts ovan har fokus i detta projekt varit Göteborgs avfalls- och fjärrvärmesystem. För att göra systemstudien fullständig krävs dock även analyser för omkringliggande system som påverkar och påverkas av förändringar i de ovan nämnda systemen. Denna studie har lagts upp så att totalt tre olika utvecklingsvägar samt tre omvärldsutvecklingar ställts upp vilka skall spegla en möjlig situation år 2030. Utvecklingsvägarna beskriver möjliga förändringar av avfallssystemet som beslutsfattare i Göteborg kan styra medan omvärldsutvecklingarna beskriver de randvillkor som beslutsfattarna måste anpassa sig efter. En utvecklingsväg består av en kombination av tekniker (t.ex. rötning, sortering, förgasning) som ska uppfylla de krav på avfallsbehandling och energiproduktion som ställs på systemen i Göteborg. Omvärldsutvecklingarna beskriver de omkringliggande systemens utveckling (t.ex. elpris, uppkomna avfallsmängder, pris på utsläppsrätter för CO₂). Huvuddragen i de tre utvecklingsvägarna beskrivs nedan:

- **Business-as-usual:** Utvecklingsvägen karaktäriseras av en ”traditionell utveckling” i Göteborg med stor andel avfallsförbränning. Kapaciteten i befintliga anläggningar anpassas till de mängder som uppkommer år 2030. Central kompostering används för att behandla matavfall vilket ger en jordprodukt. Avloppsslam komposteras och används sedan för mark- och anläggningsändamål.
- **Maximerad näringsåterföring:** I denna utveckling sker en förskjutning mot en större andel biologisk behandling jämfört med ”Business-as-usual”. Källsorteringen byggs ut och rötning för biogasproduktion ersätter kompostering av matavfall. Kapaciteten på rötningsanläggningen sätts till 60 000 ton avfall/år. Kapaciteten för förbränning blir därmed något lägre jämfört med ”Business-as-usual”. Avloppsslammet återförs direkt till jordbruk som gödsel istället för att komposteras och sen användas för anläggningsändamål.
- **Maximerad elproduktion:** Källsortering och rötning byggs ut på samma sätt som i ”Maximerad näringsåterföring”. Samtidigt sker ytterligare en krossning av utsorterade avfallsbränslen från det brännbara grov- och verksamhetsavfall som i ”Business-as-usual” går direkt till avfallsförbränning. Dessa krossade utsorterade avfallsbränslen förbränns i en ny förbränningsanläggning (avfallspanna-PTP²) med högre elproduktion än dagens avfallsförbränning. Avloppsslammet torkas till pellets som också förbränns i avfallspanna-PTP.

I tabell 1-4 redovisas generaliserade sammanfattningar av resultaten för de tre utvecklingsvägarna och för var en av de fyra värderingsaspekterna ekonomi, klimat, försurning och övergödning. Resultatet redovisas som en medaljfördelning (guld, silver och brons) till de tre utvecklingsvägarna. Vid medaljfördelning har det bästa resultatet erhållit guld och det sämsta brons. Därefter har intervallet mellan dessa två resultat delats in i tre

² PTP: Utsorterade blandningar av papper, trä och plastblandningar

delar. Det mellersta resultatet har då erhållit guld om det hamnat inom den övre tredjedelen, silver om den placerat sig i den mellersta tredjedelen och brons om resultatet ligger inom den nedre tredjedelen. Efter varje tabell beskrivs resultatet mer utförligt i text.

Tabell 1. Värdering av resultaten ur ekonomiskt perspektiv för de tre utvecklingsvägar som studeras i projektet. Utvecklingsvägen med bäst utfall erhåller guld (●), näst bäst utfall ger silver (●) medan det minst fördelaktiga utfallet ger brons (●)

Table 1. Valuation of the three studied pathways from an economic perspective. The pathway with best result gets gold (●) followed by silver (●) and bronze (●).

Ekonomi			
Omvärldsutveckling/ Utvecklingsväg	Referens	Materialsnål tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad näringsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

Ur ekonomisk aspekt visar sig utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” ge det bästa utfallet för alla tre omvärldsutvecklingar (jämför tabell 1). De faktorer som framförallt bidrar till detta positiva utfall är (1) att man erhåller intäkter för försäljning av fordonsgas och (2) att behovet för utbyggnad av avfallsförbränning minskar något till följd av att avfall sorteras ut och istället för att gå till förbränning behandlas genom rötning. Här är viktigt att komma ihåg att vi här studerar en situation kring år 2030, vilket innebär att alternativet till att uppföra en rötningsanläggning är att utöka dagens kapacitet för förbränning. Så är inte fallet i dagsläget eftersom kapaciteten för förbränning idag täcker det behov som finns i regionen. Bland viktiga indata kan nämnas priset på fordonsgas, investeringskostnaden för rötning och förbränning, transportkostnaden för avvattnat slam och biogödsel till jordbruk samt kostnaden för en utbyggnad av källsorteringssystemet.

Tabell 2. Värdering av resultaten ur perspektivet klimatpåverkan för de tre utvecklingsvägar som studeras i projektet. Utvecklingsvägen med bäst utfall erhåller guld (●), näst bäst utfall ger silver (●) medan det minst fördelaktiga utfallet ger brons (●)

Table 2. Valuation of the three studied pathways from the perspective emission of climate gases. The pathway with best result gets gold (●) followed by silver (●) and bronze (●).

Klimatpåverkan			
Omvärldsutveckling/ Utvecklingsväg	Referens	Materialsnål tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad näringsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

Av tabell 2 framgår att utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" ur perspektivet klimatpåverkan ger det bästa utfallet, tätt följd av utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring". Orsakerna till att "Maximerad näringsåterföring" ger ett bättre utfall än "Business-as-usual" är dels att fordonsgas genereras från rötning av avfall, vilket kan ersätta fossila bränslen i transportsektorn, och dels att vi får en ökad elproduktion i fjärrvärmesystemet, vilket tränger undan annan elproduktion med högre koldioxidemissioner. Anledningen till att elproduktionen ökar är att utbyggnaden av ny avfallsförbränning begränsas genom uppförandet av en rötningsanläggning. Därmed måste en större andel värme genereras från annan produktionskapacitet i Göteborgs fjärrvärmesystem. I dessa anläggningar genereras en större andel el än vad som genereras från avfallsförbränning. Ytterligare en utsläppsreduktion uppnås när slam från rötning av avfall och avloppsslam återförs till jordbruk och ersätter handelsgödsel (därigenom undviks produktion av handelsgödsel, vilket är en energiintensiv process). Orsaken till att utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" ger ett bättre utfall än "Maximerad näringsåterföring" är att det förstnämnda fallet ger en ytterligare höjning av elproduktionen i systemet. Detta beror dels på att man här uppför en avfallsförbränningsanläggning med en högre elproduktion (Avfallspanna-PTP) jämfört med en traditionell avfallsförbränningsanläggning, och dels på att man genom uppförandet av en slamtork ökar fjärrvärmebehovet i Göteborg. Därmed kan befintliga kraftvärmeverk utnyttjas mer, vilket genererar mer el.

Ser man till de totala emissionerna av växthusgaser i det studerade systemet (vilket omfattas av hela Renovas verksamhet, Göteborg Energis fjärrvärmeverksamhet samt hanteringen av rötat avloppsslam från Gryaab) så framgår att de två utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" reducerar emissionerna med 4 - 7 % (17 000 – 29 000 ton CO₂-ekv/år) jämfört med Business-as-usual. Utsläppsminskningen kan också relateras mot exempelvis de totala utsläppen av fossil koldioxid från Göteborg Energis fjärrvärmeproduktion som år 2009 uppgick till 545 000 ton CO₂. Fallet

”Maximerad näringsåterföring” uppvisar samtidigt en lägre kostnad jämfört med ”Business-as-usual” vilket innebär att kostnaden för denna utsläppsreduktion är negativ. För utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” beräknas kostnaden till 80-550 kr per ton växthusgas som reduceras beroende på omvärldsutveckling).

Tabell 3. Värdering av resultaten ur perspektivet försurning för de tre utvecklingsvägar som studeras i projektet. Utvecklingsvägen med bäst utfall erhåller guld (●), näst bäst utfall ger silver (●) medan det minst fördelaktiga utfallet ger brons (●)

Table 3. Valuation of the three studied pathways from the perspective of acidification. The pathway with best result gets gold (●) followed by silver (●) and bronze (●).

Försurning			
Omvärldsutveckling/ Utvecklingsväg	Referens	Materialsnål tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad näringsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

Ser man till påverkan på försurning så framgår av tabell 3 att bägge utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” är tydligt bättre jämfört med ”Business-as-usual”. Huvudorsaken till detta är man i dessa fall upphör med kompostering av såväl matavfall som avvattnat slam. Vid själva komposteringen sker emissioner av ammoniak vilket bidrar till försurning. Vidare ökar elproduktionen i det studerade systemet i de två utvecklingsvägarna jämfört med ”Business-as-usual” (se beskrivning ovan under klimatpåverkan). Därmed trängs annan elproduktion undan, vilken ger ett större utsläpp av försurande ämnen jämfört med den elproduktion som sker i det studerade systemet. I utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” genereras ytterligare mer el jämfört med ”Maximerad näringsåterföring” vilket ger ett något bättre resultat, skillnaden är dock inte större än att bägge betygssätt med en guldmedalj.

Jämfört med ”Business-as-usual” beräknas de totala utsläppen av försurande ämnen minska med i snitt 18 % för utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring”, och 26 % i utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” (vilket motsvarar minskningar på 100 – 200 ton SO₂-ekv/år). Utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” ger ett så mycket bättre ekonomiskt resultat jämfört med ”Business-as-usual” att kostnaden för utsläppsminskningen är negativ, se tabell 1 med tillhörande text. För utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” beräknas kostnaden för utsläppsreduktionen till 10-80 kr per ton försurande ämne som reduceras (räknat i SO₂-ekvivalenter och beroende på omvärldsutveckling). Detta kan jämföras mot dagens svavelskatt på kol och torv på 60 kr/ton SO₂ (skatten kan ses som ett mått på vad samhället anser att det bör kosta att släppa ut SO₂).

Table 4. Värdering av resultaten ur perspektivet övergödning för de tre utvecklingsvägar som studeras i projektet. Utvecklingsvägen med bäst utfall erhåller guld (●), näst bäst utfall ger silver (●) medan det minst fördelaktiga utfallet ger brons (●)

Tabell 4. Valuation of the three studied pathways from the perspective of eutrophication. The pathway with best result gets gold (●) followed by silver (●) and bronze (●).

Övergödning			
Omvärldsutveckling/ Utvecklingsväg	Referens	Materialsnä- - tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad näringsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

Ser man till övergödningspotentialen så framgår av tabell 4 att utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” ger det klart bästa resultatet. Orsaken är att man i detta fall upphör med kompostering av matavfall och slam, som sker i omvärldsutveckling ”Business-as-usual”, vilket ger utsläpp av ammoniak. Dessutom sker ingen spridning av avloppsslam på åkermark, som sker i omvärldsutveckling ”Maximerad näringsåterföring”, vilket ger emissioner av nitrat. Istället torkas avloppsslammet till pellets som sedan nyttjas som bränsle. Merparten av det kväve som återfinns i slammet samlas då upp av rökgasreningen i förbränningsanläggningen.

Jämfört med ”Business-as-usual” beräknas de totala utsläppen av övergödande ämnen minska med ca 30 % i utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion”. Kostnaden för utsläppsreduktionen beräknas till 20-90 kr per ton övergödande ämne som reduceras (räknat i fosfor-ekvivalenter). I Sverige finns idag ingen skatt på att släppa ut övergödande ämnen, kostnaden får här istället relateras mot dagens avgift i Danmark för att släppa ut fosfor, vilken uppgår till ca 140 kr per ton fosfor. Utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” ger ca 1-2 % lägre emissioner jämfört med ”Business-as-usual” och kostnaden för denna reduktion är negativ.

Här bör nämnas att det i dagsläget finns relativt stora osäkerheter kring läckaget av kväve från åkermark vid spridning av biologiska gödselmedel så som avlopps- och rötslam. I analysen får detta stor påverkan på resultatet för övergödningen från utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring”. Detta resultat skall därför nyttjas med viss försiktighet. Vidare bör nämnas att det totala utsläppet av övergödande ämnen från systemet är relativt lågt (drygt 300 ton fosfor-ekv/år). Som jämförelse kan tas det totala utsläppet till vatten och luft från Gryaabs hela verksamhet som uppgår till ca 1 500 ton fosfor-ekv/år (från Gryaabs verksamhet ingår endast rötat avvattnat avloppsslam i det studerade systemet).

Referenser:

[1] Bisailon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O. 2010, ”Systemstudie Avfall - Göteborg”. Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv, Waste Refinery, Borås

B Sammanfattningen från ”Systemstudie avfall – Borås”

I denna bilaga återfinns sammanfattningen från rapporten ”Systemstudie Avfall – Borås” [1]. Hela rapporten kan hämtas från www.wasterefinery.se.

Sammanfattning

Syftet med detta projekt (*Systemstudie Avfall - Borås*) är att ur ett systemperspektiv utvärdera nya och förbättrade tekniker för behandling av avfall från hushåll och verksamheter. Fokus för systemstudien ligger på Borås avfalls- och fjärrvärmesystem. För att göra systemstudien fullständig krävs dock även analyser för omkringliggande system som påverkar och påverkas av förändringar i de ovan nämnda systemen.

Studien fokuserar kring situationen år 2015, d.v.s. relativt nära dagens situation. Därför har vi valt att fördela analysen på en omvärldsutveckling och 12 utvecklingsvägar (fördelade på fem analysblock) som innebär förändringar jämfört med situationen år 2007 (som utgör basåret i studien). Omvärldsutvecklingen beskriver de randvillkor som beslutsfattarna i Borås måste anpassa sig efter och de omkringliggande systemens utveckling (t.ex. elpris, uppkomna avfallsmängder, pris på utsläppsrätter för CO₂). Utvecklingsvägarna beskriver möjliga förändringar av avfallssystemet som beslutsfattarna i Borås kan styra över. En utvecklingsväg består av en kombination av tekniker (t.ex. rötning, sortering, förgasning) som ska uppfylla de krav på avfallsbehandling och energiproduktion som ställs på systemen i Borås.

I **analysblock 1** studeras olika alternativ för ersättning av BEMs befintliga biokraftvärmeverk. De fyra utvecklingsvägar som studerats består av biokraftvärme, avfallskraftvärme, gaskombikraftvärme baserat på naturgas och förgasning baserat på avfall.

Ur ekonomisk synvinkel är det bästa alternativet antingen avfallskraftvärme eller biokraftvärme. Baserat på de indata som nyttjas ger avfallskraftvärme ett något bättre resultat (15 Mkr/år). Viktiga parametrar som påverkar detta resultat är i första hand: flispris, mottagningsavgifter samt skillnaden i investeringskostnad för de två alternativen. Alla dessa poster är stora i förhållande till det slutliga resultatet, vilket innebär att endast mindre förändringar i indata kan leda till att resultat blir omvänt, d.v.s. att biokraftvärme visar sig mer ekonomiskt fördelaktigt än avfallskraftvärme.

Med avseende på klimatpåverkan ger avfallsförgasning det bästa resultatet. Anledningen är att denna teknik ger en relativt hög elproduktion (som ersätter annan elproduktion) samtidigt som en stor mängd avfall behandlas, vilket ger att deponering av avfall undviks. Här är det dock viktigt att poängtera att avfallsförgasning idag inte är en kommersiellt gångbar teknik, vilket innebär att det finns osäkerheter om en fullskalanläggning kommer att fungera lika bra i verkligheten som i teorin.

Precis som för det ekonomiska utfallet uppvisar alternativen avfallskraftvärme och biokraftvärme ett ganska likartat resultat för klimatpåverkan. Resultatet väger dock över

något för biokraftvärme (15 kton CO₂-ekvivalenter³ lägre per år). Viktiga parametrar som påverkar detta utfall är: emissioner från alternativ elproduktion, avfallets fossil-innehåll samt antaganden om den alternativa hanteringen av avfall.

I **analysblock 2, 4 och 5** har olika delar som berör biogasproduktion från avfall studerats. Analysblock 2 och 5 fokuserar på åtgärder att öka mängden avfall till rötningen genom förbättrad utsortering av matavfall. Ny förbehandling respektive införande av tvåkärslssystem i analysblock 2 och förbehandling av nya substrat i analysblock 5. Analysblock 4 fokuserar på olika alternativ att hantera biogödseln från rötningen. Dessa är direkt spridning av oavvattnad biogödsel eller avvattning i kombination med olika alternativ för rening av det rejektvatten som uppstår vid avvattning (SBR⁴ – dagens system i Borås, luftstripper, ångstripper samt membranläggning).

Analysen inom analysblock 4 genomfördes i nära samarbete med WR20 medan indata från labbförsök i WR12 användes i analysblock 5.

Ekonomisk analys inkluderades i analysblock 2 och 4. Enligt analyserna skulle det bästa ekonomiska resultatet fås genom att införa tvåkärslssystem samt bibehålla dagens hantering av den oavvattnade biogödseln (d.v.s. avvattning i kombination med SBR).

Ur klimatsynpunkt kan man konstatera att skillnaderna mellan de olika utfallen inom analysblock 2, 4 och 5 ligger på betydligt lägre nivå än skillnaderna mellan de olika kraftvärmealternativen i analysblock 1. Det är dock viktigt att komma ihåg att både investeringar och förändringar i avfallsflöden är betydligt större i analysblock 1. Resultaten i analysblock 2 och 4 visar att en övergång till tvåkärslssystem i kombination med spridning av oavvattnad biogödsel skulle ge det bästa utfallet ur klimatsynpunkt. Kombinerar dessa utfall skulle de innebära en reduktion av klimatpåverkande emissioner med knappt 3 kton CO₂-ekv./år.

Ur klimatsynpunkt är det också viktigt att notera att beräkningarna i analysblock 4 och 5 visar på förhållandevis höga emissioner för de kemikalier som används i processerna. I båda analysblocken framträdde tydligt ”uppströms” emissioner som härrör från tillverkningen av kemikalierna. För att förbättra utfallet är det därför intressant att undersöka om/hur man kan minska kemikalieåtgången, om det går att byta till en kemikalie med lägre ”uppströms” emissioner och om det på något sätt är möjligt att återvinna kemikalierna.

I **analysblock 3** studeras hur ökad materialåtervinning kan leda till minskad klimatpåverkan. Detta är intressant och relevant ur Waste Refinerys perspektiv eftersom materialåtervinning är ett alternativ som kan utnyttjas i kombination med termisk och biologisk behandling för att uppnå så optimala resultat som möjligt (se t ex [2]). Utmaningen ligger i att hitta avvägda kombinationer av dessa tekniker som tar hänsyn till både ekonomi och miljö.

Resultaten visar att en övergång till fastighetsnära insamling av hushållsavfall i åtta fraktioner från villahushållen i Borås kommun skulle innebära en minskning av

³ I fortsättningen används förkortningen CO₂-ekv.

⁴ SBR = Satsvis Biologisk Rening

växthusgasemissionerna med knappt 330 ton CO₂-ekv./år. Detta är givetvis positivt, men samtidigt är det viktigt att ge perspektiv på denna förändring:

- I analysen har vi antagit att alla villahushåll i Borås kommun (20 600) går över till insamling i åtta fraktioner. Om man antar att det i genomsnitt bor 2,5 personer per villahushåll så omfattas drygt 52 000 personer av övergången till insamling i åtta fraktioner. Utslaget per person motsvarar reduktionen av växthusgasemissioner då drygt 6 kg CO₂-ekv./person, år. Som jämförelse kan nämnas att Sveriges totala växthusgasemissioner år 2008 var 6,9 **ton** CO₂-ekv./person, år (Miljömål 2010), d.v.s. drygt 1000 gånger större.
- Givet att utsläppsreduktionen på knappt 330 ton CO₂-ekv./år maximalt får innebära en merkostnad på 300 kr/ton CO₂-ekv. (vilket är det antagna priset för utsläppsrätter år 2015 enligt avsnitt 4.4.2) så kan man beräkna att insamlingen i åtta fraktioner maximalt får innebära en ökning av kostnaderna med 0,1 Mkr/år. Utslaget per villahushåll motsvarar detta en maximal ökning av kostnaderna med knappt 5 kr/villahushåll, år. Detta kan jämföras med avfallstaxan i Borås som idag ligger på ca 2300-2500 kr/villahushåll, år (beroende på om man har 130 eller 190 literskär). Detta innebär att ökningen av kostnaderna maximalt får motsvara en ökning på ca 0,2 % av avfallstaxan, d.v.s. en mycket begränsad ökning.

Nyckelord: systemanalys, termisk behandling, biologisk behandling, biogas, fjärrvärme, el, kraftvärme, optisk sortering, förbehandling, biogödsel, materialåtervinning

Referenser:

[1] Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., "Systemstudie Avfall i Borås". Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv. 2010.

[2] Sundberg, J., Olofsson, M., Sahlin, J. och Berggren, M. (2004) Evaluating waste incineration as treatment and energy recovery method from an environmental point of view, Profu-rapport på uppdrag av CEWEP (Confederation of European Waste-to-Energy Plants). Rapporten finns att ladda ned på <http://www.cewep.com/studies/recycling/art236,46.html>.

C Utveckling av modeller och metodik inom WR21

Projektet är ett forskningsprojekt med flera mål. Huvudmålet är att studera de ekonomiska och miljömässiga utvecklingsmöjligheterna för avfallsbehandlingssystemet. Detta dominerar redovisningen i alla delrapporter från projektet inklusive denna. Men det finns även andra mål som rör metod- och modellutvecklingen.

Testa och vidareutveckla metodik för att interaktivt utnyttja flera olika modeller

Tanken med att jobba med flera modeller interaktivt är att: (1) Få möjlighet att studera ett stort och övergripande system utan att förlora nödvändig detaljrikedom. (2) Relativt snabbt få fram en beskrivning av detta övergripande system genom att utnyttja mer eller mindre färdigutvecklade och validerade modeller. (3) Utnyttja modellbeskrivningar som delvis från början är accepterade av användare och forskare. (4) Att få hanterbart stora modeller som ger användaren tillräckligt med transparens för att förstå och hantera resultaten.

Detta projekt bygger vidare på tidigare erfarenheter med interaktivt kopplade modeller men tar ett steg vidare genom att även utnyttja modeller för omvärldsbeskrivningen. För avfallssystemet utnyttjas en simuleringsmodell (ORWARE) som med hjälp av LCA-metodik inklusive kostnadsbeskrivningar hanterar det system som är i fokus för detta projekt. För fjärrvärmesystemet utnyttjas en optimeringsmodell (Martes) som utifrån ett belastningsdiagram kan minimera dygnsproduktionskostnaden för fjärrvärme samt redovisa resulterande kostnader och emissioner. För omvärldens elproduktion utnyttjas resultat från optimeringar av det nordeuropeiska elsystemet med LP-modellen Markal. För delar av omvärlden som ORWARE-modellen inte klarar av utnyttjas tidigare genomförda LCA-analyser.

Sammanfattningsvis:

Trots skillnader i angreppssätt, detaljrikedom m.m. mellan modellerna så visar projektet att arbetet har gått bra och att arbetssättet med att interaktivt studera hela systemet med delmodeller är ett effektivt och fördelaktigt sätt för att fånga ett stort system utan att förlora nödvändig detaljrikedom.

Testa tidigare utvecklad scenariometodik för system med flera systemägare

Den metodik som använts bygger på att utnyttja modellkonceptet som en objektiv plattform för att skapa gemensamma insikter och utvecklingsmål när flera olika organisationer/företag är beslutsfattare i det system som ska planeras och utvecklas. Eftersom organisationerna har olika mål och ambitioner med utvecklingen uppstår det problem när hela systemet ska planeras så att helheten blir så effektiv som möjligt. Detta är ingen ny metodik och detta forskningsprojekt gör inga anspråk på att driva forskningen framåt inom detta område. Men det är nytt att testa metodiken i full skala för planeringen av ett avfallssystem. I detta projekt har vi utnyttjat de erfarenheter som tidigare tagits fram på Chalmers inom kommunal energiplanering. Metodiken testades i ”Systemstudie Avfall – Göteborg”. I projektet ingick fyra olika parter (Renova, Kretsloppskontoret, Göteborg Energi och Gryaab). Arbetet bygger på en iterativ process där modellerna tidigt börjar användas för att generera gemensamma insikter i gruppen och för att skapa nya frågeställningar. Successivt förbättras både indata och de frågor som analyseras.

Sammanfattningsvis:

Scenariometodiken fungerade väl i arbetet med Göteborgsstudien. Gemensam kunskap byggdes successivt upp och gemensamma scenarier togs fram och analyserades. Överlag fungerade allt väl och enligt plan. I efterhand kan man dock konstatera att metodiken är tidskrävande och därigenom kostsam för alla medverkande. I uppföljande samtal med flera av de medverkande gavs överlag positiva kommentarer, samtidigt kan man konstatera att det finns delar som kunde ha fungerat bättre. Det är framförallt tre lärdomar som drogs om hur arbetet kan förbättras:

1. Det är viktigt att våga ta ut svängarna i val av tekniker och scenarier för den framtida utvecklingen. Eftersom man i systemstudien väver in kommunens och de delaktiga företagens pågående planering finns det en risk att man är alltför försiktig i sina val vilket resulterar i för försiktiga slutsatser och resultat.
2. De scenarier som studeras bör inte inkludera för många olika förändringar (nya tekniker, val av flöden, etc). Ju fler förändringar som inkluderas desto svårare är det att få förståelse och insikter från modellresultaten och dra tydliga slutsatser för utvecklingen.
3. De behövs en hög transparens i modellarbetet, detta gäller både indata och beräkningar. Önskan om detaljrikedom och transparens är dock svår att kombinera.

Vidareutveckla datormodellering

I arbetet har viss vidareutveckling av datormodeller skett. Detta gäller framförallt för avfallsmodellen där nya moduler har tillförts och väsentliga indata har uppdateras. Resultatpresentationen har förbättrats för att underlätta simuleringsarbetet. Modellen har även anpassats så att den enkelt kan dockas mot fjärrvärmemodellen Martes. Martes har dessutom anpassats för avsevärt fler typer av emissioner.

Sammanfattningsvis:

Utvecklingsarbetet har gått bra och klarats av inom uppsatta tidsramar. Modellanpassningar/utvecklingar tar mycket tid i anspråk men har i detta projekt totalt sett varit effektiva med tanke på de modellstudier som sedan genomförts.

Förbättra beskrivningen av miljöpåverkan.

I projektet identifierades tidigt ett behov av att förbättra beskrivningen av miljöpåverkan i avfallsmodellen (ORWARE). Mycket har skett under de senaste åren då det gäller kunskapen om miljöpåverkan och ny indata samt uppdaterade effektbeskrivningar har varit nödvändigt att arbeta in i modellen. Vidare har ett arbete påbörjats med att förbättra användbarheten av miljöresultaten för ansvariga i avfallsplaneringsarbetet. De helt olika metodikerna för miljöbeskrivningar som ges från LCA-modeller och i miljökonsekvensutredningar har diskuterats och ett förslag till komplement till LCA-metodiken har tagits fram.

Sammanfattningsvis:

Uppdateringen av indata och miljöeffekter har varit betydelsefull och kan utnyttjas i kommande tillämpningar med detta och andra modellkoncept. Tillägget med geografisk förankring av resultaten med specifika utsläpp ger ett värdefullt komplement till LCA-metodikens mer generaliserade effekter. Komplementet ger en beskrivning som ligger närmare miljökonsekvensutredningarnas sätt att angripa problematiken och ger därmed ett sätt att brygga över de stora skillnader som finns i synsätt och metodik. I uppdateringsarbetet har även medverkande parter kunnat konstatera att det fortfarande

finns osäkerheter i miljöanalysen, både på indatasidan och på effektbeskrivningen. Detta gäller inte klimatbeskrivningarna men däremot beskrivningarna av försurning, övergödning och toxicitet.

D Teknikutvärdering – Siktning av avfall (WR06)

Genom att sikta bort den finfraktion som finns i inkommande avfall, eller som uppstår när avfallsbränsle krossas, så kan flera oönskade och mycket kostsamma effekter såsom höga askflöden, slitage, beläggingsbildning och korrosion reduceras [1]. Projektet (som slutrapporterades under 2008) syftade till att utreda möjligheten att minska mängden aska och oorganiska komponenter i avfallsförbränningsförloppet genom en ökad förbehandling av bränslet genom siktning. Samtidigt undersöktes ekonomiska alternativ för att ta hand om siktresten [1]. För mer information om WR06 och dess resultat hänvisas läsaren till projektets slutrapport [1] eller till att kontakta projektledaren Andreas Johansson (SP).

Samarbetet utgjordes främst av att WR21 bidrog med kvalitativa observationer till WR06 om parametrar som hade betydelse ur systemperspektiv. Inledningsvis fanns även idéer och tankar om att kvantitativt utvärdera resultat från WR06 ur ett systemperspektiv (inom ramen för Systemstudie Avfall i Borås). Emellertid innebar resultaten från WR06 att den siktrest som bildades måste vidarebehandlas. Vissa alternativ diskuterades och testades inom WR06 men den sammanvägda bedömningen inom WR21 var att dessa data måste utredas mer i detalj innan det går att göra en utvärdering ur systemperspektiv.

- [1] Johansson, A., Johnsson, A., Yoshiguchi, H., Steenari, B-M., Boström, S., Fredäng, J., Bisailon, M. och Andersson, H. 2008, "Siktning av avfall". Projektnummer WR-06

E Teknikutvärdering – Svavelrecirkulation (WR07)

I avfallseldade pannor bildas beläggningar med ett högt innehåll av alkaliklorider vilket beror på att avfallsbränslen har ett högt klorinnehåll. Beläggningarna leder till ökad högttemperaturkorrosion och dioxinbildning. En förhöjd svavelhalt i rökgasen har visat sig minska klorets skadliga inverkan. Många studier behandlar dosering av svavel i olika former. Gemensamt för dessa metoder är emellertid att stora mängder av en svavelförening tillsätts och att mängden restprodukt från rökgasreningen ökar kraftigt. Vid svavelrecirkulation avskiljs svaveldioxiden från rökgasen i rökgasreningen genom att väteperoxid tillsätts. Svavelsyran som bildas i processen sprutas därefter in i pannan vilket innebär att det bildas en recirkulationsloop som höjer svavelhalten i systemet. Varje svavelatom i bränslet används därvid flera gånger och på så sätt behöver inget externt svavel tillsättas. Genom att införa svavelrecirkulation förväntas korrosionshastigheten i pannans överhettare halveras och dioxinhalten minska. En minskad korrosion innebär att nya pannor kan designas för högre ångdata vilket medför högre elverkningsgrad [1].

Projektets huvudsakliga målsättning är att visa

- Att korrosionshastigheten i pannans överhettare halveras vid svavelrecirkulation.
- Att dioxinhalten i rökgasen reduceras kraftigt

Mer långsiktiga mål med projektet är, under förutsättning att den huvudsakliga målsättningen uppnås, att undersöka:

- Lägre korrosionshastighet kan sänka underhållskostnaderna alternativt tillåta högre ångdata i kraftvärmepannor och därmed ge höjt elutbyte alternativt sänkta underhållskostnader.
- Genom recirkulation av bränslets naturliga svavelinnehåll behövs ingen extern tillförsel av svavel, som annars hade ökat mängden restprodukter från rökgasreningen.
- Processen har potential att producera ett överskott av svavel, vilket kan doseras i externa pannor med torr rening för att minska korrosionen i dessa.
- Kravet på dioxinavskiljningsutrustningen i rökgasreningen minskar.
- Minskning av dioxinutsläpp vid uppstart och driftstörningar p.g.a. sulfaterade och därmed inaktiverade beläggningsytor.
- Minskad dioxinhalt i askor och restprodukter: dioxin tas ut ur kretsloppet.

För mer information om projektet och dess resultat hänvisas läsaren till projektets slutrapport, eller till att kontakta projektledaren Martin Karlsson (Götaverken Miljö AB).

Utvärdering ur systemperspektiv

I systemperspektivutvärderingen studeras hur kostnader och emissioner av koldioxid kommer att förändras vid Sävenäs AKV i Göteborg om anläggningen installerar svavelrecirkulation (SR). I det följande benämns dagens system utan SR som "Sävenäs AKV utan SR" medan ett framtida system med SR benämns som "Sävenäs AKV med SR". I analysen studeras två olika omvärldsutvecklingar: "Referens" och "Materialsnål tillväxt" [2]. Bland de antaganden som görs för att kunna beräkna kostnadsbesparingen kommer endast elpriserna och värmepriserna att variera mellan de båda omvärldsutvecklingarna. För de antaganden som görs i samband med emissionsberäkningen är det tre olika parametrar som skiljer sig åt (se nedan).

Antaganden för kostnadsbedömning

Eftersom vi här jämför två olika system är det endast intressant att studera skillnader mellan systemen. De kostnader/intäkter som är lika stora i de bägge systemen finns således inte med i nedanstående redovisning.

Anläggningsdata Sävenäs AKV

Anläggningsdata som presenteras här baseras på de värden som används inom projektet "Systemstudie Avfall – Göteborg" [2].

Verkningsgrad: 1,02 MJ nyttig/MJ tillförd (baserat på effektivt värmevärde).

Alfa: 0,2 MJ el/MJ värme.

Värmevärde hushållsavfall

Det effektiva värmevärdet för hushållsavfall har antagits vara 3 MWh/ton (fuktigt).

Produktion

Då SR införs ökar elproduktionen med 30 % medan värmeproduktionen minskar med lika många MWh värme som elproduktionen ökar [1]. Givet värmevärdet för hushållsavfall och anläggningsdata blir produktionen vid förbränning av ett ton hushållsavfall enligt följande:

Sävensäs AKV utan SR: Värme: 2,6 MWh/ton SLF
El: 0,5 MWh/ton SLF

Sävensäs AKV med SR: Värme: 2,44 MWh/ton SLF
El: 0,66 MWh/ton SLF

Kemikalieanvändning

Jämfört med dagens system "Sävenäs AKV utan SR" kommer kemikalieanvändningen att bli 1-2 gånger dyrare då SR införs [3]. Vid beräkningen antar vi därför att kemikalieanvändningen för systemet "Sävenäs AKV med SR" blir 1,5 gånger dyrare.

Sävensäs utan SR: 9,6 kr/ton avfall

Sävensäs med SR: 14,4 kr/ton avfall

Investeringskostnader, avskrivningstid och kalkylränta

Eftersom vi endast är intresserade av att studera skillnader mellan "Sävenäs AKV med SR" och "Sävenäs AKV utan SR" är endast den extra investeringskostnad som SR medför av intresse. Hänsyn skall dock tas till eventuella avdrag som man kan göra till följd av att annan utrustning som behövs för "Sävenäs AKV utan SR" inte behövs för "Sävenäs AKV med SR". Jämfört med andra poster, som till exempel de intäkter som ges vid en ökad elproduktion på 30 % och de ökade kostnaderna till följd av en ökad kemikalieanvändning för "Sävenäs AKV med SR", så är de extra investeringskostnaderna dock försumbara [3]. Därmed sätts investeringskostnaden till 0 kr. För att se hur pass känsligt systemet är görs en separat beräkning där en investeringskostnad på 5 miljoner kr antas. I båda fallen slås investeringskostnaden ut på Sävenäs AKVs årliga förbränningskapacitet (520 kton). Avskrivningstiden och kalkylräntan antas vara 20 år respektive 5 %.

Priser

I analysen studeras två olika omvärldsutvecklingar: "Referens" och "Materialsnål tillväxt". Omvärldsutvecklingarna skiljer sig åt i fråga om el- och värmepriser. Nedan presenteras elpriserna men däremot inte värmepriserna då dessa är konfidentiella.

Elpris omvärldsutveckling "Referens": 450 kr/MWh el

Elpris omvärldsutveckling "Materialsnål tillväxt": 600 kr/MWh el

Antaganden för emissionsberäkning

I analogi med kostnadsberäkningen är vi här endast intresserade av att studera de emissioner som skiljer mellan de båda systemen "Sävenäs AKV med SR" och "Sävenäs AKV utan SR". De emissionsposter som är lika stora i de bägge systemen finns således inte med i redovisningen. Nedan beskrivs de faktorer som skiljer de bägge systemen åt. Var och en av dessa benämns med en bokstav (B-D). I tabell 1 ges värdet på respektive faktor i de båda omvärldsutvecklingarna "Referens" och "Materialsnål tillväxt".

- På grund av att det sker en ökad elproduktion vid "Sävenäs AKV med SR" behövs en mindre mängd externt producerad el än för "Sävenäs AKV utan SR". Marginalelproduktion i omvärlden undviks således (B).
- Det totala värmebehovet i fjärrvärmesystemet är naturligtvis oberoende av storleken på värmeleveranserna från Sävenäs AKV. Då en mindre mängd värme produceras vid "Sävenäs AKV med SR" innebär detta att mer värme måste genereras från andra anläggningar i fjärrvärmesystemet jämfört med alternativet "Sävenäs AKV utan SR". Emissionerna från den alternativa värmeproduktionen ges av faktor C i tabell 1. Den alternativa värmeproduktionen genererar också en mindre mängd el. De förändrade utsläppen till följd av denna elproduktion ges av faktor D i tabellen.

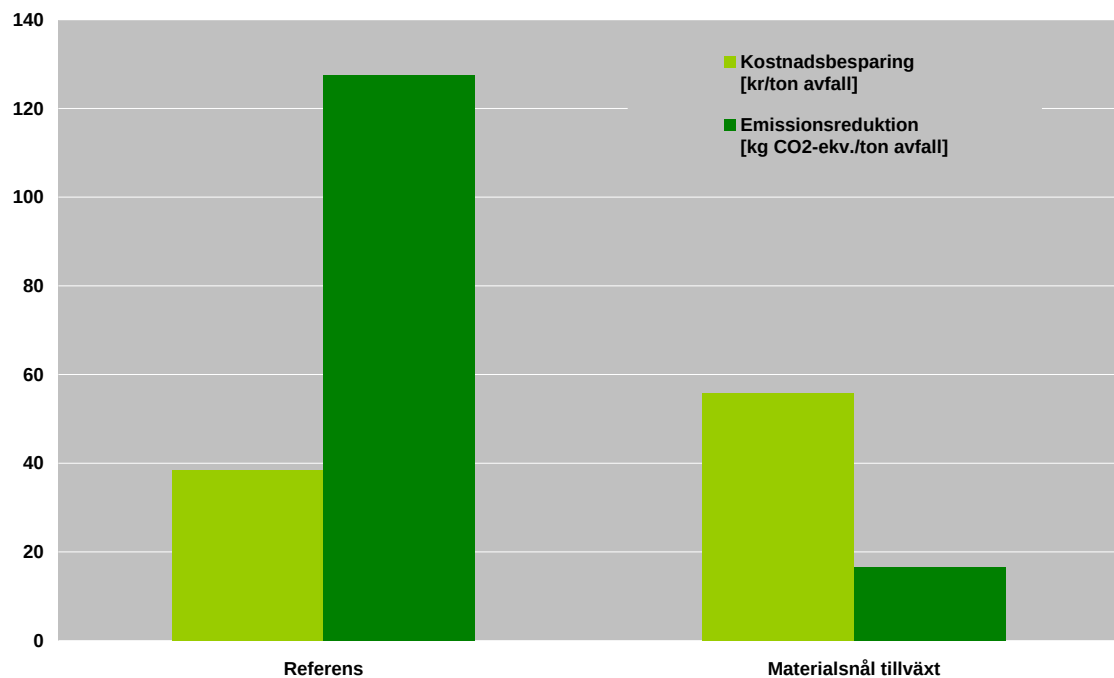
*Tabell 1 Emissionsfaktorer och data som används för de två omvärldsutvecklingarna.**Table 1 Emission data used for the two different future scenarios.*

Benämning	Referens	Materialsnål tillväxt	Enhet
B	725	160	kg CO ₂ -ekv. /MWh el
C	211	59	kg CO ₂ -ekv. /MWh värme
D	0,44	0,05	MWh el /MWh värme

En avgränsning i analysen är att vi inte inkluderat de "uppströms" emissioner som sker för tillverkning av kemikalier. Orsaken är att data saknats kring vilken kemikalieåtgång som påverkas och i vilken omfattning. Eftersom kemikalieanvändningen enligt ovan bedöms bli 1-2 gånger dyrare då SR införs ligger det närmast till hands att anta att dessa "uppströms" emissioner blir större i alternativet "Sävenäs AKV med SR". Samtidigt vet vi att de emissioner som sker vid tillverkning av olika kemikalier skiljer sig åt. För att göra en grundlig analys kring detta behöver man därför ha detaljerad data kring vilka kemikalier som påverkas och i vilken omfattning.

Resultat

I figur 1 visas resultatet för den kostnadsbesparing och emissionsreduktion i form av växthusgaser som kan göras då Sävenäs AKV inför SR. Från figuren framgår det att kostnadsbesparingen blir lägre då omvärldsutvecklingen utgörs av "Referens" jämfört med omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt". För emissionsreduktionen blir dock resultatet det motsatta. Som tidigare nämnts i samband med antagandena för kostnadsbesparing gjordes en känslighetsanalys för investeringskostnaden. Resultatet påverkades dock mycket marginellt av denna parameter – en investeringskostnad på 5 miljoner kr motsvarar endast en årlig kapitalkostnad på 0,8 kr/ton avfall när investeringen kan slås ut på hela anläggningens kapacitet (520 kton/år).



Figur 1 Kostnadsbesparing [kr/ton avfall] (ljusgröna staplar) och emissionsreduktion [kg CO₂-ekv./ton avfall] (mörkgröna staplar) som ges om Sävenäs AKV inför svavelrecirkulation. Resultat för omvärldsutvecklingarna "Referens" och "Materialsnål tillväxt".

Figure 1 Cost reduction [kr/tonne incinerated] (light green bars) and emissions savings [kgCO₂-ekv./tonne incinerated] (dark green bars) due to the implementation of sulphur recirculation at the combined heat and power plant Sävenäs in Sweden. Results are shown for the two scenarios "Reference case" and "material efficient growth".

[1] Andersson S., Blomqvist E-L., Claesson F., Bäfver L., Davidsson K., Froitzheim J., Pettersson J., Steenari B-M., "Svavelrecikulation", WR-07, 2010.

[2] Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., "Systemstudie Avfall i Göteborg". Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv. 2010.

[3] Götaverken Miljö AB, personlig kommunikation Martin Karlsson 2009-11-11

F Teknikutvärdering – Förbehandlingstekniker (WR12)

Inom ramen för Systemstudie Avfall i Borås gjordes en utvärdering ur systemperspektiv av resultat som tagits fram inom WR12. I WR12 jämfördes rötning av pappersrullar utan förbehandling med rötning av pappersrullar som förbehandlats med hjälp av ångexplosion och tillsats av NaOH (lut) och H₂O₂ (väteperoxid). Systemperspektivanalysen fokuserade på klimatpåverkan. Samma mängd avfall antogs bli behandlat men det senare fallet gav, baserat på labbförsök i WR12, upphov till större fordonsgasproduktion (vilken antas ersätta bensin och diesel). Samtidigt innebär det senare fallet att ånga, NaOH och H₂O₂ måste produceras och användas vilket också ger klimatpåverkande emissioner. I beräkningarna inkluderades dock endast emissioner för produktion av NaOH och H₂O₂. Dessa ”uppströms” emissioner uppskattades utifrån livscykelanalyser som gjorts för produktionen av respektive kemikalie.

I det analyserade fallet visade det sig att kemikalieåtgången var förhållandevis hög. Detta innebär att de ”uppströms emissioner” som sker för tillverkningen av kemikalierna blev större än de emissioner som kundes undvikas till följd av den ökade fordonsgasproduktionen ersatte bensin och diesel.

Vi poängterade i analysen att det principiella resultatet ur systemperspektiv i detta fall var mer intressant än det kvantitativa resultat i sig. Genom systemanalysen kunde vi belysa vikten av att kemikalieåtgången reduceras vid förbehandlingen, åtminstone om man vill uppnå goda resultat ur klimatsynpunkt.

Mer detaljer kring indata och resultat av analysen ur systemperspektiv finns i [1]. För mer information om WR12 och dess resultat hänvisas läsaren till projektets slutrapport, eller till att kontakta projektledaren Ilona Sarvari Horvath (Högskolan i Borås).

- [1] Bisailon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., ”Systemstudie Avfall i Borås”. Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv. 2010.

G Teknikutvärdering – Förädling av rötrest från större biogasanläggningar (WR20)

I nära samarbete med WR20 (*Förädling av rötrest från storskaliga biogasanläggningar*) studerades inom WR21 alternativ för hantering av rötrest i Göteborg och Borås. Fokus i WR20 var att studera tre alternativa tekniker för att ta hand om rejektivattnet från avvattningen av rötrest (luftstripper, ångstripper och membranläggning) genom fallstudier i Borås och Göteborg. Dessa tekniker används inte i Sverige idag men nyttjas i varierande omfattning i Tyskland. För att göra studien inom WR20 skulle det enbart räcka med att fokusera analysen på rejektivattnet eftersom den avvattnade rötresten behandlas på samma sätt. Emellertid uttryckte Borås Energi och Miljö, Renova och Göteborg Energi ett klart intresse (både inom WR20 och WR21) att få med en analys av att helt undvika avvattning och istället transportera ut och sprida den oavvattnade biogödseln på åkermark. Man ville dessutom studera två alternativ där rejektivattnet behandlades biologiskt (SBR⁵ respektive DeAmmon). Med hjälp av de resurser som fanns inom WR21 utvidgades därför analysen inom WR20 till att även omfatta dessa alternativ. Utvidgningen innebar även att det blev centralt i analysen i WR20 att inkludera både avvattning och hantering av den avvattnade biogödseln eftersom dessa steg helt undviks när man sprider oavvattnad biogödsel på åkermark.

Resultatet för systemanalysen visar att för Göteborg är det bästa alternativet både ur ekonomisk synvinkel och med avseende på klimatpåverkan att transportera och sprida oavvattnad rötrest (detta gäller så länge det finns avsättning inom ett genomsnittligt avstånd på 30 km). Utifrån förurnings- och övergödningspotential är bästa alternativet att behandla rejektivattnet med DeAmmon. För Borås är det bästa alternativet ur ekonomisk synvinkel att fortsätta med den reningsmetod som idag används vid anläggningen, d.v.s.. SBR. Ur klimatsynpunkt är bästa alternativet att sprida oavvattnad rötrest på åkermark. Utifrån förurnings- och övergödningspotential är bästa alternativet att behandla rejektivattnet med någon av strippermetoderna alternativt SBR.

En mer detaljerade beskrivning av indata, resultat och slutsatser för analysen i Göteborg finns i dokumenterad i [2] medan motsvarande för analysen i Borås finns dokumenterat i både [1] och [2].

[1] Aarsrud, P., Bisaillon, M., Hellström, H., Henriksson, G., Jakobsson, E., Jarlsvik, T., Martinsson, U., Jensen, C., Johansson, L-G., Kanerot, M. och Ling, D. ”Förädling av rötrest från storskaliga biogasanläggningar”. Projektnummer WR-20, 2010.

[2] Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., ”Systemstudie Avfall i Borås”. Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv. 2010.

⁵ Satsvis Biologisk Rening

H Teknikutvärdering – Energiåtervinning av bilfluff – etapp 2 (WR23)

År 2002 infördes i Sverige ett deponiförbud mot brännbart avfall. Förbudet utvidgades år 2005 till att omfatta brännbart och organiskt avfall [2]. Förbudet har inneburit att fragmenteringsprodukter som är brännbara ($>10\%$ ts TOC) numera måste styras bort från deponering till material- eller energiåtervinning. I en fragmenteringsanläggning utgörs det inkommande avfallet av metallskrot [3]. Vid upparbetning rengörs skroten genom att en lättare brännbar fraktion sugas av. I huvudsak består denna lättare fraktion, kallad SLF (shredder light fraction), av trä, plast, textil, stoppning från säten men även en del metaller [4]. Eftersom SLF innehåller en hel del metaller och har en relativt hög klorhalt har det funnits oro för att bränslet skall ge beläggningsproblem och korrosionsproblem i förbränningsanläggningar. Projektet WR23 "Energiåtervinning av bilfluff" syftar därför till att visa:

- att sameldning med rötslam kan minska riskerna för beläggning och korrosion vid inblandning av SLF i en avfallspanna.
- var eventuella beläggningsproblem uppstår och att ta reda på vilka ämnen som förekommer i beläggningarna vid metalltemperaturer på 280 °C, 350 °C respektive 420 °C.
- hur askekonomin påverkas då askmängderna ökar och dess sammansättning förändras till följd av inblandning av rötslam och/eller SLF.

Inom projektet genomfördes praktiska mätningar vid Värmeverket i Lidköping (bubblande fluidbäddspanna, 20 MW). Tre olika avfallssammansättningar studerades. Uttryckt på energibas utgörs dessa av:

- Referensfall: 100 % normalt bränsle
- F1 (försök 1): 77 % normalt bränsle, 20 % SLF och 3 % rötslam
- F2 (försök 2): 80 % normalt bränsle och 20 % SLF

där normalbränslet uttryckt på energibas består till 50 % av hushållsavfall och 50 % verksamhetsavfall.

Bland projektets resultat konstateras att det både blir en mindre mängd beläggningar och att dessa dessutom blir mindre korrosiva då SLF förbränns tillsammans med rötslam och normalt bränsle (F1). Även det motsatta bevisas, det vill säga att mängden beläggningar och deras korrosivitet ökar då enbart SLF förbränns tillsammans med normalt bränsle (F2). Slutsatsen blir således att en så pass hög inblandning av SLF som 20 energi-% inte rekommenderas så till vida att inte slam samförbränns och/eller att rostfritt material används i förbränningsanläggningens konvektionstuber.

För mer information om projektet och dess resultat hänvisas läsaren till projektets slutrapport, eller till att kontakta projektledaren Marianne Gyllenhammar (Stena Metall).

Utvärdering ur systemperspektiv

I detta avsnitt studeras climateffekten av att förbränna 1 ton SLF i Sävenäs AKV (avfallskraftvärmeverk). Effekten studeras ur ett systemperspektiv. Hänsyn tas bland annat till hur el och fjärrvärmeproduktionen i Göteborg och omvärlden förändras liksom bränsleanvändningen vid sådan produktion. Vidare tas även hänsyn till den alternativa behandlingsmetoden för mängden SLF som förbränns. I analysen studeras två olika omvärldsutvecklingar: "Referens" och "Materialsnål tillväxt" (se bilaga A).

Antaganden

Anläggningsdata Sävenäs AKV

Anläggningsdata som presenteras här baseras på de värden som används inom WR21 [1].

Verkningsgrad: 1,02 MJ nyttig/MJ tillförd (baserat på effektivt värmevärde).

Alfa: 0,2 MJ el/MJ värme.

Värmevärde SLF

Det effektiva värmevärdet för fallande icke-floterat SLF har antagits vara cirka 3 MWh/ton (fuktigt). Med fallande SLF avses den fraktion som faller direkt från främteringsanläggningen (>7 millimeter) medan floterat SLF har upparbetats ett steg till genom att fraktionen har gått igenom en flotationsanläggning. I flotationsanläggningen avskiljs metaller och tung plast från den brännbara fraktionen [5].

Produktion

Givet värmevärdet för SLF och anläggningsdata för Sävenäs AKV blir produktionen vid förbränning av ett ton SLF vid Sävenäs AKV enligt följande:

Värme: 2,5 MWh/ton SLF

El: 0,5 MWh/ton SLF

Alternativ avfallsbehandling

Sedan deponiförbuden infördes utfärdas årligen dispenser från desamma. Preliminära siffror för år 2009 visar att de totala dispensererna för brännbart avfall är cirka 150 000 ton varav mer än hälften gäller för avfall som uppstår i samband med defragmentering – så kallat fluff. Hur stor mängd av de dispensgivna tillstånden som faktiskt utnyttjas är inte redovisat för år 2009 men år 2008 deponerades knappt 60 % av de dispensgivna mängderna [6]. Vid förbränning av SLF i Sävenäs AKV antar vi att samma mängd SLF styrs bort från deponering. Plockanalyser av SLF från Finland visar att de lättnedbrytbara fraktionerna utgörs av trä (cirka 10 volymprocent), tyg (cirka 1 volymprocent) samt papper och kartong (cirka 3,5 volymprocent) [7]. Vid deponering kommer delar av det lättnedbrytbara materialet att brytas ner. Eftersom den lättnedbrytbara delen av SLF framförallt utgörs av trä exkluderas tyg samt papper och kartong från beräkningarna. Detta ger att vid deponering av 1 ton SLF sker ett nettoutsläpp av 10 kg CO₂-ekv. I nettoutsläppsberäkningen har hänsyn tagits till mängden metangas som genereras, mängden emissioner som undviks på grund av att deponigas samlas in och facklas och att emissioner

undviks till följd av att det sker en oxidering i deponins ytskikt. Mängden deponigas som kan samlas in är i det här fallet så pass liten att möjligheten till att generera el och värme genom förbränning av metangasen i en gasmotor blir försumbar.

Transporter

Eftersom vi inte vet om transporterna av SLF kommer att medföra längre eller kortare transportsträckor då de transporteras till Sävenäs AKV istället för till en deponi antar vi här att transportavstånden är desamma. Därmed ger båda behandlingsalternativen upphov till lika stora transportemissioner. Det finns därmed inget behov av att inkludera transporter i denna systemstudie. Andra utredningar visar dessutom på att transporter ofta är försumbara ur ett klimatperspektiv då de ställs mot andra poster som till exempel alternativ el- och värmeproduktion, alternativ avfallsbehandling, med mera [8].

Emissioner

Vid emissionsberäkningen tar vi hänsyn till fem olika emissionsposter. Var och en av dessa representeras med en stapel i figur 1 som visar resultatet från systemstudien.

- Emissioner som kommer ut ur skorstenen på Sävenäs AKV (stapel A, figur 1).
- Emissioner som undviks i omvärlden på grund av att det sker en ökad elproduktion vid Sävenäs AKV (stapel B, figur 1) varpå en mindre mängd externt producerad el behövs. Marginalelproduktion i omvärlden undviks således.
- Den totala mängd värme som fjärrvärmesystemet kan ta emot är begränsad. Eftersom värme produceras vid förbränningen av SLF vid Sävenäs AKV kommer mängden värme som produceras någon annanstans inom fjärrvärmesystemet att minska. Detta innebär att emissionerna i fjärrvärmesystemet (exkluderat Sävenäs) kommer att minska eftersom behovet av övrig bränsleanvändning minskar (stapel C, Figur 1).
- Det minskade behovet av icke avfallsbaserad värmeproduktion i fjärrvärmesystemet kommer dock inte enbart att slå ut hetvattenpannor utan även kraftvärmeverk (KVV) som är kopplade till systemet. Den förlorade mängden el som tidigare producerats i dessa KVV måste därför kompenseras med externt producerad el, vilken ger upphov till emissioner i omvärlden (stapel D, Figur 1).
- Emissioner som undviks på grund av alternativ avfallsbehandling (deponering) ersätts (stapel E, figur 1).

I tabell 1 visas de emissionsfaktorer som används för de två olika omvärldsutvecklingarna ”Referens” och ”Materialsnål tillväxt”.

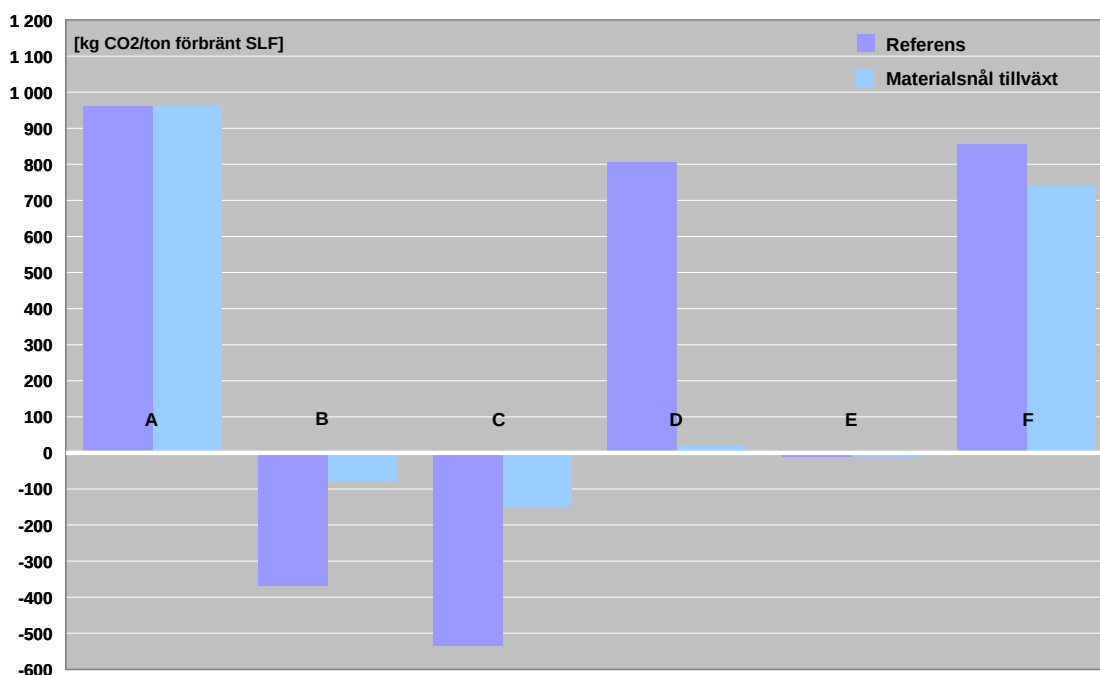
Tabell 1 Emissionsfaktorer och data som används för de två omvärldsutvecklingarna ”Referens” och ”Materialsnål tillväxt”. **A:** Direkta skorstensemissioner av CO₂ vid förbränning av den fossila delen av avfall. **B:** Emissioner som undviks genom att externt producerad el ersätts av el som produceras i förbränningsanläggningen. **C:** Emissioner som undviks genom att andra bränslen ersätts i fjärrvärmesystemet. **D:** Den lägre elproduktionen i fjärrvärmesystemet måste kompenseras med el som produceras externt. **E:** Emissioner som undviks då alternativ avfallsbehandling ersätts.

Table 1 Emission data that is used for the two different development paths “Reference Case” and “Material efficient growth”. **A:** Direct emissions of CO₂ from incineration (the fossil part of the waste). **B:** Emissions from replacing externally produced electricity by electricity produced from the incineration plant. **C:** Avoided emissions from replacing other fuels used in the district heating system. **D:** Electricity production in the district heating system is reduced which needs to be compensated with external electricity production. **E:** Avoided emissions from not depositing the waste at landfills.

Emissionspost	Referens	Materialsnål tillväxt	Enhet
A	390	960	kg CO ₂ /ton SLF
B	725	160	kg CO ₂ -ekv./MWh el
C	211	59	kg CO ₂ -ekv./MWh värme
D	0,44	0,05	MWh el/MWh värme
E	10	10	kg CO ₂ -ekv./ton SLF

Resultat

I figur 1 visas resultatet från systemanalysen uttryckt som mängden CO₂-ekv. per förbränt ton SLF. Resultatet visar att det totalt sett sker ett nettoutsläpp av växthusgaser för båda omvärldsutvecklingarna. Slutsatsen blir således att det ur ett växthusgasperspektiv inte finns någon miljövinst med att förbränna SLF jämfört med att deponera det. För ”Referens” (lila stapel F) är nettoutsläppen nästan 120 kg CO₂-ekv. större per förbränt ton SLF jämfört med omvärldsutvecklingen ”Materialsnål tillväxt”. Det bör observeras att vi här enbart har tagit hänsyn till mängden lättnedbrytbart träavfall i SLF. Om även mängden lättnedbrytbart textilavfall samt papper och kartongavfall i SLF beaktas så innebär detta att något mer emissioner kommer att undvikas till följd av SLF styrs bort från deponering. Stapel E i figur 1 kommer därmed att bli något mer negativ varpå Stapel F i figuren kommer att sänkas med motsvarande mängd. Bidragen från textil och papper och kartong förväntas dock bli små.



Figur 1. Emissioner som uppstår och emissioner som undviks på grund av förbränning av SLF (shredder light fraction). **A:** Direkta skorstensemissioner av CO₂ vid förbränning av den fossila delen av avfall. **B:** Emissioner som undviks genom att externt producerad el ersätts av el som produceras i förbränningsanläggningen. **C:** Emissioner som undviks genom att andra bränslen ersätts i fjärrvärmesystemet. **D:** Den lägre elproduktionen i fjärrvärmesystemet måste kompenseras med el som produceras externt. **E:** Emissioner som undviks då alternativ avfallsbehandling ersätts. **F:** Netto emissioner (summan av staplarna A-E).

Figure 1. Emissions that arise and emissions that are avoided due to incineration of SLF (shredder light fraction). **A:** Direct emissions of CO₂ from incineration (the fossil part of the waste). **B:** Avoided emissions from replacing externally produced electricity by electricity produced from the incineration plant. **C:** Avoided emissions from replacing other fuels used in the district heating system. **D:** Electricity production in the district heating system is reduced which needs to be compensated with external electricity production. **E:** Avoided emissions from not landfilling the waste. **F:** Net emissions (sum of bar A-F).

[1] Bisaillon M., Sundberg J., Haraldsson M., Norman Eriksson O., "Systemstudie Avfall i Göteborg". Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv. 2010.

[2] Nilsson K., Sundberg J., "Lagar, direktiv och styrmedel viktiga för avfallssystemets utveckling", WR 30-delprojekt C, 2009.

[3] Gyllenhammar M., Davidsson K., Jonsson T., Pettersson J., Victorén A., Andersson H., Widén C., "Energiåtervinning av brännbar fraktion från fragmentering av metallhaltigt avfall- Steg 2", WR 23- Slutrapport för granskning inom projektet 2010-01-26.

[4] Detaljerad projektplan för Waste Refinery projekt WR 08 Steg 2, 2009-02-03.

- [5] Gyllenhammer M., Victorén A., Niemi J., Johansson A.; Energiåtervinning av brännbar fraktion från fragmentering av metallhaltigt avfall, Etapp 1 WR 08, 2009.
- [6] Naturvårdsverket 2009, Uppföljning av deponeringsförbuden 2008 och 2009, Rapport 5996, november 2009.
- [7] Kutila Soile, Utilization of Shredder Light Fraction (SLF)- Possibilities and Obstacles, Master Thesis, Helsinki University of Technology, nov 2009
- [8] Avfall Sverige, Rapport U2009:06 Klimatpåverkan från import av brännbart avfall, ISSN 1103-4092, 2009.



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