

Systemstudie Avfall i Göteborg

**Delprojekt i Termisk och biologisk
avfallsbehandling i ett systemperspektiv**

Mattias Bisailon
Johan Sundberg
Mårten Haraldsson
Ola Norman Eriksson

Systemstudie Avfall i Göteborg

**Delprojekt i Termisk och biologisk
avfallsbehandling i ett systemperspektiv**

A systems study of the waste management system in Gothenburg

**Part of the project: Thermal and biological
waste treatment in a systems perspective**

Mattias Bisailon
Johan Sundberg
Mårten Haraldsson
Ola Norrman Eriksson

Projektnummer WR-21

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

Sammanfattning

Syftet med projektet *Systemstudie Avfall i Göteborg* har varit att ur ett systemperspektiv utvärdera nya och förbättrade tekniker för behandling av avfall för Göteborgs avfallshantering. Systemstudien fokuserar på utvecklingen av Göteborgs avfalls- och fjärrvärmesystem fram till år 2030. Arbetet med Systemstudie Avfall har pågått i 2,5 år med en arbetsgrupp bestående av representanter från Renova, Kretsloppskontoret, Göteborg Energi, Gryaab samt Profu. Arbetsgruppen har iterativt arbetat 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 dvs de slutgiltiga utvärderingar som genomförts för den framtida utvecklingen av avfallsbehandlingssystemet samt de metoder/modeller som tagits fram för denna utvärdering. I utvärderingen 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:

- I.** 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
- II.** Den nya teknik som ändå visar sig vara av störst ekonomiskt intresse är rötning av avfall. Detta gäller då under förutsättning att man står i behov av att utöka kapaciteten för att täcka det behov som finns för avfallsbehandling i regionen. Så är inte fallet idag, men i framtiden 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
- III.** 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 vilken på samma sätt tränger undan annan elproduktion i elsystemet

- IV.** 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
- V.** Resultatet för utsläpp av försurande ämne 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
- VI.** 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 mot 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
- VII.** Vid en jämförelse av en investering i en avfallspanna och 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 mot en avfallspanna
- VIII.** 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
- IX.** 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
- X.** 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 IX). 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. 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). Utvecklingsvägarna beskriver möjliga förändringar av avfallssystemet som beslutsfattare i Göteborg kan styra medan omvärldsutvecklingarna beskriver de randvillkor som beslutsfattarna måste anpassa sig efter. 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 röttningsanläggningen sätts till 60 000 ton avfall/år. Kapaciteten för förbränning blir därmed något lägre jämfört mot ”Business-as-usual”. Avloppsslammet återförs direkt till jordbruk som gödsel istället för att komposteras och 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 brännbart grov- och verksamhetsavfall som i ”Business-as-usual” går direkt till avfallsförbränning. Dessa krossade utsorterade avfallsbränslen förbränns i en ny förbränningsanläggning (avfallspanna-PTP¹) 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, förorening 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 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. Direkt efter tabell 4 återfinns figur 1 som återger samma resultat som i tabell 1-4, men i form av stapeldiagram. För den intresserade läsaren ger detta en något mer detaljerad beskrivning av resultaten.

¹ PTP: Utsorterade blandningar av papper, trä och plastblandningar

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 (●)

Ekonomi			
Omvärldsutveckling/ Utvecklingsväg	Referens	Materialsål 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 röttningsanläggning 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 avvattat 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 (●)

Klimatpåverkan			
Omvärldsutveckling/ Utvecklingsväg	Referens	Materialsål 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 röttningsanläggning. 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 mot en traditionell avfallsförbränningsanläggning, och dels på att man genom uppförandet av en slamtork ökar fjärrvärmebehovet i Göteborg. Därmed kan befintliga kraftvärmeverk nyttjas mer, vilket då genererar mer el.

Ser man till de totala emissionerna av växthusgaser i det studerade systemet (vilket omfattas av Renovas hela verksamhet, Göteborg Energis fjärrvärmeverksamhet samt hanteringen av rötat slam från Gryaab) så framgår att det två utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” reducerar emissionerna med 4 - 7 % (17 000 – 29 000 ton CO₂-ekv/år) jämfört mot 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 00 ton CO₂. Fallet ”Maximerad näringsåterföring” uppvisar samtidigt en lägre kostnad jämfört mot ”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 förurning 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 (●)

Förurning			
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 mot ”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 mot ”Business-as-usual” (se beskrivning ovan under klimatpåverkan). Därmed trängs annan elproduktion undan, vilken ger ett större utsläpp av försurande ämnen jämfört mot den elproduktion som sker i det studerade systemet. I utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” genereras ytterligare mer el jämfört mot ”Maximerad näringsåterföring” vilket ger ett något bättre resultat, skillnaden är dock inte större än att bägge betygssätt med en guldmedalj.

Jämfört mot ”Business-as-usual” beräknas det 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). I kostnad gäller för utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” att kostnaden för utsläppsminskningen är negativ, beroende på att denna utvecklingsväg ger ett bättre ekonomiskt resultat jämfört mot ”Business-as-usual”. För utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” beräknas kostnaden för utsläppsreduktionen beroende på omvärldsutveckling till 10-80 kr per ton försurande ämne som reduceras (räknat i SO₂-ekvivalenter). 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).

Tabell 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 (●)

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

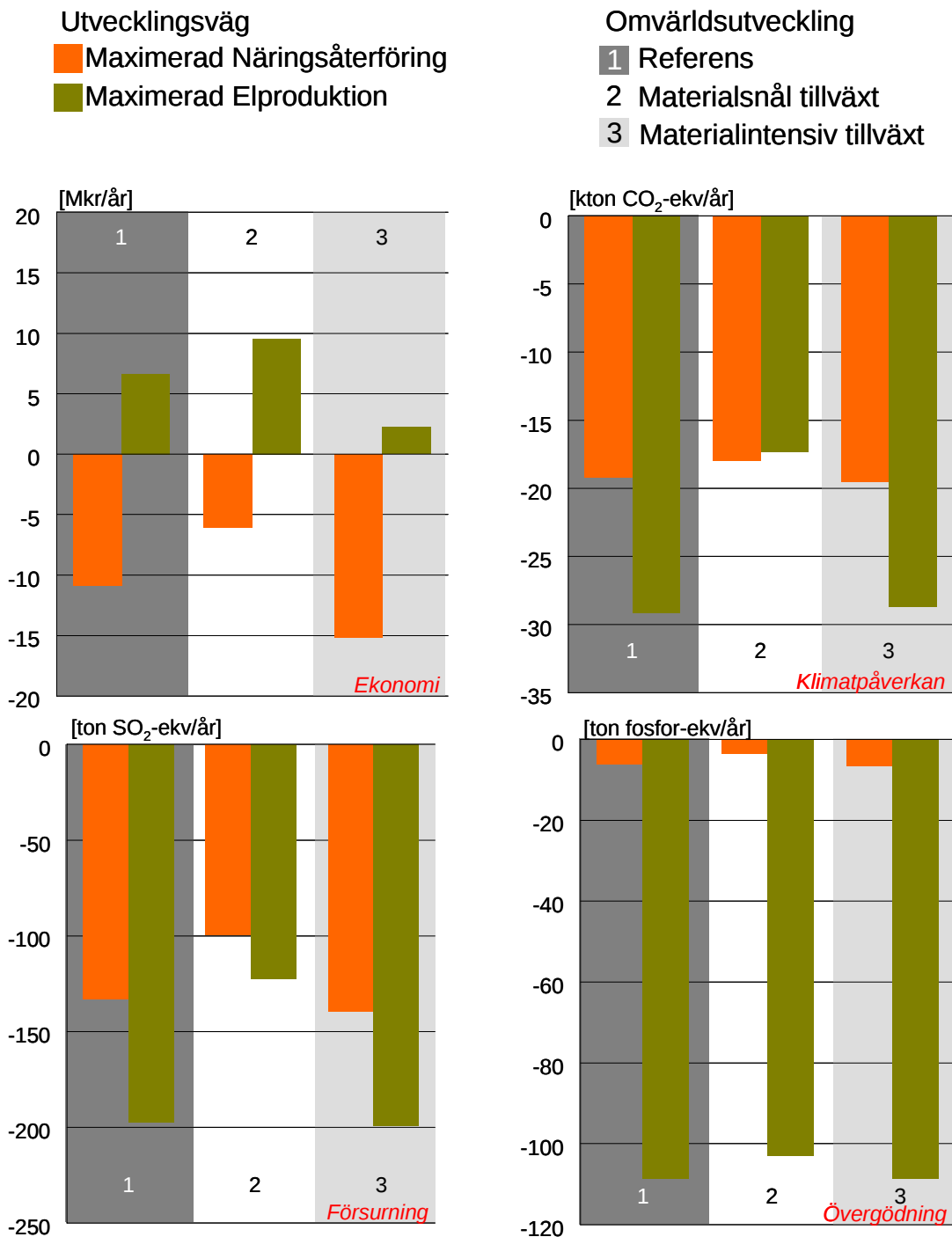
Ser man till övergödningspotentialen så framgår av tabell 4 att utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” ger det klart bästa resultatet. Orsaken är att man i detta fall upphör med kompostering av matavfall och slam, som sker i omvärldsutveckling ”Business-as-usual”, vilket ger utsläpp av ammoniak. Dessutom 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 mot "Business-as-usual" beräknas det 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 mot "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 (i det studerade systemet ingår från Gryaabs verksamhet endast rötat avvattnat avloppsslam).

Relativa skillnaderna mellan de studerade utvecklingsvägarna

I figur 1 ges en mer detaljerad beskrivning av resultaten. I dessa resultat framgår även hur stor skillnaderna är då olika utvecklingsvägar jämförs. För en mer utförlig förklaring av dessa resultat hänvisas läsarna till rapportens resultatkapitel.



Figur 1. Resultat för utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" jämfört mot "Business-as-usual".

Diskussion

Generellt kan sägas att resultaten är i likartade i de tre omvärldsutvecklingar som studeras. Detta medför att de resultat som tagits fram är tydliga och i detta sammanhang robusta. Omvärldsutvecklingarna i sig medför dock stora skillnader för avfallssystemet med avseende på avfallsmängder, kostnader, utsläpp m.m. men valet av hur avfallet bör behandlas är ändå likartad.

I projektet har flertalet känslighetsanalyser genomförts och några presenteras i rapporten. Generellt så bedöms resultaten som stabila och för frågeställningen tillräckligt noggrant analyserat men som i alla systemstudier så finns det en uppsättning osäkerheter i de analyser som gjorts. Här kan nämnas att vi inte analyserat hur det ekonomiska utfallet påverkas av om konkurrenssituationen för avfallsbehandlingsanläggningarna förändras. Det är här viktigt att komma ihåg att detta är ett forskningsprojekt som pekar ut ett antal intressanta framtida behandlingsalternativ. Samtidigt erbjuds här inte ett fullständigt underlag för investeringsbeslut för någon ny teknik. För detta skulle främst krävas mer omfattande ekonomiska riskanalyser. Vidare gäller att analysen utförts baserat på dagens skattesystem. Dessutom bör nämnas att det alltid är svårt att finna tillförlitliga och riktiga tekniska och ekonomiska indata för nya tekniker. Dessa data kan vara både överskattade, genom en övertro på den nya tekniken och underskattade, genom att en utveckling av tekniken på sikt kan ge både lägre kostnader och bättre prestanda. När de gäller resultaten för klimatpåverkan har antaganden om utvecklingen av elsystemet en stor påverkan. Om den framtida elproduktionen i Nordeuropa blir mer klimatneutral minskar värdet av att generera el i Göteborg, och vice versa. Resultaten för försurning och övergödning kan vara svåra att tolka då dessa miljöproblem är lokala eller regionala vilket innebär att den faktiska påverkan beror av var utsläppen sker. Detta beaktas ej i de systemresultat som tagits fram, däremot beskrivs detta mer i rapporten.

Här bör också nämnas att vi i detta projekt valt att analysera flera, men inte alla möjliga värderingsaspekter för avfalls- och energisystemet. Som exempel på exkluderade aspekter kan nämnas toxiska effekter på människa och miljö samt brukarperspektivet. Vi har heller inte inkluderat effekter av att vissa naturresurser så som biobränsle och fosfor kan ses som begränsade resurser.

Avslutningsvis kan man även konstatera att de tre omvärldsutvecklingarna som tagits fram tillsammans med medverkande parter i Göteborg speglar tre utvecklingar med stora skillnader. Ett flertal parametrar har tagits fram för denna beskrivning men det som framförallt ger upphov till de stora skillnaderna mellan omvärldsutvecklingarna är den mängd avfall kommer att behandlas år 2030. De tre utvecklingarna för avfallsmängden har bedömts som fullt möjliga och rimliga men skiljer sig ändå åt markant. Fram till 2030 ökar uppkommen avfallsmängd i omvärldsutvecklingarna (innan utsortering till materialåtervinning) som lägst med 24 % (vilket motsvarar befolkningsökningen i regionen) och som mest med nästan 80 %. Jämför vi omvärldsutvecklingarna med varandra kan vi se mycket stora skillnader i både kostnader och miljöpåverkan och att ta fram åtgärder för att minska avfallsmängderna är, jämfört med att välja rätt behandlingsalternativ, en central och viktig fråga för samhällets långsiktiga utveckling. I denna studie är dock valet av behandlingsalternativ i fokus och trots dessa stora skillnader i omvärldsutvecklingen så påverkas valet av behandlingsalternativ relativt lite.

Läsanvisning

Rapporten är indelad i totalt sex kapitel. I kapitel 1 (Inledning) beskrivs målet och syftet med detta projekt och i kapitel 2 (Bakgrund) finns en historisk beskrivning av ämnet systemanalys av avfallshantering. Vidare i kapitel 3 (Modeller och metodik) beskrivs vad som i detta projekt innefattas i begreppet systemanalys, hur projektet är avgränsat samt vilka modeller som nyttjats för analyserna. Här finns också en beskrivning av de miljöpåverkanskategorier som studerats i projektet. Kapitel 4 (Förutsättningar och studerade utvecklingsalternativ i Göteborg) beskriver hur arbetet lagts upp och genomförts, vilka utvecklingsalternativ för Göteborgs avfallshantering som studerats (Utvecklingsvägar) samt hur omvärlden till Göteborg kan se ut år 2030 (Omvärldsutvecklingar). I kapitel 5 (Resultat) återfinns resultaten som tagits fram i de slutgiltiga analyserna i projektet. Här återfinns 9 huvudresultat för olika utvecklingsvägar och omvärldsutvecklingar samt ytterligare 8 känslighetsanalyser. Avslutningsvis i kapitel 6 (Slutsatser och diskussion) återfinns en summering av de resultat som kommit fram ur projektet samt en diskussion kring dessa tillsammans med en belysning av osäkerheter som finns i analyserna.

Summary

The purpose of the project *A system study of waste management in Gothenburg* is to evaluate new waste treatment options for municipal and industrial waste from a system perspective. The project has been carried out as a part of the project *Thermal and biological waste treatment in a systems perspective* – WR21. The focus is set to the waste and district heating system in Gothenburg. The project has been running for 2,5 years with an active group consisting of persons from Renova, Kretsloppskontoret, Göteborg Energi, Gryaab and Profu. The work on development of models and of methods of handling strategic questions within the field has gone back and forth within the group. This report focuses on presenting the final results from the project, which means that the process in which we've excluded several treatment options and scenarios are only briefly described.

In this summary we present the results of the project within three steps. First, we present 10 main conclusions. Secondly, we present scoreboards for the results of the studied local scenarios. The scores are given for the four different parameters economy, climate, acidification and eutrophication. Finally the results for the local scenarios are being presented in more detail by using bar charts. Following the presentation of the results is a discussion of the relevance and the uncertainties within the results.

Ten conclusions from the project:

- I. From an economic point of view, new waste treatment technologies have difficulties in the competition with the type of treatment options that already exists in Gothenburg today. The conclusion holds even when comparing new investments in new or existing technologies
- II. Having said so, we can consider that the only new technology found to be economically competitive to existing treatment options are anaerobic digestion of food waste. The conclusion holds for a situation when the treatment capacity has to increase in order to meet the demand in the region. This is not the situation of today, but it is most likely that the situation will arise in future because of increased demand for waste treatment or because the existing treatment facilities become too old.
- III. Increasing the share of electricity produced from incineration of waste is a clear advantage in order to realize a decrease of emissions of climate gases. This is partly because the fact that the electricity produced from the incinerator keep out other electricity production with higher emissions of climate gases. A second positive factor is that a higher share of electricity production results in a minor share of district heat production, which in turn results in increased production in other combined heat and power plants in the district heating system. Thereby even more electricity is being produced within the system, keeping out other electricity production with higher emissions of climate gases.
- IV. Another good way to reduce climate gases is to produce biogas from waste and use it within the transport sector. The reason for this is partly that the biogas is used as a substitute for fossil fuels, but it is also because of the fact that the need for waste

incineration is decreased. As described above, this lead to increased use of other combined heat and power plants within the district heating system, resulting in more electricity produced from the system.

- V.** Results from the project show that today's composting of food waste and anaerobic digested sludge from wastewater treatment result in emissions of acidifying substances. A better option for treatment of food waste is anaerobic digestion followed by spreading of the digestate on agricultural land as fertilizer. The sludge should also be utilised as fertilizer, or alternatively used as fuel in waste incineration.
- VI.** In a comparison between source separation and central sorting of food waste, the latter turns out to be a better choice when regarding economic aspects. The main reason for this is that the capital costs related to central sorting are lower compared to the costs for a system with sources separation of the food waste. Regarding the environmental aspects, the two systems are almost equal. Uncertainties within the results primarily concern the performance of a central sorting system. Even though it's not evident, the assumption made is that the sorted fractions from the central sorting facility hold an equal quality with the one from a source separation system
- VII.** When comparing waste incineration with gasification of waste the latter turns out to be in favour regarding emissions of climate gases. On the other hand, waste incineration is by far the best choice when regarding economy. The reason for the good result for gasification of waste when comparing emissions of climate gases is first of all that the district heat output from the technique is much lower than the output from waste incineration. As described earlier, this result in increased electricity production within the district heating system, keeping out other electricity production with higher emissions of climate gases. Secondly, gasification of waste by itself has a higher output of electricity compared to waste incineration
- VIII.** In the analysis we've blocked the possibility of importing waste to the system in study. This restriction has been evaluated in a sensitive analysis, which shows that import of waste for treatment in waste incineration within the system give positive effects on the emissions of climate gases. The main reason for this is that the import of waste results in a decrease of the amount of waste going to landfills outside the system. Since landfilling of organic waste result in high emissions of climate gases it is highly desired to decrease this activity.
- IX.** Composting of food waste and anaerobic digested sludge from wastewater treatment also result in emissions of substances that leads to eutrophication. However, spreading digested sludge and digestate from anaerobic digestion of food waste on agricultural land will also lead till eutrophication. From this perspective, it is better to use the digestate as fuel in waste incineration
- X.** In a sensitive analysis regarding handling of anaerobic digested sludge the result shows that the best treatment method from an economic point of view is to spread the sludge on agricultural land. As discussed above (in conclusion IX), when considering eutrophication it is better to use the sludge as fuel in waste incineration. The different treatment options studied for sludge gives equal results when concerning acidification and emissions of climate gases

Ranking for the analysed local scenarios

As mentioned above the focus in the study has been the waste treatment and district heating system in Gothenburg. However, to generate a fully system analysis one also has to consider effects that occur in surrounding systems, such as the transport sector, the electricity production system, the agricultural sector etc. In this study; two different types of scenarios that reflects the situation of year 2030 has been set up: local scenarios and external scenarios. In a local scenario we define the waste treatment processes that are assumed to be in operation in Gothenburg's waste treatment system in year 2030 (e.g. waste incineration, anaerobic treatment). Furthermore, an external scenario reflects the situation in the surrounding systems (e.g. price of electricity, fuels and CO₂-allowances). The local scenarios thereby describe developments that the actors in Gothenburg can influence, while the external scenarios describe developments that the actors have to adapt to.

The main principals of the local scenarios that have been set up are as follows:

- **Business-as-usual:** This local scenario is characterized of a traditional development of the waste treatment system in Gothenburg, i.e. a significant share of waste incineration. The capacities in existing facilities are adapt to the amount of waste that are assumed to arise in year 2030. Today's central composting is still used for treatment of biological degradable waste from households. Sludge from the wastewater treatment plant is first treated in an anaerobic treatment facility, thereafter composted and finally sold as a soil product.
- **Maximized return of nutrients:** In this local scenario more of the arising waste is treated in biological treatment facilities, compared to "Business-as-usual". The capacity of the sources separating system in Gothenburg is expanded and an anaerobic treatment facility is built that replaces the central composting. The capacity of the anaerobic treatment facility is set to 60 000 tonnes/year. The capacity of waste incineration is thereby decreased in comparison to the case in the local scenario "Business-as-usual". Sludge from the wastewater treatment plant is treated in an anaerobic treatment facility and thereafter used as fertilizer in the agricultural sector.
- **Maximized electricity production:** the source separation system is expanded and an anaerobic treatment facility is being built, similarly to the local scenario "Maximized return of nutrients". Furthermore a part of the combustible waste is going through a mechanical treatment process to create a refuse derived fuel. This fuel is used in a new waste incineration facility with a slightly higher electrical efficiency than the existing ones. Sludge from the wastewater treatment plant is treated in an anaerobic treatment facility. Thereafter the sludge is dehydrated and turned into pellets that are used as fuel in the new waste incineration facility.

In table 1-4 aggregated results of the analysis for the three local scenarios is presented. Each local scenario has been evaluated from the four different aspects: economy, climate, acidification and eutrophication. The results are shown in scoreboards where the three scenarios will be given a gold, silver or bronze medal. The local scenario with the best result receives a gold medal while the worst result receives a bronze. The interval between these two results is then split into three. If the result for the local scenario not yet given a medal is placed in the upper third of the interval, the scenario receives a gold medal, a result in the middle interval return silver, while a result in the lower third gives a bronze

medal. Following the scoreboard is a text that describes the results. The same results are also given in bar charts next after the four tables.

Table 1. Scoreboard for the economic results from the systems study. The choices for development of the waste management system (the local scenarios) are compared to each other and scored by gold (●) silver (●) and bronze (●) bullets.

Economy			
External scenario/ Local scenario	Referens	Materialsnål tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad näringsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

From the economic aspect, the local scenario “Maximized return of nutrients” present the best result irrespective of which external scenario that is being studied. Factors that contribute to this result are revenues for sold biogas to the transport sector and avoided costs for expanding the waste incineration capacity. It’s important to remember that we’ve been studying a situation around year 2030, which means that new investments in waste treatment capacity must come in place in order to meet a rise in waste amounts. This is another situation compared to today where existing treatment capacity is enough to meet the demand in the region.

The result is sensitive to some input data, where of one can mention the price of biogas, the investment costs for anaerobic treatment and waste incineration, the transport costs for wastewater sludge and sludge from anaerobic treatment to the agricultural sector and the costs for the source separation system.

Table 2. Scoreboard for the results of emissions of climate gases from the systems study. The choices for development of the waste management system (the local scenarios) are compared to each other and scored by gold (●) silver (●) and bronze (●) bullets.

Climate gases			
External scenario/ Local scenario	Referens	Materialsnål tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad näringsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

Table 2 shows that the local scenario "Maximerad elproduktion" receives the best results for emissions of climate gases. Also "Maximerad näringsåterföring" receives good results. The local scenario "Maximerad näringsåterföring" receives better results compared to "Business-as-usual" partly because this scenario includes production of biogas that keep out the use of fossil fuels in the transport sector. A second reason is that more electricity is generated within the system that keeps out electricity production outside the system with higher emissions of climate gases. The reason for the increased electricity production is that new waste treatment capacity partly consists of a facility for anaerobic digestion, which decreases the need for investments in waste incineration. With less waste incineration, more district heat will be produced from other combined heat and power plants within the district heating system. These units have a higher electrical efficiency compared to waste incineration, thus more electricity will be produced within the system. The local scenario "Maximerad elproduktion" receives even better results for emissions of climate gases. The reason for this is that in this scenario the electricity production from the system increases even further. This is partly because we in this scenario study the effects of investing in a waste incineration facility with higher electrical efficiency compared to existing. This is also because this scenario includes investments in a sludge dryer, heated by district heat. This causes an increase in the heat demand, thereby combined heat and power plants within the district heating system may run during a longer period of time.

The local scenarios "Maximerad näringsåterföring" and "Maximerad elproduktion" reduces the emissions of greenhouse gases by 4 -7 % (17 000 – 29 000 tonnes CO₂-eqv/year) compared to "Business-as-usual". Another figure to relate to is the total emissions of CO₂ from Göteborg Energi, which in 2009 amounted to 545 000 tonnes CO₂. As seen before, the local scenario "Maximerad näringsåterföring" yield a decrease in the system cost, in other words the cost for reducing the emissions of greenhouse gases by choosing this path is negative. In contrast the system cost increases by the local scenario "Maximerad elproduktion", hence the cost for reducing greenhouse gases by the measures stapled in this scenario can be calculated to between 80 and 550 SEK/tonne CO₂ (depending on which external scenario you choose to study).

Table 3. Scoreboard for the results of acidification potential from the systems study. The choices for development of the waste management system (the local scenarios) are compared to each other and scored by gold (●) silver (●) and bronze (●) bullets.

Acidification			
External scenario/ Local scenario	Referens	Materialsnål tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad närlingsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

Table 3 returns the results for Acidification, which state that the local scenarios “Maximerad näringsåterföring” and “Maximerad elproduktion” from this perspective both are clearly better than “Business-as-usual”. The main reason for this is that the waste treatment method composting only exists in the local scenario “Business-as-usual”. This method emits ammonia that causes acidification. Another reason is that more electricity is produced within the system. Thereby electricity production outside the system decreases, the production that is kept out emits sulphur that causes acidification. The result for the local scenario “Maximerad elproduktion” is slightly better than the result for “Maximerad näringsåterföring”, as more electricity is being produced within the system.

Compared with “Business-as-usual” the acidifying emissions are decreased by 18 % by the local scenario “Maximerad näringsåterföring” and by 26 % by “Maximerad elproduktion”. The reduction cost is negative for “Maximerad näringsåterföring” and is calculated to 10-80 SEK/tonne acidifying emission by the local scenario “Maximerad elproduktion”.

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. Scoreboard for the results of eutrophication potential from the systems study. The choices for development of the waste management system (the local scenarios) are compared to each other and scored by gold (●) silver (●) and bronze (●) bullets.

Eutrophication			
External scenario/ Local scenario	Referens	Materialsnål tillväxt	Material- intensiv tillväxt
Business-as-usual	●	●	●
Maximerad näringsåterföring	●	●	●
Maximerad elproduktion	●	●	●

Table 4 presents the results for eutrophication, which shows that the local scenario "Maximerad elproduktion" clearly gives the best result. The reason for this is that neither composting of food waste or sludge from wastewater treatment, nor spreading of the sludge on agricultural land take place. Instead the sludge is dried and used as fuel in waste incineration. Thereby almost all nitrogen within the sludge is caught in the flue gas cleaning system and the eutrophication effects decrease.

Compared with "Business-as-usual" the eutrophying emissions are decreased by 30 % by the local scenario "Maximerad elproduktion". The cost for this reduction is calculated to 20-90 SEK/tonne eutrophying emission. It can be mentioned that the local scenario "Maximerad näringsåterföring" result in a decrease in the emissions by 1-2 % compared with "Business-as-usual".

It should be mentioned that today's knowledge about leakage of nitrogen from agricultural land when biological fertilizers are being used is limited. This gives that the results for eutrophication from the local scenario "Maximerad näringsåterföring" is quite unstable. Furthermore, we emphasize that the total emissions of eutrophying emissions from the system is quite small, around 300 tonne phosphor-eqv./year). This can be compared with the total emissions from the wastewater treatment facility owned by Gryyab of around 1 500 ton phosphor-eqv./year)

Detailed results for the analysed local scenarios

Figure 1 presents more detailed results for the three different local scenarios analysed within three different external scenarios. This presentation gives a better understanding of the differences in the results for the scenarios.

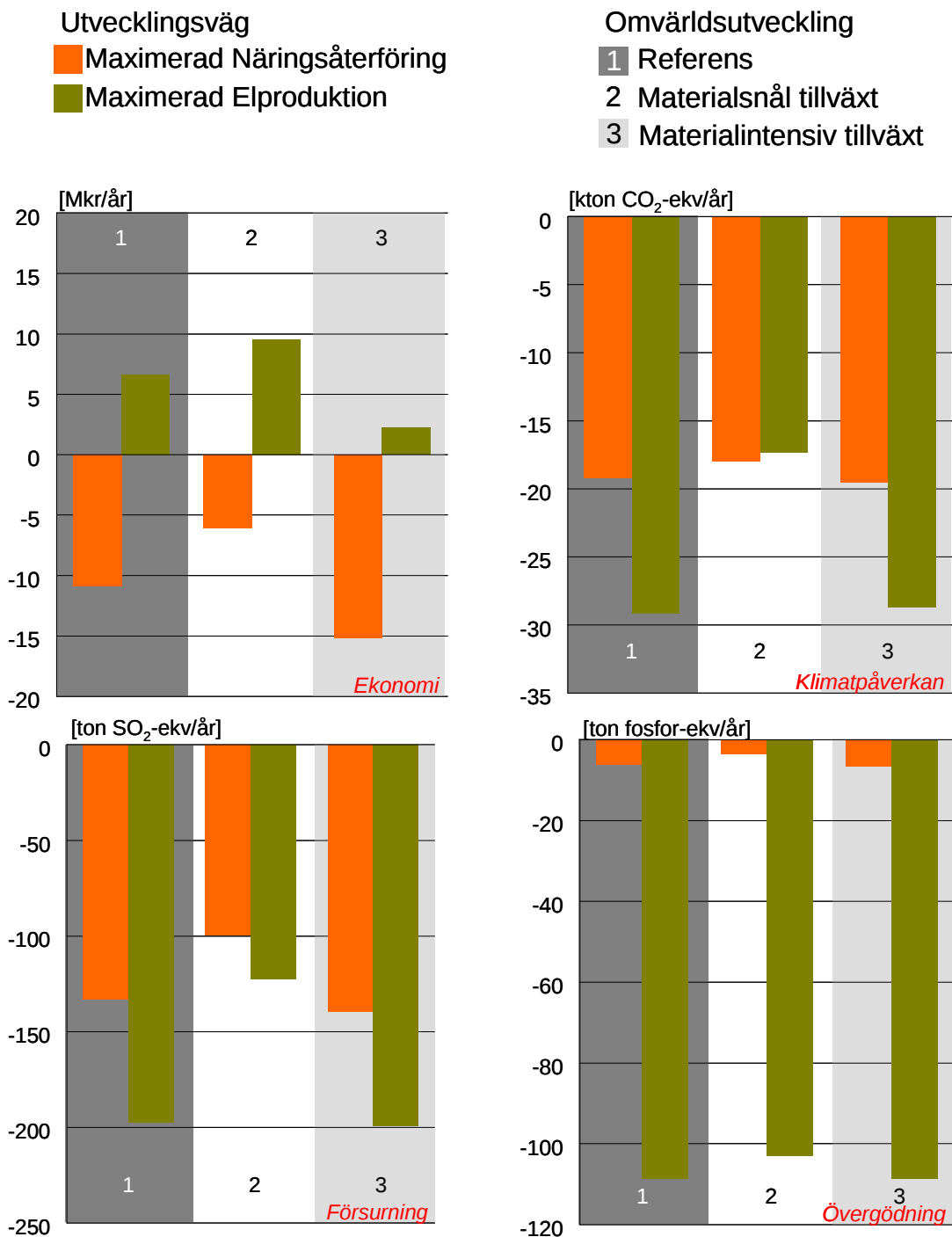


Figure 1. Results for the local scenarios "Maximerad näringsåterföring" and "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual".

Discussion

In general we can conclude that the results are almost equal irrespective of which external scenario we choose to study. This means that the results hold even though changes occur in the surrounding systems. The external scenarios differ significantly and create varied prerequisites for the waste treatment system; nevertheless the results show that the same treatment methods should be chosen.

Having said so, we also have to be aware of the uncertainties that exist in the analysis. For example we've not studied how the economic results would react from a change in competitiveness for the waste treatment facilities. It is also important to notice that this, first of all, is a scientific project which points out interesting future waste treatment technologies. This means that the result should not be seen as a comprehensive material for an investment decision. Furthermore, the analysis is based on today's tax system, which of course is a simplified description of the situation of year 2030. It should also be noticed that it's difficult to find valuated data for new techniques. The data can both be overestimated, caused by too ambitious thoughts regarding the technique, and underestimated as further developments of the technique can result in decreased costs and increased performance. Regarding the results for the aspect of climate change the assumptions for the development of the electricity production system plays a significant role. If the electricity production in northern Europe will transform into a system with less emissions of carbon dioxide the worth of electricity production in Gothenburg will decrease, and vice versa. Furthermore the results for acidification and eutrophication are difficult to interpret as these environmental problems are regional and not global. Therefore the question of where the emissions are made becomes essential. This fact has not been taken into consideration in the main results, however an alternative analysis has been made that describes this factor in more detail.

We will emphasise that we in this project analyses many but not all aspects for the waste treatment and district heating system. For example we don't include toxic effects or the consumer perspective. Furthermore, we have not included effects from the fact that some natural resources used within the system may be limited on a global scale; this is for example the case for phosphor and biofuels.

Finally we conclude that the three external scenarios that have been created within the project reflect three very different outcomes of the situation in 2030. Most significant we see large differences in the amount of waste that arise and needs treatment. The increase of waste differ from +24% up to +80%, compared to the situation of today. This results in large differences in the costs and environmental effects for the waste treatment system. A conclusion from this is that minimization of the increase of waste is essential for a more sustainable development of the society. However, in this project the focus is set on different waste treatment options and we see that, regardless of the amount of waste that arise, the choice of waste treatment method are stable.

Reading the report

The report is divided into six chapters. Chapter 1 (Introduction) describes the aim and purpose of the project while chapter 2 (Background) gives a historic description of the field system analysis for waste treatment. Furthermore, chapter 3 (Models and Methods) describes the limits of the system analysis and the models that's been used in the project. This chapter also contains a description of the environmental aspects used in the analysis. Chapter 4 (Conditions and analysed scenarios in Gothenburg) describes how the work has proceeded and which local and external scenarios that has been set up for the analysis. In chapter 5 (Results) the results from the analysis are presented and finally, in chapter 6 (Conclusions and Discussion) we summarize the results and discuss certain conclusions and parameters that have a major impact of the results.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	V
SUMMARY	XV
ORDLISTA, PREFIX OCH KEMISKA BETECKNINGAR	XXVI
1 INLEDNING	32
1.1 MÅL OCH SYFTE	32
2 BAKGRUND	35
3 MODELLER OCH METODIK	37
3.1 SYSTEMAVGRÄNSNING OCH SCENARIER – ALLMÅN BESKRIVNING	37
3.2 ORWARE – ALLMÅN BESKRIVNING	41
3.3 MARTES – ALLMÅN BESKRIVNING	43
3.4 MILJÖPÅVERKAN	44
4 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH STUDERADE UTVECKLINGSLTERNATIV GÖTEBORG	I 48
4.1 SYSTEMSTUDIE AVFALL	48
4.2 METODIK OCH ARBETSGÅNG	49
4.3 SCENARIER FÖR DEN FRAMTIDA UTVECKLINGEN	52
4.4 FUNKTIONELLA ENHETER	69
4.5 KONSEKVENSER FRÅN VALD SYSTEMGRÄNS SAMT ALTERNATIV SYSTEMGRÄNS	70
4.6 REDOVISNING AV ÖVRIGA INDATA	71
4.7 MKB-PERSPEKTIVET	72
5 RESULTAT	74
5.1 HUVUDRESULTAT	74
5.2 KÄNSLIGHETSANALYSER	102
5.3 RESULTATEN UR ETT FJÄRRVÄRMEPERSPEKTIV	115
6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION	121
LITTERATURREFERENSER	130

Bilagor

- A Ett urval tidigare projekt med ORWARE-modellen**
- B Centrala indata för avfallssystemet**
- C Avfallsflödesdiagram**
- D Centrala indata för fjärrvärmesystemet**

Ordlista, prefix och kemiska beteckningar

AKV: Avfallskraftvärmeverk

AvfallsAtlas: Kunskapsdatabank om avfallsmängder, avfallens sammansättning och kemiska egenskaper, behandlingskapaciteter, tekniska data om nya tekniker m.m. som byggts upp och ägs av Profu

Avfallsbehandlingssystemet: Alla befintliga tekniker för avfallsbehandling (förbränning, biologiskbehandling, förädling mm) inklusive olika typer av förbehandling och efterbehandling t.ex. sorteringsanläggningar för brännbart avfall eller t.ex. slaggsortering. Inkluderar även möjliga framtida processer som är av intresse att studera för det framtida behandlingssystemet. Systemgränsen är i princip densamma som definierats för Waste Refinery, dvs. systemet för termisk och biologisk avfallsbehandling av olika typer av organiskt avfall inklusive kringprocesser till dessa behandlingsmetoder.

Avfall som ingår i studien: Här ingår det avfall som idag behandlas i Göteborgs avfallsbehandlings- och avloppsreningssystem. Vi har därmed inte satt något geografisk gräns för avfallet. Detta innebär att avfall som uppkommer inom Göteborg men som skickas för behandling utanför kommunen inte ingår, medan avfall som idag inhämtas utanför Göteborg för behandling i Göteborg ingår. Utsorterat producentansvarsmaterial ingår därmed inte då detta inte behandlas i Göteborg. Antaganden har gjorts kring hur den ingående mängden avfall kommer att utvecklas fram till år 2030, dvs vilken avfallsökning vi kommer att ha.

Avfallsförgasning: Anläggning som förgasar avfall. Gasen nyttjas därefter som bränsle för att generera el och värme (gasen kan även nyttjas för produktion av fordonsdrivmedel men detta har ej analyserats inom detta projekt). I jämförelse mot en traditionell avfallsförbränningsanläggning har denna anläggning en högre elverkningsgrad men en lägre totalverkningsgrad. I dagsläget finns ingen anläggning av denna typ i kommersiell drift.

Avfallspanna-PTP: Avfallsförbränningsanläggning som kan elda en utsorterad avfallsfraktion som främst består av papper, trä och plast (=PTP). Anläggningen dimensioneras med något högre ångdata jämfört med en traditionell avfallspanna vilket ger en något högre elverkningsgrad. I gengäld blir anläggningen mer känslig för kvalitén på det bränsle som används. Investeringskostnaden för denna anläggning är något lägre jämfört med motsvarande traditionell avfallsförbränningsanläggning.

Avfallspanna-RT: Avfallsförbränningsanläggning som kan elda en utsorterad avfallsfraktion som främst består utsorterat träavfall (RT=returträ). Anläggningen dimensioneras med något högre ångdata jämfört med en traditionell avfallspanna vilket ger en något högre elverkningsgrad. I gengäld blir anläggningen mer känslig för kvalitén på det bränsle som används. Investeringskostnaden för denna anläggning är något lägre jämfört mot motsvarande Avfallspanna-PTP.

Arbetsgruppen: Består av representanter från Renova (Ola Ståleby, Lia Detterfelt, Katarina Pettersson), Kretsloppskontoret (Jessica Granath, Peter Aarsrud, Stina Moberg),

Göteborg Energi (Ann-Marie Lindell, Göran Andersson, Mats Nilsson), Gryaab (Ola Fredriksson) och Profu (**P**rojektinriktad forskning och **U**tveckling i Göteborg AB) (Johan Sundberg, Mattias Bisaillon, Mårten Haraldsson, Ola Norrman Eriksson, Karolina Nilsson). Arbetsgruppens roll har varit att fungera som bollplank, att ta fram indata till analyserna samt att kritiskt granska de resultat och analyser som tagits fram i projektet. Arbetsgruppen har också varit delaktig i framtagandet av utvecklingsvägar och omvärldsutvecklingar och tillsammans med Profu beslutat vilka analyser som slutgiltigt skall genomföras.

Basår: Avser år 2007 inom detta projekt.

Biogödsel: Restprodukt från rötning av mat- och livsmedelsavfall som nyttjas som gödsel inom jordbruket

Bränsleförädling: Avfall genomgår någon form av mekanisk sortering, krossning pelletering etc vilket genererar ett bränsle som är av en högre kvalitet än det ursprungliga avfallet.

Business-as-usual: Utvecklingsväg som karaktäriseras av en ”traditionell utveckling” i Göteborg med stor andel termisk behandling.

CO₂-ekv.: Koldioxidekvivalenter. Växthusgasemissioner från metan och dikväveoxid har översatts till motsvarande mängd koldioxidemissioner. Metanemissionerna multipliceras med faktorn 25 och dikväveoxidemissionerna multipliceras med faktorn 298 (faktorerna kommer från IPCCs Fourth Assessment Report).

COD: Chemical Oxygen Demand är ett mått på den mängd syre som förbrukas vid fullständig kemisk nedbrytning av organiska ämnen i vatten.

Central matavfallssortering: Hushållen sorterar inte själva ut en matavfallsfraktion. Matavfallet följer istället med den ”vanliga soppåsen” till en behandlingsanläggning där matavfallet sedan sorteras ut centralt.

Decoupling effekt: att avfallsmängderna inte längre ökar i samma takt som den ekonomiska tillväxten.

Fritt anläggning: Bränslepriser för fritt anläggning innebär det pris som bränslet kostar vid bränsleinköparens anläggningsgrind. I priset inkluderas således transportkostnader.

Funktionella enheter: För att kunna jämföra två olika system och avgöra om det ena systemet är bättre än det andra måste systemen antingen uppfylla samma behov eller kunna relateras till samma funktion. Vid användandet av funktionella enheter utgår man inte från själva systemet utan från den nytta som uppnås genom att använda systemet. I denna studie används flera olika funktionella enheter däribland: att en viss mängd avfall skall behandlas, en viss mängd fjärrvärme skall produceras mm.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Inert fraktion: En fraktion i avfallet som inte påverkas av termisk eller biologisk behandling, exempelvis sten och betong

Kompostering: Nedbrytning av organiskt material med syretillskott vilket ger koldioxid, vatten samt en jordprodukt innehållande näringsämnen (gödsel)

Källsortering: Hushållen sorterar själva ut en matavfallsfraktion (i en kompostpåse eller en påse som kan rötas). Insamlingen av avfallet sker i ett flerfacksfordon där matavfall hamnar i ett fack och hushållens restavfall (det som finns kvar i den valiga soppåsen) hamnar i ett annat fack.

LCA: Livscykelanalys (life cycle assessment). Emissioner från en produkts hela livscykel (från vaggan till graven) beaktas.

LP: Linjärprogrammeringsmodell

MIT: Omvärldsutvecklingen ”Materialintensiv tillväxt”.

MKB: Miljökonsekvensbeskrivning.

MST: Omvärldsutvecklingen ”Materialsnål tillväxt”.

MSW: Municipal solid waste.

MÅV: Materialåtervinning.

Marginalesproduktion: Den mix av bränslen och elproduktionstekniker som används för att producera den sista tillkommande enheten i el-systemet. Traditionellt brukar man säga att kolkondensdrift ligger på marginalen. Inom detta projekt består dock marginalesproduktionen av fler olika bränslen och produktionstekniker.

MARKAL: Energisystemmodell för det nordiska energisystemet som används för att beräkna den alternativa elproduktionen.

MARTES: Modell som används för att analysera fjärrvärmesystemet.

Materialintensiv tillväxt: Omvärldsutveckling som karaktäriseras av att vi får en ekonomisk tillväxt i samhället som överstiger den ekonomiska tillväxten i de båda andra omvärldsutvecklingarna (”Referens” och ”Materialsnål tillväxt”). I ”Materialsnål tillväxt” får vi även fortsättningsvis en ökad konsumtion av materialbaserade produkter och därmed även en ökad avfallsmängd i proportion till tillväxten.

Materialsnål tillväxt: Omvärldsutveckling som speglar en utveckling där samhället i stort sätter ett stort värde på att långsiktigt minska miljöbelastningen och att man successivt via styrmedel och ändrade värderingar även uppnår tydliga miljömässiga förbättringar jämfört med dagens system. Den viktigaste förändringen för denna studie är att vi antar att trenden med ökande avfallsmängder bryts så att vi får en s.k. decouplingeffekt. Men utvecklingen innehåller även energibesparingar och tuffare miljömål vilket får en påverkan på systemstudiens resultat.

Maximerad elproduktion: Utvecklingsväg där det sker en förskjutning mot rötning och utsortering av avfallsbränslen jämfört med utvecklingsvägen ”Business-as-usual”.

Maximerad näringsåterföring: Utvecklingsväg där det sker en förskjutning mot en större andel biologisk behandling jämfört med utvecklingsvägen ”Business-as-usual”.

Miljöbalken: Samling av författningar på miljövårdsområdet. Trädde i kraft i januari 1999.

Miljöpåverkanskategorier: I detta projekt avses klimatpåverkan, förorening och övergödning.

NEP: Nordic Energy Perspectives. Forskningsprojekt med det övergripande målet att påvisa möjligheter för att nå en starkare och hållbar tillväxt och utveckling i de nordiska länderna.

NPK: Näringsämnenäna Kväve (N), Fosfor (P) och Kalium (K).

OMV: Omvärlden till Avfallsbehandlingssystemet (AS) och Fjärrvärmesystemet (FS)

Omgivningens system: Avfallsbehandling utanför Göteborg, Materialmarknader, Jordbruket, Transportbränslemarknader, Bränslemarknader, Elsystemet och Fjärrvärmesystemet.

Omvärldsutvecklingar: Omvärldsutvecklingen beskriver det samhälle som avfallssystemet och fjärrvärmesystemet ska ingå i dvs. en beskrivning av vilka krav och möjligheter som externt sätts på dessa två system (t.ex. elpris, uppkomna avfallsmängder, pris på utsläppsrätter för CO₂). Förändringarna i omvärlden kan inte påverkas, vi kan endast anpassa oss efter det. De tre omvärldsutvecklingarna som studeras är Referens, Materialsnål tillväxt och Materialintensiv tillväxt.

Organiskt avfall: Här avses både brännbart och biologiskt nedbrytbart avfall.

ORWARE: Beräkningsmodell för avfallssystemet.

PTP: papper, trä, plast

REF: Förkortning för omvärldsutvecklingen ”Referens”.

Referens: Omvärldsutveckling som skall spegla en konservativ utveckling av omvärlden.

Renovas ägarkommuner: Ale, Göteborg, Härryda, Kungsbacka, Kungälv, Lerum, Mölndal, Partille, Tjörn, Stenungsund och Öckerö.

RT-flis: förkortning av returträflis vilket är en utsorterad avfallsfraktion bestående av trä. Innehåller vanligen inslag av målarfärg och metall men skall vara fritt från impregnerat trä

Rötning: Nedbrytning av organiskt material utan tillförsel av syre. Ger en gas bestående av främst metan och koldioxid. Gasen kan därefter renas från koldioxid för att ge biogas som

kan nyttjas som fordonsbränsle. Även en rötrest uppstår innehållande bl a vatten och näringsämnen vilken kräver efterbehandling

Sorteringsanläggning: I detta projekt avser detta en anläggning som sorterar upp hushållens avfall i en brännbar och en biologiskt nedbrytbar fraktion

Systemperspektiv: De olika delarna i ett avfallshanteringssystem och deras inbördes relationer ingår såväl som avfallshanteringssystemets beroende av omgivningen som t.ex. energisystem och transportsystem.

Usetox: Metod för att utvärdera toxicitet.

Utvecklingsvägar: 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 systemet och som är av intresse att analyseras med modellerna. Utvecklingsvägar är något som ansvariga avfalls- och energiaktörer i Göteborgsregionen kan påverka och fatta beslut om.

WR: Waste Refinery

WR 04: Termisk och biologisk behandling ur ett systemperspektiv- Etapp 1.

WR 21: Termisk och biologisk behandling ur ett systemperspektiv- Etapp 2

Regionens avfallsbehandlingssystem: Samma som avfallsbehandlingssystemet.

Prefix som används

Beteckning	Tiopotens	Övrigt
G	10^9	
M	10^6	I samband med Mkr avses miljoner kr
k	10^3	

Kemiska beteckningar som används

Beteckning	Namn	Miljöpåverkan
CH ₄ (luft)	Metan	Klimat (växthusgas)
CO ₂ (luft)	Koldioxid	Klimat (växthusgas)
N ₂ O (luft)	Dikväveoxid (lustgas)	Klimat (växthusgas) Övergödning
NO _x (luft)	Kväveoxider	Försurning Övergödning
NH ₃ (luft)	Ammoniak	Försurning Övergödning

NO_3^- (vatten)	Nitrat	Övergödning
NH_4^+ (vatten)	Ammonium	Övergödning
N	Kväve	Övergödning
P (luft och vatten)	Fosfor	Övergödning
K	Kalium	Övergödning
SO_2 (luft)	Svaveldioxid	Försurning

1 Inledning

1.1 Mål och syfte

Målsättningen med projektet *Termisk och biologisk behandling ur ett systemperspektiv* är att ur ett systemperspektiv utvärdera nya och förbättrade tekniker för behandling av organiskt avfall från hushåll och verksamheter. Utvärderingen sker genom fallstudier i Göteborg och Borås. Med systemperspektiv menas att de olika delarna i ett avfallshanteringssystem och deras inbördes relationer ingår såväl som avfallshanteringssystemets beroende av omgivningen som t.ex. energisystem och transportsystem. Med organiskt avfall avses både brännbart och biologiskt nedbrytbart avfall. Projektet omfattar därmed tekniker inom Waste Refineries (WR) verksamhetsområden Termisk behandling och Biologisk behandling vilka studeras extra ingående i samarbete med berörda forskningsgrupper. Projektet förväntas ge som resultat:

- 1) Kvantifierade ekonomiska och miljömässiga prestanda ur ett systemperspektiv för nya avfallsbehandlingstekniker med fokus på sådana tekniker som utvecklas inom Waste Refineries verksamhetsområden Termisk behandling och Biologisk behandling
- 2) Beslutsunderlag baserat på ett systemperspektiv för avfalls- och energiaktörerna i Göteborg
- 3) Utveckling av forskningsområdet systemanalys av avfallshantering

Att på detta sätt 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, kommuner, tillståndsmyndigheter, anslagsgivare m.fl. ger resultaten en möjlighet till att långsiktigt värdera nyttan med tekniken/metoden utifrån ett samhällsperspektiv. Minst lika viktigt är att systemstudierna även ger, genom scenarioanalys, en övergripande riskanalys där både ekonomi och miljö beaktas. I ett forskarperspektiv är dessa systemresultat högtintressanta och efterfrågade i vetenskapliga publikationer.

Utvecklingen av forskningsområdet systemanalys av avfallshantering kommer främst att uppnå:

- 1) Ökad kvalitet på teknikdata och modellering genom direkt samarbete med forskare och teknikutvecklare inom termisk och biologisk behandling.²

² Tidigare arbete med utveckling och användning av systemmodeller för avfallshantering har i stor utsträckning bedrivits genom att data om teknikerna samlats in genom litteratursökningar och genom kontakter med anläggningsägare. Sådan datainsamling är en viktig del även i detta arbete men datakvaliteten kommer här ytterligare att förbättras genom att insamling och utvärdering av teknikdata kommer att ske i växelverkan med de forskare och teknikutvecklare som är aktiva inom termisk och biologisk behandling. Denna växelverkan kommer också att innebära att modelleringen av såväl existerande som nya tekniker förbättras.

- 2) Ökade kunskaper om hur valet av systemgräns påverkar resultaten och bedömningar om vilka olika systemgränser som bör tillämpas för dessa typer av systemstudier.
- 3) Återföring av resultat till forskare inom termisk och biologisk behandling, teknikutvecklare och problemägare.³
- 4) En starkare koppling mellan modellering av avfalls- och energisystemet⁴

Rapporteringen av projektet *Termisk och biologisk behandling ur ett systemperspektiv* sker i form av tre rapporter – en rapport för fallstudien i Göteborg (denna rapport med namnet *Systemstudie avfall i Göteborg*), en rapport för fallstudien i Borås (*Systemstudie avfall i Borås*) och en ”sammanfattningsrapport” med övergripande resultat och slutsatser för hela projektet.

Rapporterna för fallstudierna fokuserar på de aktuella frågeställningar och alternativ som finns hos de medverkande aktörerna i respektive studie och syftar därigenom till att ge dessa aktörer ett förbättrat beslutsunderlag. Rapporterna är därför inriktade på att redovisa kvantifierade ekonomiska och miljömässiga prestanda ur ett systemperspektiv för avfallsbehandlingstekniker som är av intresse för de inblandade aktörerna. Teknikerna innefattar både tekniker som är under utveckling/utvärdering inom WR men också andra tekniker som aktörerna bedömer som intressanta och som ligger inom området termisk och biologisk behandling.

”Sammanfattningsrapporten” lyfter upp de viktigaste resultaten och slutsatserna från fallstudierna och diskuterar dem ur ett Sverigeperspektiv. Vidare belyser ”sammanfattningsrapporten” hur arbetet inom fallstudierna bidragit till att utveckla forskningsområdet systemanalys av avfallshantering. I ”sammanfattningsrapporten” inkluderas även en särskild redovisning av samarbetet mellan projektet *Termisk och biologisk behandling ur ett systemperspektiv* och andra WR-projekt och vad detta har gett för resultat.

³ Den övervägande majoriteten av de systemmodeller som finns för avfallshantering har använts för studier som initierats av forskargrupperna själva och sedan publicerats i vetenskapliga tidskrifter där spridning av resultaten varit liten utanför det egna forskarskrået. I detta projekt kommer resultaten att återföras direkt till andra forskare, teknikutvecklare och problemägare. Därmed får dessa direkt information om miljönyttan och den ekonomiska nyttan ur systemperspektiv av den process/teknik de arbetar med och kan utnyttja denna information i sitt utvecklingsarbete.

⁴ De flesta tekniker som kommer att studeras och utvecklas inom Waste Refinery avser tekniker som medför att energiutvinningen från avfall (i form av energibärare såsom el, värme, etanol och fordonsgas) kommer att öka. I tidigare studier har man konstaterat att hur dessa energibärare används i energisystemet har stor betydelse för resultaten både ur ekonomisk och ur miljömässig synvinkel. Trots detta finns få exempel på när man kompletterat analysen med modellering av effekterna i energisystemet. I detta projekt kommer vi att komplettera analysen av avfallssystemet genom att använda flera olika energisystemmodeller.

1.2 Frågeställningar

Under den inledande fasen av projektet har en viktig uppgift varit att formulera exakt vilka förändringar i avfallsbehandlingssystemet i Göteborg som skall studeras. Detta har varit en löpande process som förts inom projektets arbetsgrupp vilket lett fram till totalt fem frågor som slutligen valts ut och som beskrivs i denna rapport. Processen att ta fram dessa frågor, vilken beskrivs i kapitel 4.2, har bl a inneburit ytterligare analyser som inte beskrivs i detalj i denna rapport. Nedan återfinns de fem frågor som ställs och som besvaras i denna rapport.

Hur påverkas ekonomi och miljö vid:

- En ökad återföring av näringsämnen från avfallet till åkermark?
- En ökad elproduktion från avfall?
- Olika val av hantering av avloppsslam och rötrest?
- Olika val av insamling av matavfall?
- Uppförande av en förgasningsanläggning för avfall?

2 Bakgrund

Systemanalys av avfallshantering är ett forskningsområde som internationellt sett funnits sedan 1960-talet. I Sverige påbörjades forskningen kring systemanalys av avfallshantering under mitten av 1980-talet. Den svenska forskningen har genererat ett antal olika datormodeller för att analysera olika avfallsbehandlingstekniker ur kostnads-, energi- och miljösynpunkt med ett systemperspektiv, t.ex. MIMES/Waste (Sundberg 1993), ORWARE (Dalemo et al 1997) och NatWaste (Ljunggren Söderman 2000), vilka har applicerats i lokala, regionala och nationella studier i Sverige sedan mitten av 1990-talet fram tills idag. Internationellt sett står sig dessa modeller väl i konkurrensen mot andra modeller. I tabell 5 ges exempel på vetenskaplig litteratur som beskriver utveckling och användning av avfallssystemmodeller sedan slutet av 1960-talet.

Tabell 5. Exempel på vetenskaplig litteratur som beskriver utveckling och användning av avfallssystemmodeller.

Table 5. Examples of scientific literature which describe development and use of waste system models.

Period	- Vetenskaplig litteratur
1960-talet	- Anderson (1968)
1970-talet	- Morse and Roth (1970), Helms and Clark (1971), Esmaili (1972), Walker et al. (1974), Kühner and Harrington (1975), Greenberg et al. (1976)
1980-talet	- Hasit and Warner (1981), Jenkins (1982), Chapman and Berman (1983), Perlack and Willis (1985), Gottinger (1986), Kaila (1987)
1990-talet	- Shekdar et al. (1991), Huang et al. (1992), Sundberg (1993), Huang et al. (1994), White et al. (1995), Chang and Wang (1996), Dalemo et al. (1997), Berger et al. (1998), Schwing (1999), Weitz et al. (1999)
2000-talet	- EPIC-CSR (2000), D'Antonio et al. (2002), Vogt et al. (2002), Abou Najm and El-Fadel (2004)

De tidiga modellerna begränsades av brist på datorkapacitet och kunde endast studera delar av avfallshanteringssystemet (t ex enbart insamling och transporter eller enbart förbränning). I takt med att datorutvecklingen tog fart så ökade både omfattningen och detaljeringsgraden i modelleringen. Under 1970- och 1980-talet fokuserades utvecklingen främst på att utvärdera kostnader. Först i slutet av 1980-talet började man intressera sig för att också utvärdera emissioner och påverkan på miljön från olika avfallsbehandlingstekniker ur ett systemperspektiv. Under 1990-talet fram tills idag har denna utveckling fortsatt och starkt influerats av det arbete som skett inom utvecklingen av livscykelanalys.

Att praktisera systemanalys och utnyttja potentialen i dessa systemmodeller är lika krävande som att utveckla själva modellen. Därför har det även vuxit fram forskning kring användandet av systemmodeller för planering och beslutsfattande. Profu har här varit delaktiga i åtskilliga forskningsprojekt och varit med att utforma metoder och kunskaper inom detta område. Idag använder Profu flera komplicerade systemmodeller för både avfalls- och energisystemet regelbundet för strategisk planering inom energi- och avfallsföretagen och inom beslutsfattande myndigheter. I detta projekt används flera av

dess modeller och dess planeringsmetoder. De fallstudier som genomförs för Göteborg och Borås bidrar också till utvecklingen inom detta forskningsområde.

3 Modeller och Metodik

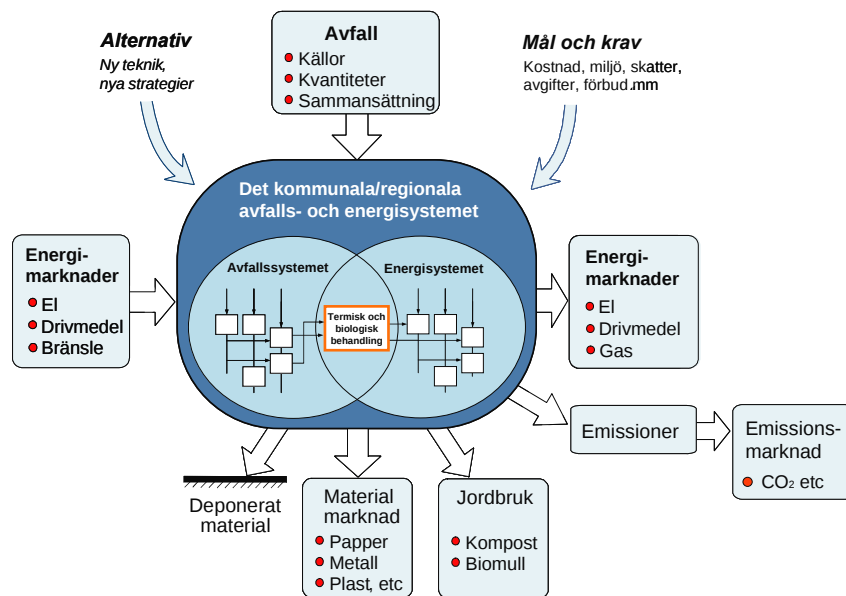
I detta kapitel beskriver vi på en generell nivå vilka tekniska system som omfattas av systemstudien och vidare hur ansatsen med beräkningsmodeller kan utnyttjas för att studera dessa system.

Studien fokuserar på strategiska planeringsfrågor som finns inom den kommunala/regionala avfallsplaneringen och berör följaktligen de organisationer som hanterar och beslutar om dessa typer av frågor. Det är också projektets målsättning att resultaten ska kunna ligga till grund för deras planering och beslut. Det tekniska systemet är uppdelat på fyra olika organisationer nämligen Renova (avfallsbehandling, allt avfall), Kretsloppskontoret (upphandling och planering för hushållsavfall och slam), Göteborg Energi (fjärrvärmesystemet) och Gryaab (slambehandling). Resulterande kostnader och emissioner som redovisas i projektet är en summering för hela det kollektiv som ingår i studien. Eventuella kostnadsbesparingar och utsläppsreduktioner som ges i resultaten skall därmed ses som att de tillfaller de kommuninvånare för vilka de ingående organisationerna verkar. Inga resultat redovisas alltså specifikt för någon av de fyra organisationerna. Detta har aldrig varit projektets syfte då det skulle kräva kunskap om bl.a. priser för produkter som säljs mellan de ingående bolagen samt beslut om vilket/vilka bolag som skall komma att äga de framtida anläggningar som studeras. Att inkludera dessa uppgifter skulle dels vara omöjligt på grund av att uppgifterna är sekretessbelagda och dels skulle frågor om ägande av nya anläggningar riskera att hämma processen i projektet.

3.1 Systemavgränsning och scenarier – allmän beskrivning

Valet av systemgräns och beräkningsmetodik är svår eftersom det finns flera olika möjliga avgränsningar och flera olika intressenter med olika typer av långsiktiga frågor som behöver belysas. De val som vi ändå har gjort i denna studie tycker vi fångar upp huvuddelen av de långsiktiga frågor som behöver studeras för utvecklingen av avfallsbehandlingssystemet. Valet baseras på tidigare erfarenheter med liknade 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.

Grunden i utvärderingen av avfallsbehandlingsteknikerna är hur de platsar in och hur de fungerar i det kommunala/regionala avfallshanteringssystemet. Eftersom avfall även är en viktig del av det kommunala energisystemet genom exempelvis förbränning (fjärrvärme, el) och biogasproduktion (värme, el, fordonsgas) så måste utvärderingen omfatta både avfalls- och energisystemet. I figur 2 ges en schematisk beskrivning av avgränsningen för avfalls- och energisystemet (den mörka boxen centralt i figuren) och hur det interagerar med andra viktiga tekniska system i dess omvärld. För att beskriva den ekonomiska och miljömässiga nyttan av en förändring i systemet, tex införandet av en ny teknik eller metod, måste effekterna även i dessa omkringliggande system studeras och kvantifieras. Hur denna omvärld beskrivs kan vara avgörande för resultaten, speciellt när den resulterande miljöpåverkan ska bedömas. Att fånga konsekvenserna i omgivningen kan ibland innebära omfattande analyser med kompletterande modeller. Exempelvis så har vi i detta projekt använt en energisystemmodell (MARKAL) för det nordiska energisystemet för att beräkna den alternativa elproduktion, en omvärldsfaktor som ofta har stor betydelse för miljöresultaten.



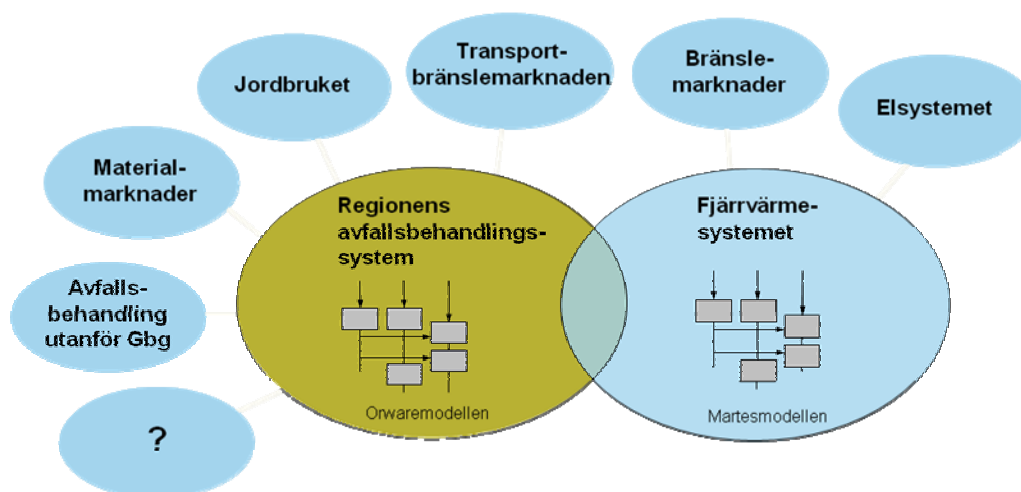
Figur 2. Schematisk beskrivning av det regionala avfalls- och energisystemet och dess omvärld.

Figure 2. The regional waste management system and the energy system and the environment to these two systems.

Ett annat sätt att illustrera systemavgränsningen är att mer utförligt definiera de funktioner i systemet som omfattas av planeringsarbetet och vilka andra system i omgivningen som det valda systemet interagerar med.

Det system som är i fokus för den strategiska planeringen har vi här benämnt avfallsbehandlingssystemet. Vi tar med alla befintliga tekniker för avfallsbehandling (förbränning, biologiskbehandling, förädling mm) inklusive olika typer av förbehandling och efterbehandling tex sorteringsanläggningar för brännbart avfall eller tex slaggsortering. Vi tar även med möjliga framtida processer som är av intresse att studera för det framtida behandlingssystemet. Systemgränsen är i princip den samma som definierats för Waste Refinery, dvs systemet för termisk och biologisk avfallsbehandling av olika typer av organiskt avfall inklusive kringprocesser till dessa behandlingsmetoder. I figur 3 nedan illustreras detta system med gulgrön färg och benämns ”Regionens avfallsbehandlings-system”. 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 återvinningsmaterial till materialåtervinning. 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.

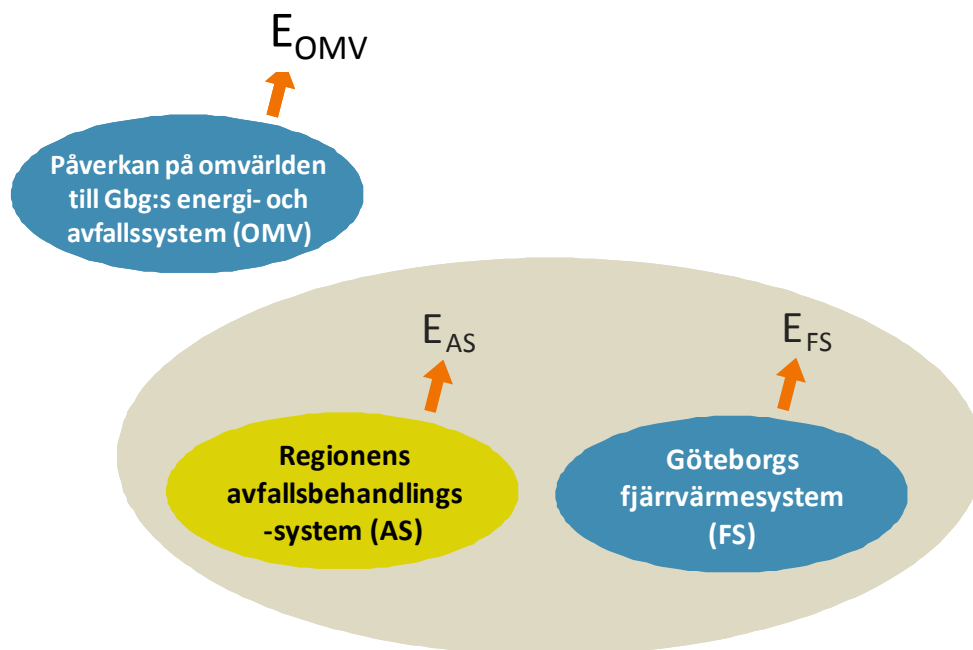
De system som tillhör omgivningen är markerade med blå färg. Flera av dessa interagerar tydligt med avfallsbehandlingssystemet. Flera av dessa är dessutom ibland avgörande för systemanalysens resultat. Exempelvis hittar man ofta den stora miljöfördelen eller nackdelen för en specifik miljöbetraktelse 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 Göteborg.



Figur 3. Avfallsbehandlingssystemet och omgivande interagerande system.

Figure 3. The waste management system and interacting systems in the environment.

Ett tredje sätt att beskriva valet av system och systemavgränsning återfinns i figur 4. I denna figur illustreras tre olika system, Avfallsbehandlingsystemet (AS), Fjärrvärmesystemet (FS) och omvärlden till dessa bägge system (OMV). Illustrationen med dessa tre system är framtagen för att beskriva hur resultaten från modelleringsarbetet presenteras.



Figur 4. De tre delsystemen för resultatpresentationen: Avfallsbehandlingssystemet (AS), fjärrvärmesystemet (FS) och omvärlden till de bägge systemen (OMV).

Figure 4. The three systems used for presenting model results. The waste management system (AS), The district heating system (FS) and the environment to the two systems (OMV).

Modellerna (ORWARE+Martes) ger tillsammans de totala utsläppen för hela det övergripande systemet:

$$E_{\text{totalt}} = E_{AS} + E_{FS} + E_{OMV}$$

I presentationen av resultaten från systemanalyserna redovisas företrädesvis förändringen av utsläpp eller kostnader givet två olika framtida utvecklingsvägar för avfallsbehandlings-systemet. Orsaken till att inte studera de totala utsläppen för en utvecklingsväg är två: dels tenderar skillnader mellan olika utvecklingsvägar att ”drunkna” i de stora totala utsläppen, dels är de totala utsläppens storlek helt beroende av vilken systemgräns man valt. Dvs. om systemet som studeras är stort så blir utsläppen eller kostnaderna stora och omvänt om systemet är litet. Presentationen av resultaten genomförs därmed exempelvis genom att nyttan av att införa en rötningsanläggning (Utvecklingsväg B) jämförs mot ett referensfall (Utvecklingsväg A).

$$\text{Utfallet (U)} = E_{\text{totalt, A}} - E_{\text{totalt, B}}$$

E = Emission

U = Utfall för en förändring. Utfallet är skillnaden i olika utsläpp/miljöeffekter eller skillnaden i systemkostnad.

3.2 ORWARE – allmän beskrivning

ORWARE är en beräkningsmodell för utvärdering av miljöpåverkan från hantering av avfall. Modellen kan hantera både fasta och flytande, organiska och oorganiska avfall från olika källor. Grunden för modellering av avfallshantering i ORWARE är att de avfallslag som hanteras kan beskrivas på elementnivå, d.v.s. deras sammansättning av näringsämnen, kol, föroreningar som tungmetaller etc.

ORWARE är uppbyggd av ett antal moduler som beskriver en process eller behandling. För att kunna beskriva dessa olika delar som utgör avfallshanteringen krävs en stor mängd information. Inför varje nytt projekt görs en avvägning hur mycket av informationen som måste inventeras i det specifika fallet. Avfallen följs genom modellen från hushållen via insamling och transporter till behandlingsanläggningar tills slutlig användning, nya produkter eller deponering.

I det följande presenteras de viktigaste parametrarna för modellens funktion med avseende på hantering av fast avfall. Guiden är indelad i systemrelaterade parametrar - hur det ser ut på ort och ställe - och studierelaterade parametrar - vilken typ av undersökning och vilken typ av resultat som önskas.

3.2.1 Systemrelaterade parametrar

Nedanstående visar en översikt över de möjligheter som finns i ORWARE för att simulera avfallshantering. Varje del kräver olika mängder indata för att kunna fungera, vissa indata är allmänna för en viss process och påverkas inte nämnvärt, andra parametrar är mer kopplade till en existerande anläggning.

Avfalllets ursprung

Avfallet som hanteras i modellen har sitt ursprung i hushåll, verksamheter och industrier. Dessutom kan andra material som inte är avfall men som sambehandlas med avfall i syfte att öka en anläggnings kapacitet, t.ex. vallgröda och gödsel som samrötas med avfall infogas i modellen. De olika avfallen delas sedan upp i mindre fraktioner som exempelvis organiskt avfall, brännbart avfall, förpackningar av metall, kartong, glas mm. beroende på hur avfallet är beskaffat.

Parametrar som är platsspecifika är mängderna avfall och hur olika avfallsfraktioner är sammansatta. Som exempel kan hushållsavfall användas. Hushållen genererar en mängd avfall som matavfall, förpackningar, brännbar och icke brännbar rest, m.m. Den information som krävs är hur mycket som finns av respektive fraktion och hur stor andel som sorteras ut till biologisk behandling och till materialåtervinning, och hur stor andel som hamnar i brännbar rest respektive inert fraktion. Övriga avfallskategorier hanteras på likartat vis.

Insamling och transporter

Avfall och andra material samlas in och transporteras till, från och mellan olika anläggningar för behandling eller omhändertagande. Modellen kan hantera ett antal olika fordon för insamling och transporter: insamlingsfordon, lastbil med eller utan släp etc.

Insamlings- och transportfordon i modellen består av indata som är platsspecifika, t.ex. fordonslaster och transportavstånd. Andra parametrar som energiförbrukning per km samt utsläpp från transporter är parametrar som generellt inte skiljer sig mellan olika studier.

Behandlingsanläggningar

Behandlingsanläggningar i ORWARE är förbränningsanläggning, kompost, deponering, rötning, spridning till åkermark, reningsverk samt materialåtervinning av plast- och pappersförpackningar. Därtill hanteras spridning till åkermark. Modellen är dock flexibel och nya tekniker, åtgärder mm kan relativt enkelt läggas in och studeras med modellen.

De parametrar som är påverkningbara för behandlingsanläggningar är olika prestandaparametrar som verkningsgrader, energianvändning för drift och skötsel av anläggning. Parametrar som inte är påverkningbara är parametrar som påverkar inre processer i anläggningarna t.ex. mikrobiella aktiviteten i rötnings- och komposteringsanläggningar. För detaljerade data om behandlingsanläggningar, se bilaga B

Ekonomi

För att belysa det ekonomiska resultatet för systemen kan investeringskostnaderna samt drifts- och behandlingskostnader för respektive anläggningar inventeras. I systemanalysen bedöms kostnader för hela hanteringskedjan, behandling samt eventuell lagring av slutprodukter. Parametrar som är aktuella för resultatet är exempelvis, investeringskostnader, transportkostnader, elpris, pris på fordonsgas samt alternativkostnad för växtnäring i form av fosfor och kväve.

3.2.2 Studierelaterade parametrar

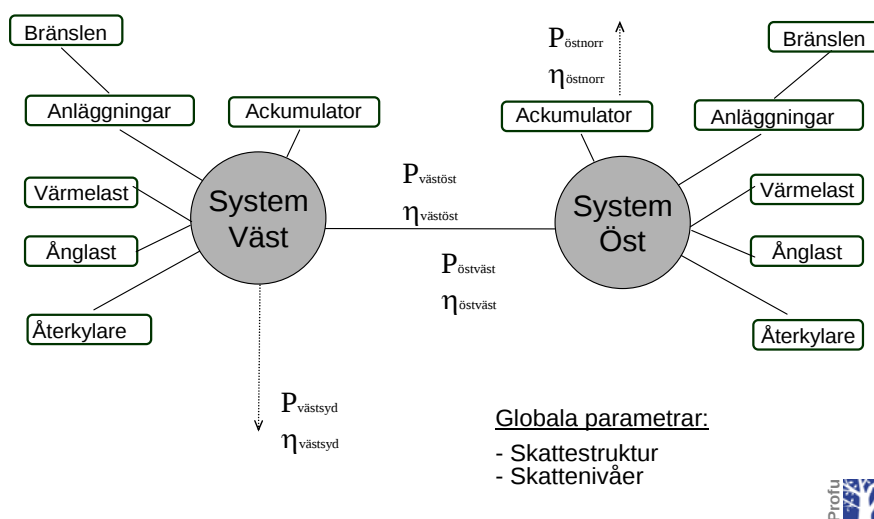
Från modellen genereras stora mängder resultat i form av materialflöden. Materialflödena ut från modellen fördelas sedan som utsläpp till luft, vatten eller mark, kvar i material etc. Dessutom tillkommer energi tillförd till avfallshantering och energi utvunnen från hanteringen.

Resultat kan erhållas som utsläpp av enskilda ämnen t.ex. koldioxid till luft eller utsläpp av övergödande ämnen till vatten. Vidare kan resultat som mängd växtnäring, fosfor eller kväve till åkermark, tungmetaller till mark och vatten m.m. erhållas. Utsläpp av olika ämnen kan med hjälp av viktningsfaktorer från livscykelanalys sammanställas till miljöpåverkanskategorier som växthuseffekt, övergödning etc.

Utifrån de studerade parametrarna analyseras systemen utifrån både företagsekonomiska, samt miljömässiga aspekter. Detta ger en bild av både de direkta kostnaderna och vinsterna av behandlingsanläggningarna samt för de indirekta aspekter som påverkar samhället som helhet.

3.3 Martes – allmän beskrivning

Martesmodellen är ett analysinstrument för frågor kring fjärrvärmeproduktion med ett tidsperspektiv mellan någon vecka till flera år. Exempel på frågeställningar är investeringsanalys, budgetberäkningar, bränsleinköp och lagerhållning, korta och långa elbalanser, skatteanalys m.m. Beräkningarna sker för ett eller flera år, med en tidsindelning på 730 beräkningssteg per år (året indelat i dag/natt-perioder). Alternativt kan beräkningen ske på timbasis med 8760 beräkningssteg. Modellen har i många hänseenden en flexibel detaljeringsgrad, vilket innebär att detaljeringsgraden hos olika beräkningsparametrar styrs av de frågeställningar man önskar analysera. Indatabehovet för modellen framgår schematiskt av figur 5 nedan.



Figur 5. Schematisk struktur av Martes-programmet. (P = producerad fjärrvärme, η = 1- värmeförluster i fjärrvärmesystemet)

Figure 5. Schematic structure of the Martes Program (P = district heat production, η = 1- heat losses in the district heating distribution system).

Modellen finns med både simulerande och optimerande algoritm. I detta projekt har använts den optimerande algoritmen. Beräkningsalgoritmen kan beskrivas som en enperiodmodell för analys av ett helt år eller valfri period. Enperiodmodell innebär att beräkningen i varje tidssteg hanteras separat, så när som på ackumulatören som knyter ihop flera tidssteg. Modellen kan därigenom inte automatsikt hantera villkor som sträcker sig över flera tidssteg, såsom volymkrav på bränslen eller utsläppsbegränsningar i absoluta tal (t.ex. ton/år). Den optimerande algoritmen är en linjär programmerings modell (LP) med kontinuerliga heltalsvariabler. Målfunktionen är att i varje beräkningssteg minimera den totala värmeproduktionskostnaden inklusive produktionsintäkterna.

Resultaten från modellen är indelat i Energi, Utsläpp och Ekonomi. Nedan ges några exempel på resultat från respektive grupp:

Energi

- Max effektbehov, [MW per månad]
- Drift- & utnyttjningstid, [h]
- Tillförda bränslen, [GWh/månad]
- Produktion per produktionsslag, [GWh/månad och anläggning]

Utsläpp

- Utsläpp per produktionsslag, [ton/månad och anläggning]

Ekonomi [Mkr]

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| – Fasta intäkter | – Energiskatter |
| – Rörliga intäkter | – CO ₂ -skatter |
| – Fasta kostnader | – Miljöavgifter |
| – Rörliga kostnader | – Återbetalning av miljöavgifter |
| – Bränsle- och elkostnader | – Kostnadsmedelvärden |

3.3.1 Martes i Waste Refinery

I detta projekt nyttjas Martes för att beskriva vad som sker i fjärrvärmesystemen i Göteborg och Borås när värmeproduktionen från avfallsbehandlingssystemet förändras. I etapp1 har bl a ingått att studera vad som sker vid en utbyggnad av kapaciteten för avfallsförbränning. Andra frågor skulle kunna vara införandet av nya avfallsbehandlingstekniker som genererar värme eller som genererar ett bränsle som kan nyttjas i fjärrvärmesystemet. Omvänt gäller också att förändringar i fjärrvärmesystemen kan förändra situationen för avfallsbehandlingsanläggningarna, exempelvis kan ett minskat värmebehov leda till minskad drifttid för de befintliga avfallsförbränningsanläggningarna. Genom att använda Martes kan vi alltså på en mycket detaljerad nivå analysera interaktionen mellan avfallsbehandlings- och fjärrvärmesystemen.

Martes nyttjas mer eller mindre kontinuerligt inom Göteborg Energi för att studera olika frågor som rör fjärrvärmeproduktionen. Tack vare detta har vi redan från början haft tillgång till en databas för Martes som beskriver det befintliga systemet. Vissa uppdateringar har dock krävts för att modellerna skall kunna nyttjas i detta projekt.

3.4 Miljöpåverkan

Resultaten från ORWARE och Martes beskriver miljöpåverkan från avfallssystemen i Göteborg. De miljöpåverkanskategorier som valts ut här utgörs av klimatpåverkan, förorening och övergödning. Andra kategorier som ej prioriterats här är bl a utsläpp av tungmetaller och toxicitet.

Klimatpåverkan

Den ökade användningen av framförallt fossila bränslen har medfört en ökning av växthusgaserna i atmosfären, vilket i sin tur inneburit att temperaturen på jorden ökat.

Denna klimatförändring brukar populärt kallas för växthuseffekten. Temperaturökningen kommer av att växthusgaserna lägger sig som ett membran mellan atmosfären och jordytan. Växthusgaserna släpper sedan igenom strålning från solen ner till jordytan men hindrar delar av strålningen från att sedan reflekteras tillbaka till atmosfären. Dessa strålar reflekteras istället tillbaka till jordytan där de bidrar till att värma upp marken. De växthusgaser som främst bidrar till växthuseffekten är koldioxid (CO_2), metan (CH_4) och lustgas (N_2O).

Försurning

Nedfall av försurande ämnen, främst svaveldioxid, kväveoxider och ammoniak, ger upphov till försurning. När pH-värdet sjunker i sjö och mark ändras förutsättningarna för växt- och djurlivet vilket gör att vissa arter får svårt att anpassa sig och därför minskar i antal eller dör ut helt. Försurning leder även till urlakning av näringsämnen, vilket i sin tur leder till minskad tillväxt och utlösning av metaller i former som kan vara giftiga för såväl människan som djur och växter längre ner i näringskedjan. Rekreativvärdena minskar då svaveldioxid och kväveoxider omvandlas till syror och bidrar till att påskynda korrosionen på byggnader, broar, statyer, hållristningar med mera.

Försurningen var som störst under 1980-talet. Kring 1990 vände trenden för utsläpp av försurande ämnen i de flesta av Europas länder och numera är nedfallet i Sverige endast tiondel av vad det var 1980. I många områden har en återhämtning av mark- och ytvattenförsurning påbörjats. Tydliga uppåtgående pH-trender uppmäts i de flesta sjöar i landet. Det minskade svavelnedfallet har också inneburit att kvävet försurande bidrag har minskat och inte är lika allvarligt som tidigare. Kvävet bidrag till försurningen har varierat över landet och gör så fortfarande. Trots detta finns fortfarande områden där kritisk belastning överskrids och försurningsprocesserna i mark fortgår. Försurningseffekten beror förutom av nedfallets storlek även av känsligheten i mark och vatten, d.v.s. förmågan att med vittring eller annan tillförsel av alkali motstå den försurande verkan.

Övergödning

Övergödning, eller eutrofiering som det också kallas, innebär att tillförseln av näringsämnen, främst kväve och fosfor, är så stor att det skapar en ökad tillväxt i skog, mark och vattendrag. De främsta orsakerna till övergödning är utsläpp av kväveföreningar (främst kväveoxider och ammoniak), närsalter (främst kväve- och fosforsalter) och organiskt material. I Sverige står de kommunala avloppsreningsverken, enskilda avlopp, jordbruket och massa- och pappersindustrin för de dominerande utsläppen av övergödande ämnen. Kvävenedfallet bidrar till negativa effekter på två sätt, dels till en förändring i markfloras sammansättning, dels till att bygga upp ett kväveförråd i mark och bidra till avrinningen av kväve ur mark med de effekter detta kan innebära bland annat för gödning av havet. Förändringen av markvegetationens sammansättning är något som man i dag ser följer av i stora delar av södra Sverige. Uppbyggnaden av en kvävedepå i marken är något som man idag inte riktigt kan bedöma följderna av.

Kvävenedfallet ökade från 1970-talet och framåt, och har under det senaste decenniet inte förändrats nämnvärt. Prognoser för tiden fram till 2020 indikerar dock en minskning, kanske en halvering av det totala nedfallet. Effekter av tillkommande utsläpp eller utsläppsminskningar kommer att bero på var man geografiskt befinner sig. Detta fångas inte upp i den typ av systemanalys som genomförs här. För att ändå beskriva detta

genomförs här en utökad analys där resultaten studeras ur ett MKB (MiljöKonsekvensBeskrivning)-perspektiv (se kapitel 5.1.6).

3.4.1 Karakterisering av miljöpåverkan

De kategorier som används i detta projekt för att väga samman utsläpp till luft och vatten med avseende på miljöpåverkan är klimatpåverkan (100-års perspektiv), försurning, och övergödning (eutrofiering). Som brukligt är inom livscykelanalys beskriver kategorierna *potentiell* (möjlig) miljöpåverkan till skillnad från faktisk miljöpåverkan som kräver en mer platsspecifik bedömning av konsekvenserna av utsläppen. Olika emissioner bidrar till de olika kategorierna i varierande grad. För att vikta samman dessa emissioner används ett antal karaktäriseringsfaktorer. Dessa faktorer multipliceras med respektive emission, varpå bidragen från de aktuella emissionerna kan summeras (se Tabell 6). I detta projekt har vi valt att använda en befintlig metod för karakterisering som heter CML 2001 baseline (Guinée et al, 2001)

Tabell 6. Karaktäriseringsfaktorer för potentiell klimatpåverkan, försurning och övergödning.
Table 6. Characterisation factors for Global Warming Potential, Acidification Potential and Eutrophication Potential.

	Klimatpåverkan <i>kg CO₂-ekvivalenter/ kg emission</i>	Försurning <i>kg SO₂- ekvivalenter/ kg emission</i>	Övergödning <i>kg PO₄³⁻- ekvivalenter/ kg emission</i>
CO ₂ (fossilt) (luft)	1		
NO _x (luft)		0,5	0,13
N ₂ O (luft)	298		0,27
SO ₂ (luft)		1,2	
CH ₄ (luft)	25		
NH ₃ (luft)		1,6	0,34
NH ₄ (vatten)			0,34
NO ₃ (vatten)			0,42
COD (vatten)			0,022
P (luft och vatten)			3,06

Karaktäriseringsfaktorerna för klimatpåverkan härstammar från IPCC (2007), karaktäriseringsfaktorerna för försurning återfinns i Huijbregts (1999) och karaktäriseringsfaktorerna för övergödning baseras på Heijungs et al (1992).

Metoderna för miljöpåverkansbedömning kan vara av två olika typer, s.k. end-point och mid-point metoder. CML och EDIP är exempel på metoder enligt Mid-point. End-point är sådana som försöker gå till skadenivå, alltså hur många som dör av olika effekter o.s.v. (t.ex. Ecoindicator, EPS). Många av mid-point-metoderna ger ungefär samma viktning för flertalet av de effektkategorier som ingår. För resurser är dock skillnaderna mellan metoderna rätt stora. Vi har valt CML 2001 efter samråd med bl.a. professor Göran Finnveden på KTH.

De effektkategorier vi valt att ta med här beskriver inte all miljöpåverkan. Till exempel är frågan om spridning av farliga ämnen (som berör miljökvalitetsmålet Giftfri miljö) av

intresse när man inför kretsloppslösningar. Ämnen som är persistenta, bioackumulerbara och toxiska och i värsta fall cancerogena, mutagena och reproduktionstoxiska är icke önskvärda i kretsloppet. Tidigare låg det en begränsning i att metoderna för att värdera dessa utsläpp uppvisade brister. För just toxicitet har det kommit en ny metod kallad Usetox (Finnveden et al, 2009). Nu är istället problemet att vi har dataluckor för dessa ämnen, det gäller alltifrån mätningar av de olika avfallsfraktionerna som kunskap om vad som händer med dessa ämnen i behandlingsanläggningarna.

Det finns andra metoder för att bedöma miljöpåverkan från en verksamhet, i Sverige används miljökonsekvensbeskrivning (MKB) frekvent. I en MKB är man synnerligen *platspecifik* i sina *kvalitativa* bedömningar av *bedömd aktuell* miljöpåverkan, till skillnad från LCA som i större utsträckning är *generella* och *kvantitativ* metod för beräkning av *potentiell* miljöpåverkan. Man kan också notera att det finns en inbyggd tröghet i hur snabbt metoderna för miljöpåverkansbedömning uppdateras med hänsyn till förändringar i utsläpp och belastningar på miljön.

Här kan också nämnas att det förutom de miljöpåverkanskategorier som studeras i detta projekt finns även andra faktorer som kan vara viktiga att beakta för den framtida utvecklingen av avfallssystemet. Exempel på detta är human- och ekotoxicitet. Att just dessa inte studerats beror främst på bristen på indata för dessa kategorier. Vidare kan nämnas att en fråga som från brukarperspektiv kan vara intressant att analysera vid införandet av en ny teknik. Denna fråga ligger dock utanför detta projekt.

4 Förutsättningar och studerade utvecklingsalternativ i Göteborg

I detta kapitel beskrivs hur systemstudien i Göteborg har genomförts och vilka centrala antaganden som gjorts för beräkningarna. Viktiga delar i detta är (1) processen att arbeta fram resultaten gemensamt med deltagarna, framförallt arbetsgruppen, (2) vilka val som gjorts med avseende på tekniker/metoder för avfallshantering och (3) valet av scenarier som studeras för den framtida utvecklingen av systemet.

4.1 Systemstudie Avfall

Systemstudien i Göteborg karaktäriseras av att det är ett stort och välutbyggt regionalt avfallssystem som ska studeras samt att detta system sköts och utvecklas av flera olika kommunala/regionala företag. Göteborg har länge varit drivande i utvecklingen på flera områden inom avfallsbehandlingen vilket har resulterat i att Göteborg idag har ett relativt välutvecklat regionalt behandlingssystem. Man har tidigt satsat på källsortering av olika material, utbyggnad av återvinningsstationer och återvinningsplatser samt central sortering. Men det som framförallt kännetecknar avfallssystemet är den storskaliga satsningen på modern förbränning och kompostering. Dessa tekniker har varit centrala för att avveckla deponeringen av brännbart och övrigt organiskt avfall i Västsverige.

Det finns dock idag flera strategiska problemställningar att hantera i Göteborgsregionen och man har därför beslutat att genomföra en genomgripande regional avfallsplanering (A2020) för styra utvecklingen av avfallssystemet. Det finns även flera konkreta planeringsfrågor inom respektive företag som är centrala och av intresse att studera på ett övergripande systemanalytiskt plan. Denna systemstudie som genomförs i Waste Refinerys regi passar därför väl in i Göteborgs nu pågående planeringsarbete och projektet har integrerats med det arbete som bedrivs i regionen.

Projektet, som benämns ”Systemstudie Avfall”, har samlat och engagerat flera kommunala/regionala företag. Över 20 personer från Göteborgs energi- och avfallsorganisationer har bidragit på olika sätt i studien och av dessa har runt 15 stycken ingått i den arbetsgrupp som aktivt jobbar med projektet. I projektorganisationen ingår representanter från Renova, Kretsloppskontoret, Göteborg Energi, Gryaab och Profu. Det har varit väsentligt att få med alla berörda kommunala/regionala företag i studien för att säkerställa kvalitén i projektet och för att förankra och sprida de resultat som tas fram.

Arbetsgruppen:

Renova:	Ola Ståleby (etapp 1&2), Lia Detterfelt (etapp 1&2), Katarina Pettersson (etapp 1)
Kretsloppskontoret:	Jessica Granath (etapp 1&2), Peter Aarsrud (etapp 1&2), Stina Moberg (etapp 2)
Göteborg Energi:	Ann-Marie Lindell (etapp 1&2), Göran Andersson (etapp 1), Mats Nilsson (etapp 2)
Gryaab:	Ola Fredriksson (etapp 1&2)
Profu:	Johan Sundberg, Mattias Bisailon, Mårten Haraldsson, Ola Norrman Eriksson, Karolina Nilsson. (Alla under både etapp 1&2)

Resultaten från projektet har redan använts och kommer framöver att användas för regionens långsiktiga strategiska planering. Men man ska här även komma ihåg att detta projekt har en utpräglad forskningsinriktning och även andra mål än att studera regionens framtida avfallssystem (så som att utvärdera nya tekniker som tas fram inom Waste Refinery samt att utveckla området avfallssystemanalys). I projektet, vilket även beskrivs i tidigare kapitel, ingår en generell metod och modellutveckling för hur avfallssystemet kan beskrivas och studeras och hur man kan använda dessa verktyg för långsiktig planering. Den utveckling som gjorts ska kunna utnyttjas för andra systemstudier samt andra forskningsrelaterade utvecklingsprojekt. I det övergripande projektet (WR21) ingår flera sådana moment, bland annat att studera olika nya avfallstekniker inom Waste Refinery.

Systemstudie Avfall har (tillsammans med övriga moment som ingår i WR 21) även följts av en extern grupp kallad *expertgruppen*. Systemstudie Avfall har presenterats och diskuterats med expertgruppen under arbetets gång. I expertgruppen ingick följande personer

SP: Roger Nordman (etapp 1& 2), Andreas Johansson (etapp1), Jelena Todorovic (etapp 2)

JTI: Andras Baky (etapp 1&2), Åke Nordberg (etapp1).

SIK: Ulf Sonesson (etapp 1&2).

Profu: Samma personer som för arbetsgruppen ovan.

4.2 Metodik och arbetsgång

En viktig del i arbetet, med den typ av systemmodeller som används i detta projekt, är hur modellerna kan och bör användas i planeringsarbetet. Detta berör bland annat frågor som: Vem ska delta i modellarbetet? Hur skapas kunskapen bland medverkande? Hur ska kunskapen föras över från modellanvändare till beslutsfattare?

En ofta återkommande orsak till att denna typ av forskningsmodeller endast används några få gånger är den bristande förståelsen för hur modellerna kan skapa ett mervärde i beslutsprocessen. Modellerna kan var sinnrika, omfattande, validerade mm men utan en både djupare och bredare förståelse hos beslutsfattarna av innebörden av modellernas resultat stannar denna kunskap hos den/de som utvecklat eller kört modellen. Konsekvensen blir att modellernas resultat inte nyttiggörs för den faktiska utvecklingen av systemet.

Eftersom detta problem ofta dyker upp inom forskarvärlden så har man även tagit upp detta inom själva forskningen, dvs. forskat på frågan om hur man för över modellernas kunskap. Detta berör t.ex. frågor som var i den/de beslutande organisationerna som kunskaperna bör uppstå och hur man successivt bygger upp kunskaper och insikter hos beslutsfattare genom iterativt användande av modellerna, även kallat modellens läroprocess. Vidare berörs hur beslutsfattare från flera företag/organisationer kan samlas kring modellen som ett objektivet verktyg för deras gemensamma system och även hur man i detta arbete kan jobba interaktivt med flera olika modeller.

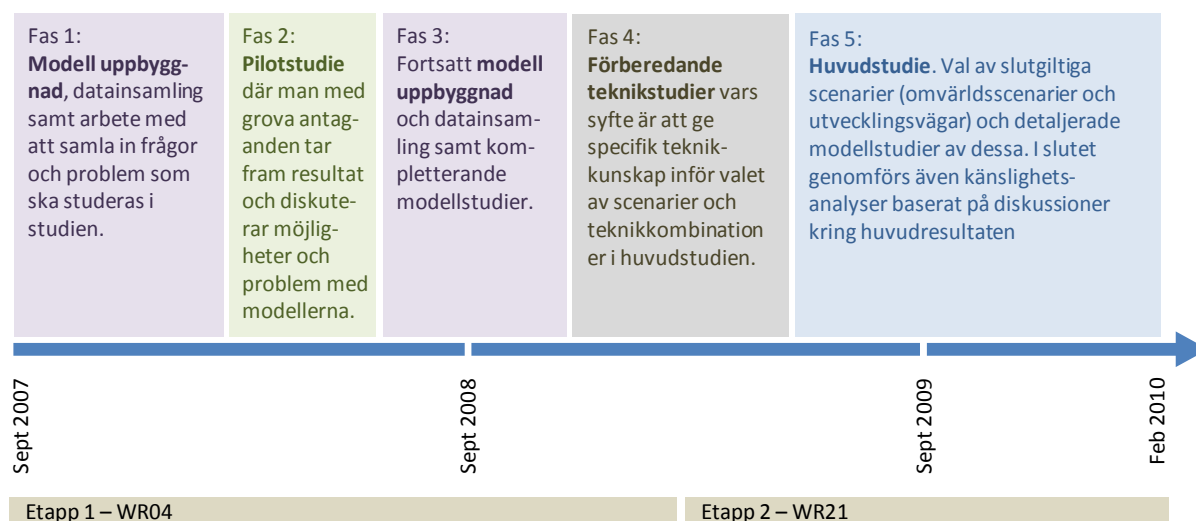
I detta projekt tillför vi inga nya forskningskunskaper inom detta område men vi har tagit fasta på tidigare kunskaper om hur en systemstudie bör genomföras för att se till att modellerna används på ett effektivt sätt i utvecklingen av avfallssystemet och där ovanstående problem beaktas. Praktiskt har detta bland annat inneburit att Systemstudie

Avfall har fått ett projektupplägg där man successivt tillsammans med problemägarna arbetar med modellerna. Detta kräver både många modellkörningar och många möten med arbetsgruppen. Processen är, som nämnts ovan, iterativ där resultaten från modellstudierna genererar nya insikter hos de deltagande vilket medför att man omformulerar frågorna och även tillför nya scenarier som sen studeras med nya modellstudier. Förutom att studiens resultat därigenom får en hög kvalitet så är denna typ av planeringsprocess ett effektivt sätt att förmedla kunskap mellan de medverkande i arbetsgruppen. Man får inte bara ekonomiska och miljömässiga resultat för olika utvecklingsvägar utan även insikter i hur olika processer hänger ihop och påverkar varandra. Mer i detalj innebär metodiken även att:

- Man i projektet definierar en systemgräns som omfattar de organisationer som tillsammans kan fatta beslut om utvecklingen av avfallsbehandlingen.
- Man i projektet fångar upp de problem som organisationerna själva ser som viktiga för den långsiktiga utvecklingen.
- Deltagarna (arbetsgruppen) jobbar iterativt med modeller och indata där man successivt bygger upp kunskap hos de medverkande samt återför kunskap om vad som behöver förbättras i modeller, indata och val av scenarier.
- Deltagarna är med i arbetet med att formulera randvillkor t.ex. omvärldsscenarier och välja ut vilka avfallstekniker/metoder som ska studeras med modellerna.

I figur 6 illustreras hur arbetet har genomförts under de 2,5 år som projektet har löpt. Indelningen med 5 faser är grov och en förenklad sammanfattning av det arbete som genomförts men de visar hur projektet har hanterat delar av ovanstående problematik med hur man bör genomföra systemstudien. Faserna visar den huvudsakliga inriktningen under respektive tidsperiod. Exempelvis har datainsamling och validering skett under hela projektiden likaså t.ex. metodutvecklingen för miljöbedömningar.

Systemstudie Avfall - Processen



Figur 6. Faser i genomförandet av Systemstudie Avfall i Göteborg.

Figure 6. Phases in waste management study of Gothenburg.

I denna redovisning av Systemstudie Avfall kommer vi av naturliga skäl nästan uteslutande att beskriva den sista fasen, dvs **fas 5 huvudstudien**. Detta omfattar allt ifrån antaganden, valda indata, val av scenarier och slutligen de resultat som tagits fram. En intern rapportering av etapp 1 har tagits fram och presenterats för arbetsgruppen, expertgruppen samt WR:s styrelse.

Vi kommer dock här att även kort beröra arbetet i **fas 4 förberedande teknikstudierna** som inte rapporteras någon annanstans. Syftet med dessa förberedande teknikstudier är att studera olika enskilda tekniker var för sig för att därigenom bilda sig en uppfattning om dessa tekniker med avseende på miljöpåverkan och kostnadseffektivitet. I fas 5 utnyttjas dessa kunskaper som grund för att skapa troliga, möjliga eller intressanta utvecklingsvägar för avfallssystemet som helhet med en kombination av dessa tekniker.

Arbetet i fas 4 innebar att ett flödesschema togs fram för de huvudsakliga nya möjliga tekniska förändringar som valts ut för vidare analyser. Schemat illustreras i figur 7. De olika nya tekniker och metoder som valts ut grupperades i tre block.

- **Block 1: Termisk behandling**

- *Bränsleförädling*: Bränsleförädling genom mekanisk sortering och krossning
- *Ny avfallspanna*: Ny traditionell avfallspanna för kraftvärmeproduktion
- *Avfallspanna PTP*: Ny avfallspanna för kraftvärmeproduktion dimensionerad för något finare typer av utsorterade avfallsbränsle framförallt papper, trä och plast (PTP). Anläggningen ger något högre elproduktion jämfört med traditionell avfallspanna samtidigt som anläggningen blir något enklare (dvs något lägre investerings- och driftskostnad)
- *Avfallspanna RT*: Ytterligare lite enklare kraftvärmeanläggning dimensionerad för enbart returträflis (RT). Anläggningen ger något högre elproduktion jämfört med avfallsförbränning PTP
- *Förgasningsanläggning*: Förgasningsanläggning för utsorterat verksamhetsavfall. Samma avfallsfraktioner som för avfallspanna PTP
- *Bränslemarknader*: Externa marknader för utsorterade avfallsbränslefraktioner (typ PTP) samt extern marknad för RT-flis

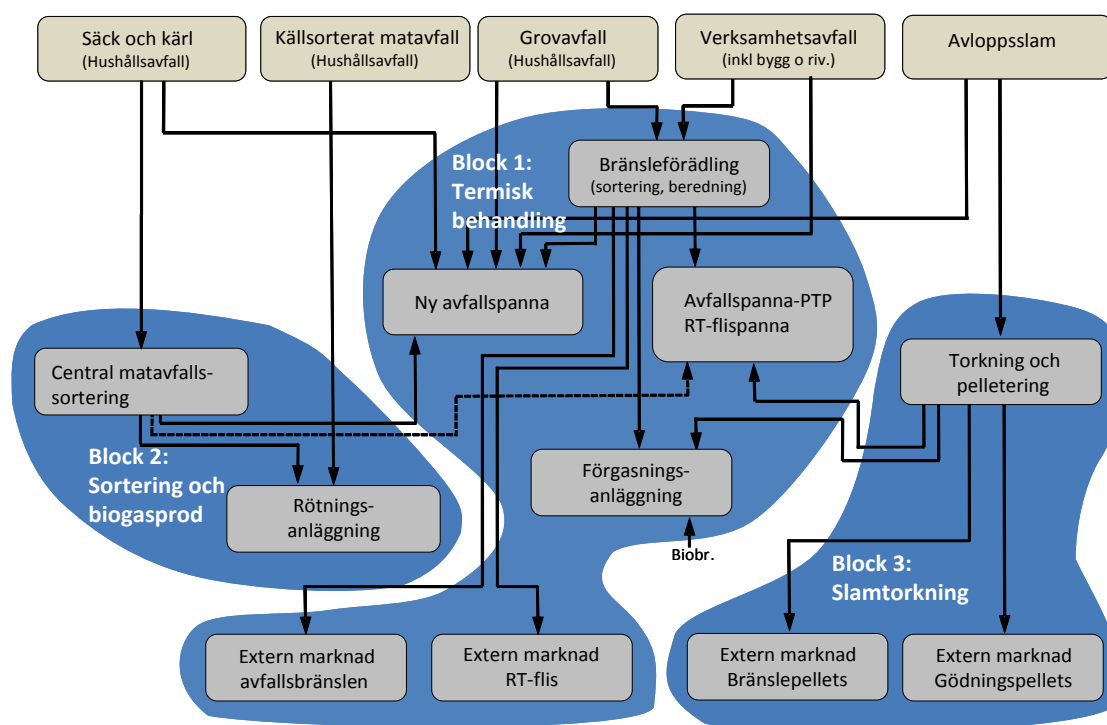
- **Block 2: Biologisk behandling:**

- *Sorteringsanläggning*: Central sorteringsanläggning för hushållens säck- och kärlavfall. Anläggningen antas få god kvalitet på utsorterat matavfall i linje med befintlig anläggning i Ludvika
- *Röttningsanläggning*: Central röttningsanläggning för i huvudsak hushållens matavfall

enligt de planer som arbetats fram i Göteborg

- Block 3: Slambehandling

- *Torkningsanläggning*: Torknings- och pelleteringsanläggning för avloppsslam
- *Bränslemarknad*: Extern bränslemarknad för slampelletts
- *Gödningsmarknad*: Extern gödningsmarknad för slampelletts



Figur 7. Nya tekniker och block av tekniker som studerades i fas 4

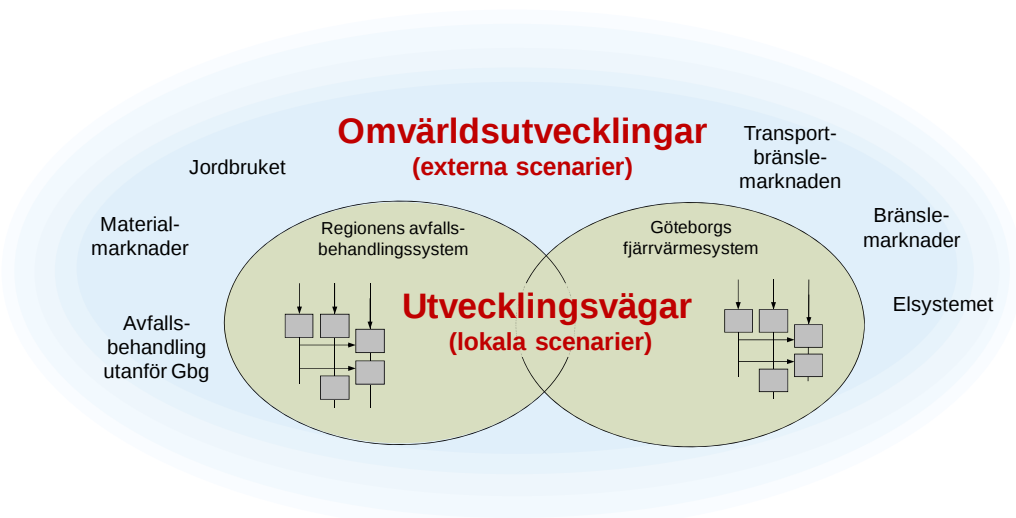
Figure 7. New technologies and groups of technologies that were studied in phase 4

Som nämndes tidigare i detta kapitel så tar denna rapport i huvudsak upp de resultat som togs fram i huvudstudien, dvs fas 5. Detta innebär att efterföljande delkapitel i kapitel 4 samt kapitel 5 och 6 är en presentation av huvudstudien, dvs en presentation av förutsättningar och antaganden, val av scenarier samt av resultat och resultatdiskussion.

4.3 Scenarier för den framtida utvecklingen

Det som styr vad som ska studeras för det framtida avfallssystemet är det val eller randvillkor vi definierar för avfallssystemet. Randvillkoren består dels av att vi väljer vilka tekniker och metoder som ska ingå i analysen och dels hur omvärlden ser ut i framtiden. Den första typen av randvillkor kallar vi för *utvecklingsvägar*. 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 systemet och som är av intresse att analyseras med modellerna. Den andra typen av randvillkor kallar vi för *omvärldsutvecklingar*. Omvärldsutvecklingen beskriver det samhälle som avfallssystemet och fjärrvärmesystemet ska ingå i dvs en beskrivning av vilka krav och möjligheter som externt sätts på dessa två system (t.ex. elpris, uppkomna avfallsmängder, pris på utsläppsrätter för CO₂). Det finns en viktig skillnad mellan utvecklingsvägar och omvärldsutvecklingar. Utvecklingsvägar är något som ansvariga avfalls- och energiaktörer i Göteborgsregionen kan påverka och fatta beslut om. Resultatet från detta projekt ska dessutom ge stöd för just dessa beslut. Omvärldsutvecklingen däremot beskriver förändringar utanför deras system som vi tror kommer att påverka avfalls- och fjärrvärmesystemet och följaktligen de beslut som tas för utvecklingen av dessa system men dessa förändringar i omvärlden kan vi inte påverka utan endast anpassa oss efter. De två typerna av utvecklingar illustreras även i figur 8.



Figur 8. De två typerna av utvecklingar som används i projektet, omvärldsutvecklingar och utvecklingsvägar.

Figure 8. The two types of scenarios that are used in the study, scenarios for changes in the environment (external scenarios) and choices for development in the waste management system and the district heating system (local scenarios).

Tidsperiod

Den tidsperiod som valts för studien är utvecklingen fram till år 2030. Detta är en förhållandevis lång period men perioden ger möjlighet till antaganden om större tekniska förändringar i systemet och perioden speglar även tydligt vilka problem som kan uppstå om man inte anpassar systemet, exempelvis konsekvenserna av fortsatt stigande avfallsmängder. Man bör notera att projektet speglar utvecklingen fram till 2030 genom att göra ett nedslag för år 2030.

4.3.1 Omvärldsutvecklingar - generellt

Inom projektet testades och diskuterades olika val av omvärldsutvecklingar för modellanalysen. Till huvudstudien valdes tre av dessa ut för en mer omsorgsfull analys:

Referens

Referens ska spegla en konservativ utveckling av omvärlden. Omvärlden förändras dock men huvudsakligen kvarstår samma påverkan och styrning som idag. Referens ska inte tolkas som det mest troliga utfallet. Projektet lägger ingen värdering i vilket av tre valda omvärldsutvecklingarna som visar den mest troliga utvecklingen utan alla tre spänner tillsammans upp ett utfallsrum som bedöms som möjligt och troligt.

Materialsål tillväxt

Omvärldsutvecklingen Materialsål tillväxt speglar en utveckling där samhället i stort sätter ett stort värde på att långsiktigt minska miljöbelastningen och att man successivt via styrmedel och ändrade värderingar även uppnår tydliga miljömässiga förbättringar jämfört med dagens system. Den viktigaste förändringen för denna studie är att vi antar att trenden med ökande avfallsmängder bryts så att vi får en sk decouplingeffekt (dvs att avfallsmängderna inte längre ökar i samma takt som den ekonomiska tillväxten). Detta antas leda till att avfallsmängderna endast ökar med befolkningsökningen i regionen. Men utvecklingen innehåller även energibesparingar och tuffare miljömål vilket får en påverkan på systemstudiens resultat. Den ekonomiska utvecklingen antas ligga på samma nivå som i omvärldsutvecklingen ”Referens”.

Materialintensiv tillväxt

Omvärldsutveckling Materialintensiv tillväxt karaktäriseras av att vi får en ekonomisk tillväxt i samhället som överstiger den i ”Referens” och ”Materialsål tillväxt” och att vi även fortsättningsvis får ökad konsumtion av materialbaserade produkter och därmed även en ökad avfallsmängd i proportion till tillväxten. Omvärldsutvecklingen ska inte ses som en motpol till Materialsål tillväxt utan även i denna utveckling finns antagande om en utveckling där samhället styr mot en minskad miljöbelastning.

Ett stort antal parametrar har studerats och varierats i de olika omvärldsutvecklingarna. En viktig del som dock valts att hållas konstant är skattesystemet. Här antas alltså att dagens skattenivåer på ex. bensin, diesel, naturgas till kraftvärme m.m. gäller även år 2030. Naturligtvis kommer flera av dessa skattenivåer att hinna ändras flera gånger om under perioden fram till 2030. Dessa förändringar är dock mycket svåra att förutsäga och därmed har vi här valt detta konservativa antagande.

4.3.2 Omvärldsutvecklingar - avfall

I tabell 7 ges en mer detaljerad beskrivning av omvärldsutvecklingarna som främst rör avfallssystemet och vilka parametrar som används för att definiera dessa utvecklingar kvantitativt.

Tabell 7. Valda parametrar och parametervärden för de tre omvärldsutvecklingarna Referens (REF), Materialsnål tillväxt (MST) samt Materialintensiv tillväxt (MIT)

Table 7. Parameters and values for the three external scenarios (the changes in systems environment).

Parameter	Referens	”Material- snål tillväxt”	”Material- intensiv tillväxt”	Kommentar, källa etc
Avfallssystemet				
Avfallsmängder före materialåtervinning (i och runt Göteborg), ökningstakt 2007-2030	0 % / år 2007-09 2 % / år 2009- (totalt 152%)	0,9 % per år (totalt 124%)	2,8 % / år (totalt 179%)	REF: Nolltillväxt 2007-2009, därefter 2 % / år MST: Växer med befolkningsprognos MIT: Nolltillväxt 2007-2009, därefter 2,8 % / år
Grovavfall, ökningstakt 2007-2030	3,0 % / år (totalt 197%)	0,9 % / år (totalt 124%)	5,0 % / år (totalt 307%)	REF: Antagen nivå, högre än generell historisk tillväxt av hushållsavfall MST: Växer med befolkningsprognos MIT: Antagen högre nivå
Organiskt avfall (efter utsortering till MÅV), ökningstakt 2007-2030	0,9 % / år (totalt 124%)	0,9 % / år (totalt 124%)	0,9 % / år (totalt 124%)	Växer med befolkningsprognos
Brännbart restavfall (efter utsortering till MÅV), ökningstakt 2007-2030	1,5 % / år (totalt 140%)	0,8 % / år (totalt 120%)	1,8 % / år (totalt 150%)	Beräknat utifrån ökning av avfallsmängder före MÅV, antaganden om ökad MÅV samt ökning av grovavfall och organiskt avfall enligt ovan

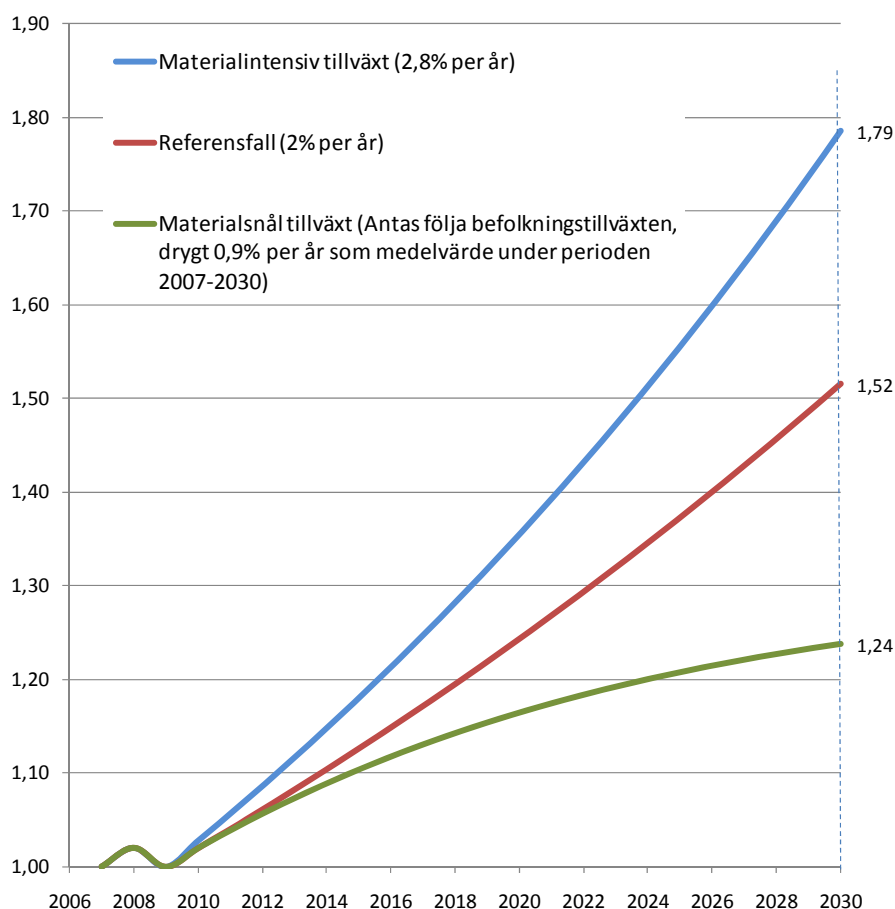
Framtida avfallsmängder

En viktig förändring i omvärlden som starkt kan påverka utformningen av avfallssystemet och dess kostnader samt miljöpåverkan är de antaganden vi gör kring framtida avfallsmängder. Genom flera arbeten under de senaste 15 åren har Profu tagit fram statistik på hur avfallsmängderna historiskt har ökat och även korrelerat dessa med olika faktorer i samhället som till exempel ekonomisk tillväxt, befolkningsmängd och disponibel inkomst. Med hjälp av dessa korrelationer kan man göra framskrivningar för hur stora avfallsmängderna kommer att bli i framtiden baserat på prognoser om tillväxt m.m. Dessa framskrivningar är relevanta och intressanta att utnyttja i detta arbete för att göra

antaganden om vilka avfallsmängder som kan bli aktuella att hantera år 2030. I ett tidigare projekt åt Kretsloppskontoret har detta även gjorts för Göteborg specifikt vilket har utnyttjats som bas för de uppskattningar som görs om mängderna i detta projekt.

En viktig synpunkt att ta hänsyn till när vi använder dessa framskrivningar är att de helt baseras på historiska fakta. Men det finns idag, till skillnad från tidigare, en omfattande diskussion om de ständigt ökande avfallsmängderna och det finns även tankar och idéer om ett aktivt arbete för att minska dessa mängder. Bland annat har EU centralt (Ramdirektivet för avfall) beslutat att varje medlemsland ska ta fram en handlingsplan över hur man ska jobba med så kallad avfallsprevention. Det finns även konkreta tankar kring åtgärder för avfallsprevention. Vi kan idag inte se effekterna av detta arbete men för våra avfallsmängder i prognoserna för 2030 är det relevant att visa vad detta kan leda till. Vi har därför antagit för omvärldsutvecklingen ”Materialsnål tillväxt” att detta preventionsarbete får stor genomslagskraft och att vi får en permanent ”decoupling effekt”, dvs att framtida tillväxt inte i samma utsträckning baseras på ökad flöde av material genom samhället. Hur stor denna decoupling effekt kan bli är självklart svårt att förutspå och det är högst osäkert att vi får någon tydlig effekt överhuvudtaget. Vi har dock antagit för omvärldsutvecklingen ”Materialsnål tillväxt” att mängdökningen successivt minskar och att vi i slutet av perioden endast har en marginellt ökande mängd per år.

För övriga omvärldsutvecklingar har vi valt en utvecklingstakt baserat på historiska fakta men även här har vi valt att något sänka ökningstakten av samma skäl som ovan. I figur 9 illustreras de antaganden som görs för avfallsmängderna fram till 2030 i de tre omvärldsutvecklingarna. Även om ökningstakten kan tolkas som dramatisk i figuren och att det är stora skillnader mellan hög och låg ökningstakt så har vi ändå i detta projekt valt bort ytterlighetsvärdena för i så stor utsträckning som möjligt ta med rimliga och fullt möjliga utfall. Startåret för utvecklingen är det basår som används i projektet dvs år 2007. Den dip som visas för år 2009 är grova skattningar av konsekvenserna från lågkonjunkturen. Det kommer även framöver att förekomma svängningar framförallt beroende på konjunkturen men i figuren illustreras endast en medelutveckling under perioden.



Figur 9. Utveckling för uppkomna avfallsmängder för de tre omvärldsutvecklingarna relativt mängden år 2007. Utvecklingen avser både hushållsavfall och verksamhetsavfall och visar uppkomsten innan utsorteringen till materialåtervinning.

Figure 9. Future increase in waste quantities for the three external scenarios for the changes in the environment. The rates are used for both MSW and industrial waste. The values show the relative changes from the quantities reported for 2007. The values are for the total amount of produced waste before separation to material recovery.

Alternativ produktion av näringsämnen

Organiska gödselmedel från rötning och kompostering används inom jordbruket och ersätter användning av handelsgödsel. Det totala näringsinnehållet varierar mellan de olika typerna av biogödsel (jord baserad på komposterat avfall, jord från kompostering av rötslam och biomull (slam från rötning av matavfall)). Därtill görs olika antaganden om hur stor del av innehållet av kväve, fosfor och kalium (NPK) som nyttiggörs. Dessa antaganden beror dels på hur mycket av växtnäringen som är växttillgänglig och dels vad vi antar om att produkterna faktiskt ersätter inköp och användande av handelsgödsel. Användning som anläggningsjord medför till exempel inte mindre handelsgödselanvändning. För värden på antaganden, se Bilaga B.

Genom att blanda in sand, torv och bark i komposterat slam eller matavfallskompost erhålls en jordprodukt där man skulle kunna ersätta alternativ produktion av jord. Vi har tidigare inte haft tillgång till miljödata för sådan jordtillverkning varför vi istället använt

LCI-data för handelsgödsel. Försvårande omständigheter i beräkningen av ersatt handelsgödselbehov är att fördelningen mellan N-P-K skiljer sig mellan olika organiska gödselmedel (likaså i vilken form kvävet föreligger) och att handelsgödsel i sin tur framställs i färdiga blandningsförhållanden mellan NPK. För att kunna kompensera för de mängder som uppstår i resp. scenario har vi isolerat miljödata för "rena" gödselmedel, d.v.s. 100 % N, 100 % P etc. I varje enskilt fall räknar vi med att motsvarande mängder konstgödsel kan undvikas. Det betyder att i det enskilda fallet, för den enskilde odlaren, så kanske inte all handelsgödning kan ersättas. Värderingen av nyttan med att ersätta handelsgödsel sker genom att kreditera utsläpp och energianvändning från produktion av kvävegödsel, fosforgödsel och kaliumgödsel. Data för konstgödselproduktion baseras på Davies & Haglund (1999).

De totala emissionerna från spridning och mark består av luftemissioner från transport av rötrest/kompost till åkermark, luftemissioner från spridningsfordon, luftemissioner av frigjorda substanser vid spridning samt luftemissioner från åkermark.

Markmodellen i ORWARE är ett komplement till spridningsmodellen. Markmodellen beskriver vad som sker med kvävet efter spridning på åkermark. Det antas att kväve förekommer i tre former, ammoniumkväve, nitratkväve och organiskt bundet kväve. Modellen ger emissioner från mineralisering av organiskt bundet kväve under första året efter spridning samt de långtida effekterna av mineralisering. Genom att inkludera markmodellen får man med skillnaden mellan organiska gödselmedels och handelsgödselmedels långtida miljöpåverkan efter gödsling. I organiska gödselmedel är inte kvävet lika fixerat som i handelsgödsel. Det leder till en lägre effektivitet, d.v.s. endast en mindre del av näringsämnena i slam och rötrest kommer växterna tillgodo, resten förloras och ger utsläpp av ammoniak och nitrat. Effektiviteten för de organiska gödselmedlen jämförs med handelsgödsel med avseende på växttillgänglighet.

4.3.3 Omvärldsutvecklingar - energi

I tabell 8-11 nedan presenteras de antaganden som gjorts kring storlek på fjärrvärmeleveranser, energipriser och sammansättning av marginalelproduktion för de tre omvärldsutvecklingarna. Parametrarna skall spegla situationen för år 2030 (för de ekonomiska parametrarna används 2009 års penningvärde). Under tabellerna följer en beskrivning av vilka källor, bedömningar etc som utnyttjats för att ta fram dessa parametrar.

Fjärrvärmeleveranser

Tabell 8. Antaganden för fjärrvärmeleveranser år 2030, för tre olika omvärldsutvecklingar.

Table 8. Assumptions for district heating deliveries in year 2030, for three different external scenarios

Parameter	Omvärldsutveckling		
	Referens	Materialsnål tillväxt	Materialintensiv tillväxt
Fjärrvärmeleveranser i Göteborg år 2030 jämfört med år 2007 (% förändring)	- 13 %	- 26 %	+ 3 %

Fjärrvärmebehovet i Göteborg år 2030 har uppskattats i nära samråd med Göteborg Energi. En sammanviktning av Göteborg Energis egna bedömningar och de prognoser som tagits fram i Profu (2009) som studerar fjärrvärmebehovet i Sverige år 2025 har lett fram till de antaganden som görs här. Omvärldsutvecklingen "Referens" lutar sig mot det basfall som tagits fram i rapporten Profu (2009) vilket anger 10 % minskade leveranser fram till år 2025. Under antagande att denna trend håller i sig ges den totala minskningen på 13 % till år 2030. Samma förfarande har nyttjats för omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" som kopplats till scenariot "Fjärrvärme-låg" i Profu (2009) och för omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt" som kopplats till scenariot "Fjärrvärme-hög" i samma rapport.

Bränslepriser

Tabell 9. Antaganden för bränslepriser i fjärrvärmeproduktion år 2030, exklusive skatter, fritt anläggning (dvs inklusive ev transportkostnader), för tre olika omvärldsutvecklingar. Priser anges i kr/MWh i 2009 års penningvärde

Table 9. 2030's assumptions for fuel prices for energy production, excluding tax's, free transport (some transport costs are included), three different external scenarios. Prices are in sek/MWh in reference to 2009's values

Parameter	Omvärldsutveckling		
	Referens	Materialsnål tillväxt	Materialintensiv tillväxt
Naturgas	245	327	245
Skogsflis	230	300	230
Pellets	360	430	360
Bioolja	770	700	840
Eldningsolja, E05	400	330	470

Naturgaspriserna är framtagna av Göteborg Energi, där man utgått från de elprisantaganden som tagits fram inom projektet. Inom Göteborg Energi utförs kontinuerligt scenarioarbeten vilket inkluderar framtagandet av prognoser på naturgaspriset. För att Göteborg Energis prognos på naturgaspriset skall överensstämma med övriga parametrar har priset matchats mot det elpris som gäller i de tre olika scenarierna. En förutsättning för prognoserna för naturgasen är att priset frikopplas från oljepriset, mot vilket det vanligen är kopplat idag. Om denna frikoppling kommer att ske eller inte är idag mycket svårt att säga. För de analyser som utförs här är det dock

framförallt viktigt att naturgaspriset har en tydlig koppling till elpriset, då detta påverkar driften av Göteborgs fjärrvärmesystem. Relationen naturgas-/oljepris påverkar inte resultaten i analyserna då naturgaspriset endast påverkar fjärrvärmesystemet medan oljepriset endast påverkar priset på försåld fordonsgas. Därav har vi här valt att fokusera på kopplingen mellan naturgas- och elpris och antagit att frikopplingen mellan naturgas- och oljepris skett. Att priset på naturgas är högre i "Materials-nål tillväxt" beror på de skärpta klimatkrav som antas gälla i denna utveckling, vilket leder till en ökad efterfrågan på naturgas och en motsvarande minskning av efterfrågan på kol. Ett av de mer kostnadseffektiva sätten att minska koldioxidutsläppen i Europa är nämligen att ersätta kol som bränsle för elproduktion med naturgas.

Priset på skogsflis relateras till priset på el och elcertifikat. Vid höga priser på el och/eller elcertifikat ökar efterfrågan för skogsflis och därmed ökar även priset på bränslet. Beräkningen baseras på dagens relation mellan priset på skogsflis, el och elcertifikat. Skogsflispriset beräknas därefter för de tre olika omvärldsutvecklingarna givet det framtagna priset på el och elcertifikat.

Priset på pellets antas följa utvecklingen för skogsflispriset. Utgångspunkten är priset på pellets år 2009. Fram till år 2030 antas pelletspriset förändras linjärt med skogsflispriset. En ökning av priset på skogsflis med 10 kr/MWh ger därmed en lika stor ökning av pelletspriset.

Priset på bioolja väntas följa prisutvecklingen för eldningsolja plus de energi- och miljöskatter som tillkommer vid användandet av eldningsoljan. Anledningen är att dessa två bränslen till stor utsträckning är utbytbara mot varandra.

Priset på eldningsolja beräknas följa utvecklingen för råoljepriset. Beräkningen grundas på dagens korrelation mellan eldningsolja och råolja, varefter priset på eldningsolja år 2030 kan beräknas givet priset på råolja. Se mer om råoljeprisets utveckling nedan.

Övriga energipriser

Tabell 10. Antaganden för övriga energipriser (utöver de som angetts i tabell 9) år 2030, för tre olika omvärldsutvecklingar. Priser anges i 2009 års penningvärde

Table 10. Assumptions for other energy prices (those that are not included in table 9) in 2030, for three different external scenarios on energy prices. Prices are set from rates in 2009

Parameter	Omvärldsutveckling		
	Referens	Materialsnål tillväxt	Materialintensiv tillväxt
Råolja (\$/fat) ⁵	115	90	140
El, exkl nätavgifter (kr/MWh)	450	600	500
Elcertifikat (kr/MWh)	300	350	275
Utsläppsrätter (kr/ton CO ₂)	300	450	350
Bensin, MK1, inkl skatter (kr/MWh)	1380	1260	1500
Diesel, MK1, inkl skatter (kr/MWh)	1200	1070	1330
Fordonsgas (kr/MWh)	1290	1165	1415

Råoljeprisets utveckling grundar sig på prognoser framtagna av IEA (2009) vilka tagit fram ett referensscenario samt ett alternativt scenario för råoljepriset fram till år 2030. Dessa båda matchar väl in med omvärldsutvecklingarna "Referens" samt "Materialsnål tillväxt" och därmed kan dessa prognoser nyttjas utan korrigeringar. Att priset sjunker i omvärlden "Materialsnål tillväxt" grundar sig på att efterfrågan på råolja antas vara lägre i denna utveckling. För att efterfrågan, och därigenom priset, skall sjunka krävs att andra kostnader för nyttjandet av bränslet ökar, så som utsläppsrätter och skatter. Av utvecklingsvägen framgår att vi har ett högre pris på utsläppsrätter. När det gäller skatter är det andra länder som måste höja dessa i och med att skatterna på oljeanvändning redan är höga i Sverige, samt att världsmarknadspriset på råolja inte påverkas förrän ett större antal länder inför liknande skattenivåer. IEA (2009) ger inget ytterligare scenario som kan matchas mot omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt". Denna omvärldsutveckling skall spegla en utveckling motsvarande "Referens" men med den skillnaden att en kraftigare tillväxt leder till en ökad efterfrågan på energi och bränslen. Priset på råolja bör därför bli högre jämfört mot omvärldsutvecklingen "Referens". För att skapa en spännvidd i parameteruppsättningen har vi valt att ansätta priset för omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt" genom att ta skillnaden i pris mellan "Referens" och "Materialsnål tillväxt" och addera denna till priset i omvärldsutvecklingen "Referens". Fördelen med detta förfaringssätt är att man härigenom skapar ett relativt stort spann mellan högsta och lägsta råoljepris, vilket är rimligt då osäkerheterna i utvecklingen av denna marknad är betydande. Svagheten är att det övre priset inte har hängts upp på något

⁵ Omräkningskurs 1\$ = 7 kr

grundligt genomfört prognosarbete. Osäkerheten i oljepriset påverkar dock endast i mindre utsträckning säkerheten i de resultat som tas fram inom detta projekt. Orsaken är att oljepriset endast påverkar resultatet indirekt genom priset för eldningsolja, bioolja samt för fordon drivmedel. De två förstnämnda nyttjas mycket lite eller inte alls i Göteborgs energisystem och därmed blir påverkan på resultaten mycket liten. När det gäller priset på drivmedel så gäller att de höga energi- och CO₂-skatterna på dessa ger en utjämnande effekt på priset. Med andra ord, även om priset på råolja varierar kraftigt så blir förändringarna i priset på drivmedel relativt små.

Elpriset för år 2030 baseras på modellberäkningar som utförts inom ramen för forskningsprojektet Nordic Energy Perspectives (NEP, 2009). I omvärldsutvecklingen "Referens" ingår att dagens klimatåtaganden bibehålls. Detta innebär främst att EUs mål om att minska utsläppen av växthusgaser med 20 % till år 2020 uppfylls. Modellberäkningar visar i detta fall att priset på el kan hamna kring 450 kr/MWh. I omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" ingår istället en skärpning av dagens klimatåtaganden. Enligt beräkningar i Nordic Energy Perspectives leder en skärpning av EUs åtagande till 30 % minskning av utsläppen av växthusgaser till att priset på el år 2030 kan uppgå till omkring 600 kr/MWh. Avslutningsvis för omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt" gäller samma klimatåtaganden som i fallet "Referens", däremot skapar en högre tillväxt en större efterfrågan på el. Här bedöms dock att den ökade efterfrågan har en mindre påverkan på elpriset jämfört mot de högre klimatåtaganden som gäller i omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt". Elpriset för omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt" antas därför till 500 kr/MWh. Detta har dock inte varit möjligt att hänga upp på några modellresultat, vilket gör antagandet mer osäkert än de övriga två.

Elcertifikatpriset i omvärldsutvecklingen "Referens" antas till samma pris år 2030 som idag. Anledningen är att dagens klimatåtaganden antas bibehållas samt att elpriset i omvärldsutvecklingen ungefär motsvarar dagens prisnivå. I teorin kan priset på elcertifikat beräknas som kostnaden för den dyraste produktionsenheten av förnybar energi som nyttjas (marginalkostnadsprincipen) minus det aktuella elpriset. Historiskt sett har dock priset på elcertifikat legat högre, vilket till viss del kan förklaras med att marknaden förutspår en framtida brist på certifikatbaserad elproduktion. Klart är dock att det finns ett omvänt förhållande mellan el- och certifikatpris. Dvs att ett ökat elpris ger en sänkning av certifikatpriset och vice versa. Detta förhållande nyttjas för att bedöma elcertifikatpriset i omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt". Jämfört mot omvärldsutvecklingen "Referens" så ligger elpriset i "Materialintensiv tillväxt" 50 kr/MWh högre. Detta skulle med ovan beskrivna resonemang ge en sänkning av certifikatpriset på 50 kr/MWh. Historiskt sett har dock kopplingen visat sig vara något svagare än i teorin, därav har här valts att priset på elcertifikat endast minskar med hälften, dvs 25 kr/MWh. I omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" återfinns ökade ambitioner nationellt och internationellt för mer förnybar energi. Därmed bör priset på elcertifikat öka, oavsett priset på el. Exempelvis kan en ökad internationell efterfrågan på förnybar energiproduktion som vindkraft driva upp investeringskostnaderna och därmed höja marginalkostnaden för förnybar energi. Exakt var priset på certifikaten med en sådan utveckling kan hamna är mycket svårt att säga. Målet har här varit att beskriva påverkan på resultaten av en tydlig höjning av certifikatpriset. En tydligt och fullt rimlig höjning från dagens läge har här antagits till 50 kr/MWh.

Priset på utsläppsrätter har främst baserats på antaganden som gjorts inom forskningsprogrammet Nordic Energy Perspectives. Att liknande antaganden nyttjas här ger dels en överensstämmelse mellan utsläppsrättspriser och elpriser (genom att även elpriserna här främst grundar sig på antaganden från detta forskningsprogram) och dels nyttjas kunskaperna från hela forskarkollektivet som ingått i programmet. Omvärldsutvecklingen i "Referens" stämmer väl överens med den som beskrivs i forskningsprogrammets uppställda referensscenario. Därmed har samma utsläppsrättspris nyttjats här. Omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" speglar i stort sett samma utveckling som forskningsprogrammets scenario kallat "Global Policy". Gemensamt är att klimatåtagandena skärps jämfört mot dagens nivåer. I scenariot "Global Policy" har man antagit ett utsläppsrättspris på 400 kr/ton CO₂. Samtidigt kan man konstatera att andra prognosinstitut gör andra uppskattningar om ett framtida utsläppsrättspris. Av vikt här ses framförallt IEA (2009) som i detta projekt nyttjats för uppskattningar om priset på råolja. I deras "hållbarhetssscenario" uppskattar man priset på utsläppsrätter till omkring 800 kr/ton CO₂. I och med att elpriset i omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" kopplats till modellberäkningar från Nordic Energy Perspectives scenario "Global Policy" är det värdefullt att även utsläppsrättspriset har en liknande koppling. För att behålla denna koppling och samtidigt beakta uppskattningar från IEA (2009) har här valts ett något högre utsläppsrättspris jämfört mot "Global Policy"-scenariot. Detta resulterar även i att spannet mellan högsta och lägsta prognostiserade pris på utsläppsrätter ökar något, vilket är värdefullt för att spegla olika möjliga omvärldsutvecklingar. I omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt" bör priset ligga högre jämfört mot "Referens" men lägre än "Materialsnål tillväxt". Anledningen är att den högre energiefterfrågan driver upp priset på utsläppsrätter jämfört mot fallet i "Referens". Denna drivkraft är dock mindre tydlig än den vi ser i fallet "Materialsnål tillväxt" där hårdare krav på klimatåtgärder ger en mer direkt påverkan på priset på utsläppsrätter. Här speglas detta genom att priset antas ligga mellan de två tidigare antagandena, med en liten förskjutning åt fallet "Referens".

Priset på drivmedel (bensin och diesel) följer helt prisutvecklingen för råolja, vilken beskrivits ovan. Priset på dessa drivmedel påverkar kostnaden för de transporter som sker i analyserna. Dessa kostnader är oftast små i förhållande till övriga kostnader och intäkter, vilket gör att drivmedelsprisernas direkta påverkan på resultaten blir relativt liten. Indirekt ger de dock en stor påverkan genom att priset på producerad fordonsgas bedöms prissättas efter priset på bensin och diesel, här har priset satts som ett medelvärde mellan bensin- och dieselpriiset⁶.

⁶ Här har antagits att alternativet till fordonsgas producerad av Göteborgs avfallssystem utgörs av de fossila drivmedlen bensin och diesel. Detta antagande är för större delen av Sverige ett relevant antagande. För just Göteborg där man också har tillgång till naturgas kan man även argumentera för att det alternativa drivmedlet är naturgas.

Alternativ elgenerering och sammansättning av marginalelproduktion

Tabell 11. Antaganden för sammansättning av marginalelproduktion år 2030 samt resulterande nettoutsläpp från denna produktion, för tre olika omvärldsutvecklingar.

Table 11. Assumptions for the composition of marginal electricity production in 2030 along with emissions from production of electricity in reference to three different external scenarios

Parameter	Omvärldsutveckling		
	Referens	Materialsnål tillväxt	Materialintensiv tillväxt
Biobränsle (%)	5	4	5
Vindkraft (%)	5	29	5
Naturgas (%)	9	20	9
Kolkraft (%)	81	7	81
Kolkraft med koldioxidlagring (%)	0	40	0
Resulterande utsläpp av koldioxid från marginalelproduktion (kg CO ₂ /MWh el)	725	160	725

Om Göteborgs avfallssystem genomför en förändring som innebär att man använder/genererar mer eller mindre el så resulterar detta i att någon eller några andra anläggningar i elsystemet förändrar sin drifttid. Profu har under flera år arbetat med att analysera effekterna av liknande förändringar. Det synsätt som nyttjas här grundas på den dokumentation som återfinns i rapporten Elforsk (2008). I denna rapport genomförs modellberäkningar av hur utsläppen av växthusgaser påverkas till följd av en förändrad elproduktion/elanvändning i Sverige. Ett antal olika scenarier har ställts upp och i samråd med författarna har dessa matchats till de tre scenarier som nyttjas i detta projekt. Omvärldsutvecklingarna "Referens" samt "Materialintensiv tillväxt" har matchats till ett medelvärde av två grundfall från Elforsk (2008) (i rapporten benämnda "Ref" och "Fos"). Omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" har istället matchats till ett scenario som beskriver en situation med betydligt högre priset på utsläppsrätter (i rapporten benämnt "45 EUR/ton"), vilket kan sägas spegla en situation med högre klimatåtaganden enligt de förutsättningar som gäller i omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt".

4.3.4 Utvecklingsvägar

Som nämnts inledningsvis i kapitlet så används två typer av scenarier, omvärldsutvecklingar och utvecklingsvägar. Utvecklingsvägarna visar på tekniska förändringar som berörda i Göteborg kan besluta om. Tre stycken utvecklingsvägar har valts ut av projektets arbetsgrupp för vidare modellstudier:

- **Business-as-usual**
- **Maximerad näringsåterföring**
- **Maximerad elproduktion**

Dessa tre utvecklingsvägar har inte valts ut för att de är mest troliga utvecklingarna utan istället för att de är intressanta möjligheter för framtiden och att det finns ett behov av att förstå de övergripande konsekvenserna av dessa val. Alla tre valen ses som fullt möjliga och samlar de huvudtankar på teknisk utveckling som man idag ser som möjliga och rimliga för att fortsätta förbättra systemen. Inför valet av dessa utvecklingsvägar fanns flera ytterligare alternativ som diskuterades, framförallt under fas 4. Men för att begränsa antalet studerade alternativ och utnyttja de tillgängliga resurserna i projektet så effektivt som möjligt så valdes dessa tre utvecklingsvägar ut. Ytterligare några frågeställningar fångas upp i specifika känslighetsanalyser. Totalt genomfördes 17 stycken sammanhängande. Antalet 17 ges av att vi kombinerar de tre omvärldsutvecklingarna med de tre utvecklingsvägarna samt adderar 8 stycken känslighetsanalyser. De omvärldsutvecklingar och utvecklingsvägar som nyttjats för känslighetsanalyserna framgår av tabell 12. Känslighetsanalysen Alternativ systemgräns har genomförts i samverkan med annat projekt där förutsättningarna skilt sig något från detta projekt vilket gör att denna inte har placerats in i tabellen. Utvecklingsvägarna beskrivs mer utförligt nedan medan känslighetsanalyserna beskrivs under avsnitt 5.2.

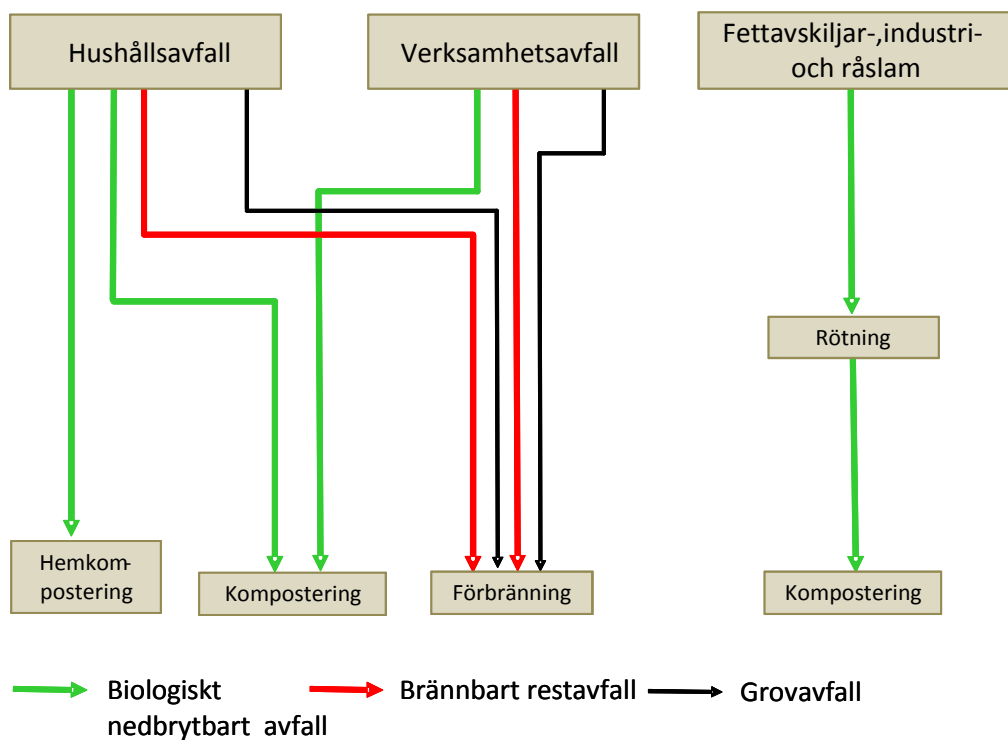
Tabell 12. Beskrivning av vilka omvärldsutvecklingar och utvecklingsvägar som nyttjats för sju av de åtta känslighetsanalyserna. Den sista känslighetsanalysen (Alternativ systemgräns) har genomförts i samverkan annat projekt där förutsättningarna skilt sig något från detta projekt.

Table 12. Description of the local and external scenarios that's been used for 7 out of 8 sensitivity analysis. The last analysis (An alternative system approach) was done in combination with another project where the conditions came from a portion of that project

Omvärldsutveckling/ Utvecklingsväg	Referens	Materialsål tillväxt	Materialintensiv tillväxt
Business-as-usual	Fossil kolandel i avfall till förbränning		
Maximerad näringsåterföring		Central mat-avfallssortering	
Maximerad elproduktion		- Slampelletets till åkermark - Slamförbränning - Slam till åkermark - Slam- och biogödselpelletets till åkermark	Ökad elproduktion genom förgasning

Business-as-usual

I figur 10 beskrivs schematiskt avfallsflödena i det studerade systemet enligt utvecklingsvägen "Business-as-usual". Utvecklingsvägen karaktäriseras av en "traditionell utveckling" i Göteborg med stor andel avfallsförbränning. Kapaciteten i dagens anläggningar anpassas till de mängder som uppkommer år 2030. Källsorteringen byggs ut i takt med avfallsmängderna vilket innebär att merparten av ökade avfallsmängderna kommer att gå till Sävenäs AKV (andelen matavfall som sorteras ut är därmed densamma år 2030 som idag). Dagens centrala hallkompostering vid Marieholm används fortsatt för att behandla det utsorterade matavfallet vilket ger en jordprodukt. Vid Gryaab fortsätter verksamheten som idag, dvs att man tar emot och rötar fettavskiljarslam, industriellt slam och råslam från avloppsreningen i befintlig rötningsanläggning. Biogasen uppgraderas som idag till fordonsgas. Det avvattnade rötade slammet strängkomposteras och används sedan för mark- och anläggningsändamål (precis som idag). Den våta delen från avvattningen förs tillbaka till avloppsreningsverket. I de tre omvärldsutvecklingarna uppkommer olika mängder avfall vilket innebär att anläggningarnas kapaciteter kommer att byggas ut olika mycket. Ytterligare indata och beskrivning av teknikerna återfinns i Bilaga B.

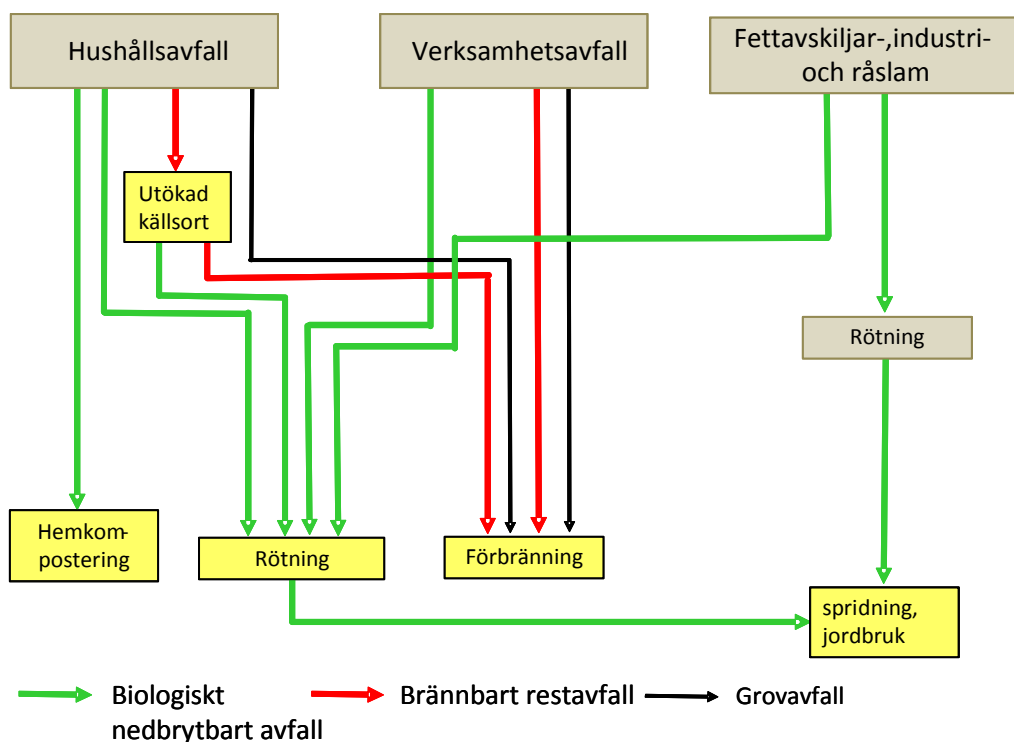


Figur 10. Förenklat flödesschema över avfallsflöden i det studerade systemet (Göteborgs avfalls- och avloppsbehandlingssystem) år 2030 enligt utvecklingsväg "Business-as-usual"

Figure 10. Simple version of the flow chart over the waste systems that were studied (the waste and waste water treatment system in Gothenburg). This is the developments for the "Business-as-usual" in 2030.

Maximerad näringsåterföring

I denna utveckling sker en förskjutning mot en större andel biologisk behandling jämfört med "Business-as-usual". Avfallsflödena i utvecklingsvägen beskrivs i figur 11. Källsorteringen byggs ut kraftigare och en ny rötningsanläggning ersätter kompostering av matavfall. Rötningsanläggningen tar även hand om fettavskiljarslam och industriellt slam som idag rötas av Gryaab. Biogasen uppgraderas till fordonsgas. Den avvattnade rötresten återförs till jordbruk som gödsel, medan den våta delen från avvattningen renas biologiskt (här omvandlas kvävet i vattenlösningen till kvävgas och emitteras till luft) innan det släpps ut till recipient (vattendrag som tar emot ett renat vatten). Även det rötade avloppsslammet återförs till jordbruk som gödsel, istället för att komposteras och användas för anläggningsändamål vilket sker i "Business-as-usual". Kapaciteten i Sävenäs AKV anpassas för att ta hand om de mängder som återstår efter källsortering till rötning. Ytterligare indata och beskrivning av teknikerna återfinns i Bilaga B.

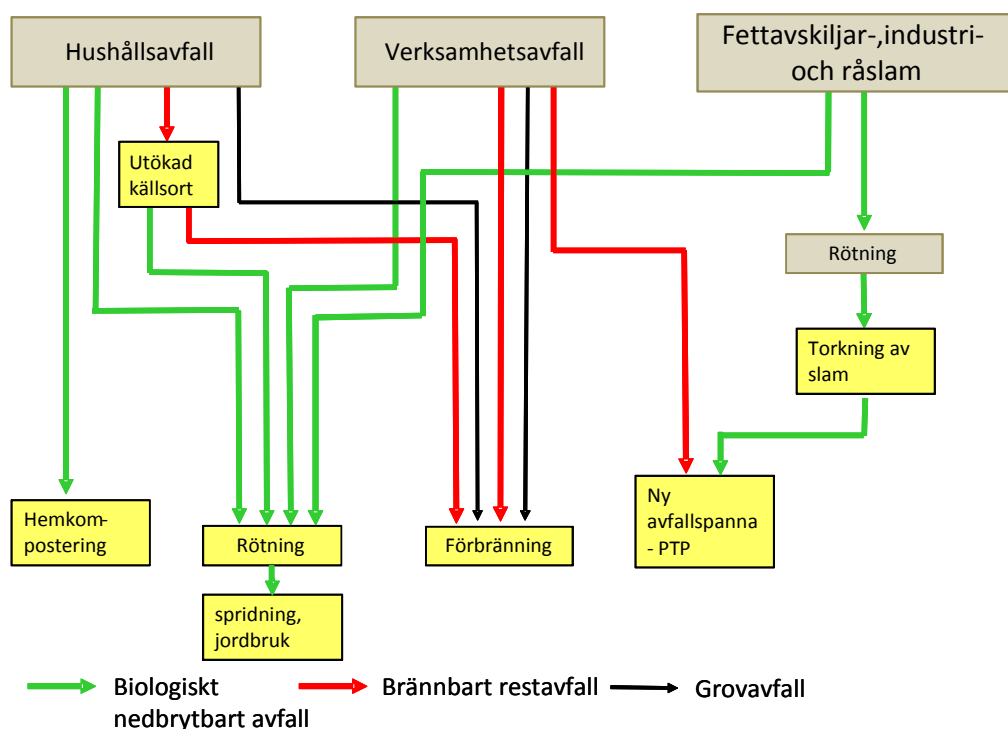


Figur 11. Förenklat flödesschema över avfallsflöden i det studerade systemet (Göteborgs avfalls- och avloppsbehandlingssystem) år 2030 enligt utvecklingsväg "Maximerad näringsåterföring". Gula rutor indikerar en förändring gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual"

Figure 11. Simple flow chart over the flow of waste in 2030 in the system that was studied (the waste and waste water treatment system in Gothenburg with reference to the development in "Maximerad näringsåterföring". The yellow box's show the changes under the development in "Business-as-usual"

Maximerad elproduktion

Avfallsflödena för denna utvecklingsväg åskådliggörs i figur 12. Här sker en förskjutning mot rötning och utsortering av avfallsbränslen jämfört med "Business-as-usual". Källsortering och rötning byggs ut på samma sätt som i "Maximerad näringsåterföring". Samtidigt sker ytterligare en krossning av utsorterade avfallsbränslen från brännbart grov- och verksamhetsavfall som i "Business-as-usual" går till Sävenäs AKV. Dessa krossade utsorterade avfallsbränsle förbränns i en ny anläggning (avfallspanna-PTP) med ett något högre elutbyte än Sävenäs AKV. Det avvattnade rötade avloppsslammet hos Gryaab torkas i en slamtork till pellets som också förbränns i avfallspanna-PTP. Värmen till slamtorken tas från fjärrvärmesystemet, vilket ökar värmebehovet något. Kapacitet i Sävenäs AKV anpassas till de mängder som återstår efter källsortering till rötning samt efter krossning av utsorterade avfallsbränslen till avfallspanna-PTP. Ytterligare indata och beskrivning av teknikerna återfinns i Bilaga B.



Figur 12. Förenklat schema över avfallsflöden i det studerade systemet (Göteborgs avfalls- och avloppsbehandlingssystem) år 2030 enligt utvecklingsväg "Maximerad elproduktion". Gula rutor indikerar en förändring gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual"

Figure 12. 2030's Simplified flow chart over the waste system by "Maximerad elproduktion". The yellow boxes show development in comparison to the development in the "Business-as-usual"

4.4 Funktionella enheter

I alla miljösystemstudier är det väsentligt att man noggrant funderar över vad det är för miljöjämförelse som ska genomföras så att resultaten blir stringenta och konsekventa. En grundläggande förutsättning är att man verkligen jämför två fullt likvärdiga alternativ. Med likvärdiga avses här att de fall som jämförs verkligen producerar samma mängd av nyttigheter, d.v.s. tillfredställer det behov som efterfrågas av systemet.

Av denna anledning har man för livscykelanalyser och även för andra miljösystemstudier skapat några olika metoder för att jämföra olika alternativ med varandra. Gemensamt för dessa är att man definierar en uppsättning samhällsfunktioner som det befintliga systemet och nya förslag till systemlösningar måste uppfylla. Därefter jämförs de olika förslagen och bedömningar görs om vilket förslag som ger lägst miljöpåverkan i förhållande till den/de funktion/funktioner som ska uppfyllas. Dessa funktioner kvantifieras i något som benämns funktionella enheter. I denna studie finns flera funktionella enheter, exempelvis behandlas en viss mängd avfall, produceras en viss mängd fjärrvärme, m.m. Den kombination av funktionella enheter som använts i huvudstudien till Systemstudie Avfall framgår av tabell 13.

Vi har här valt att använda tre olika uppsättningar funktionella enheter, en uppsättning för respektive omvärldsutveckling. I varje uppsättning används den största produktionen av respektive nytthet (el, värme mm) som uppkommer från avfalls- och fjärrvärmesystemet i de olika utvecklingsvägarna. I de fall när den studerade utvecklingsvägen inte producerar hela den nyttigheten så kompletteras modellresultatet med externt producerade nyttigheter. Exempelvis, i ett av fallen produceras kompost och rötrest som totalt innehåller 913 ton kväve, vilket är det högsta värdet för kväve för de utvecklingsvägar som studeras under just den specifika omvärldsutvecklingen. I övriga utvecklingsvägarna under samma omvärldsutveckling produceras alltså en mindre (eller lika stor) mängd kväve och resterande mängd upp till 913 ton måste då tillföras externt genom användning av handelsgödsel. Den miljöpåverkan som uppstår från att externt producera och transportera denna mängd handelsgödsel adderas till den miljöpåverkan som just denna utvecklingsväg ger upphov till.

Tabell 13. Funktionella enheter för modellstudierna i huvudstudien, dvs värme, el, drivmedel etc som det studerade systemet skall tillhandahålla

Table 13. Functional units used for model studies in the main study, i.e. the amount of heat, electricity, transport fuel etc that the analyzed system should provide

Omvärldsutveckling	Funktion	Funktionell enhet
Referens	Avfallsbehandling	1 187 796 ton/år
	Energiproduktion	Fjärrvärme: 1 646 GWh/år Elproduktion: 593 GWh/år
	Transportsträcka (till följd av biogasproduktionen)	Buss, transportsträcka: 1 459 736 mil/år Bil, transportsträcka: 6 113 268 mil/år
	Produktion av växtnäring (avsättning rötrest/kompost)	Kväve: 913 ton/år Fosfor: 686 ton/år Kalium: 185 ton/år

Omvärldsutveckling	Funktion	Funktionell enhet
Materialsnål tillväxt	Avfallsbehandling	1 091 732 ton/år
	Energiproduktion	Fjärrvärme: 1 377 GWh/år Elproduktion: 195 GWh/år
	Transportsträcka (till följd av biogasproduktionen)	Buss, transportsträcka: 1 459 736 mil/år Bil, transportsträcka: 6 113 268 mil/år
	Produktion av växtnäring (behövs för rötrest/kompost)	Kväve: 913 ton/år Fosfor: 686 ton/år Kalium: 185 ton/år
Materialintensiv tillväxt	Avfallsbehandling	1 252 125 ton/år
	Energiproduktion	Fjärrvärme: 1 825 GWh/år Elproduktion: 873 GWh/år
	Transportsträcka (till följd av biogasproduktionen)	Buss, transportsträcka: 1 459 736 mil/år Bil, transportsträcka: 6 113 268 mil/år
	Produktion av växtnäring (behövs för rötrest/kompost)	Kväve: 913 ton/år Fosfor: 686 ton/år Kalium: 185 ton/år

4.5 Konsekvenser från vald systemgräns samt alternativ systemgräns

För systemstudier generellt är valet av systemgräns en viktig avgränsning som starkt kan påverka vilka resultat och slutsatser som dras. I detta projekt har avsikten i första hand varit att sätta en systemgräns kring den verksamhet som avfalls- och fjärrvärmeansvariga i Göteborg har makt och möjlighet att påverka och förändra. Det är visserligen olika organisationer som är berörda men det finns till stor del en gemensam ägare och även en gemensam ambition att utveckla det lokala avfalls- och energisystemet till en bra helhet. Systemgränsen har diskuterats i projektet och bedömts som den lämpligaste för att illustrera konsekvenserna av att införa nya behandlingsalternativ. Här bör också nämnas att avfallsmarknaden under en längre tid gått mot en alltmer avreglerad marknad vilket innebär att de organisationer som ingår i projektet idag inte har någon fullständig makt att bestämma över hur det avfall som uppkommer i regionen skall behandlas. För resultaten gäller dock att vi inte behöver avgöra vem som skall komma att äga de nya behandlingstekniker som studeras. Oavsett om ägaren är någon av de ingående organisationerna eller om det är någon utomstående part så består de resultat som tas fram.

Även om denna systemgräns är relevant och tydlig så återstår ytterligare några avgränsningsproblem. Ett sådant uppstår när man ska avgöra hur stor mängd avfall som ska studeras för systemen. Det val som gjorts till huvudstudien är att man ska klara av att ta hand om allt avfall som uppstår i regionen. Mer precist allt avfall som uppstår inom Renovas ägarkommuner och som bedömts behöva behandlingskapacitet. Med detta synsätt säkerställer vi att regionen klarar av uppgiften att själva hantera och behandla sitt egna avfall. I verkligheten finns det idag mindre strömmar av avfall som kommer från andra kommuner utanför regionen och även från andra länder som tex Norge. En ökad tillförsel

från andra regioner kan mycket väl bli aktuellt i framtiden. Man kan även tänka sig det motsatta dvs att man köper in behandlingstjänster från andra regioner för det avfall som uppkommer inom Göteborgsregionen.

Idag importerar Renova brännbart avfall till Sävenäs AKV, där man med denna behandling kan ersätta sämre alternativ som deponering. Detta har varit och är en drivkraft för att ta emot brännbart avfall från andra länder. Ur miljösynpunkt finns det stora fördelar med att ersätta deponering i tex Norge med energiåtervinning och detsamma gäller även när man ersätter deponering med rötning. De positiva miljöeffekterna syns framförallt när vi studerar den totala klimatpåverkan. Men med den systemavgränsning som valts i studien, dvs att enbart behandla regionens avfall så åskådliggörs inte just denna effekt.

De modeller som utvecklats inom detta Waste Refinery projekt har dock använts för att studera just denna effekt i två separata projekt. Ett av dessa genomfördes på uppdrag av Avfall Sverige (2009) och i en efterföljande uppdatering åt Renova (2009). Vi har valt i detta projekt att presentera några av dessa resultat för att just illustrera en alternativ systemgränsdragning. Dessa resultat presenteras sist i kapitel 5 och vi har här valt att enbart presentera klimateffekterna av en ökad införsel av brännbart avfall till förbränning i Sävenäs. Resultaten från denna alternativa systemgräns, vilka återfinns i kapitel 5.2.5, ger ett komplement till övriga resultat i studien.

4.6 Redovisning av övriga indata

I kapitel 4 redovisas olika centrala indata och antaganden som har betydelse för förståelsen av de resultat som beräknas med modellerna. Men det finns en hel del ytterligare indata. De omfattande och mycket detaljerade modellerna innehåller en mycket stor uppsättning av både indata och antaganden. Att redovisa alla dessa är inte intressant för att förstå resultaten och dessutom en mycket omständlig procedur.

Vi har dock valt att presentera ett urval ytterligare indata, framförallt tekniska data för nya och befintliga tekniker, för att underlätta för läsaren att bedöma och förstå resultaten. Dessa indata återfinns i bilaga B.

Då det gäller specifika data för avfallsflöden och framförallt detaljerade ekonomiska data i både avfallssystemet och fjärrvärmesystemet så har det från projektets start funnits tydliga direktiv från inblandade parter att delar av dessa inte offentliggörs. För att få fram korrekta slutsatser och bedömningar har det varit väsentligt att så långt som möjligt använda korrekta och detaljerade uppgifter från bolagens verksamheter och som inte är offentliga uppgifter. Man får här respektera att kommunala bolag delvis arbetar på en konkurrensutsatt marknad och att offentliggöra dessa data skulle direkt vara ofördelaktigt för delar av de medverkande parterna. Det kan dock finnas uppgifter som inte är känsliga och som inte redovisas här. Dessa kan i så fall lämnas ut men detta är en diskussion som i så fall får föras med den part som berörs.

4.7 MKB-perspektivet

LCA-metodiken visar den potentiella påverkan som en verksamhet kan ha, men den verkliga miljöpåverkan bestäms av känsligheten i de områden inom vilka utsläppen påverkar miljön. Känsligheten kan utgöras av bebyggelseförhållanden (inom tätbebyggda områden eller i glesbygd), naturförhållanden (närhet till skyddsvärda naturområden), markens förmåga att motstå försurning, områdets övriga föroreningsbelastning (risk för överskridanden av miljökvalitetsnormer, befintlig försurningsbelastning, befintlig kvävebelastning, etc.).

Därför har beskrivningen av resultaten i detta projekt även gjorts utifrån ett platsspecifikt perspektiv där den potentiella miljöpåverkan studerats inom de geografiska områden som berörs av den aktuella verksamheten. De geografiska områdena är Göteborg, Västra Götaland, Sverige som nation, samt Nordeuropa. För växthusgaserna betraktas det globala perspektivet.

- Lokalt perspektiv: Göteborg är det området där hanteringsanläggningen kommer att finnas och där riskerna för lokal miljöpåverkan från denna föreligger. Inom tätbebyggt område föreligger risker för överskridanden av miljökvalitetsnormer, samt påverkan på människors hälsa i övrigt. I tätorterna är dock påverkan på ekosystemet av mindre vikt.
- Regionalt perspektiv: Västra Götaland är det område där avfallstransporterna huvudsakligen sker. Området är i stora delar försurningskänsligt och har under en lång period varit utsatt för försurande nedfall och därmed sammanhängande bortförsel av näringsämnen ur mark. Området är också utsatt för kvävenedfall som med bäckar och åar transporteras ut till havet. Inom länet finns miljömål uppställda som kan användas för att värdera ett utsläpp.
- Nationellt perspektiv: Sverige har ett antal nationella miljömål. Förutom de kvalitativa målen finns ett antal delmål i form av utsläppsnivåer, belastningsnivåer och miljö kvalitet som ska nås inom en viss tidsram. Sverige har också förbundit sig som nation att nå sin del av internationella överenskommelser: Kyotoprotokollet, Luftkonventionens protokoll, EUs Takdirektiv, Helsingforskommissionen för skydd av Östersjön, Oslo-Pariskommissionen till skydd för delar av Nordostatlanten, etc.
- Nordeuropa är det största området som berörs av utsläpp till luftföroreningar (bortsett från växthusgaser). Nordeuropa är också ett område som har en gemensam elmarknad och som berörs av de förändringar i produktion som kan uppkomma i olika situationer. Elproduktion på marginalen antas inte ske inom Sverige utan snarare i något av de Nordeuropeiska länderna Danmark, Tyskland eller Polen. Någon lokal miljöpåverkan i västra Sverige förutsätts därför inte ske vid marginaelsproduktion.
- Globalt: När det gäller växthusgaser är det globala perspektivet av intresse. Lokal och regional påverkan bortses oftast från.

Denna metodik är mer lik den som används i miljökonsekvensbeskrivningar och i strategiska miljöbedömningar som enligt miljöbalken ska göras inför beslut om planer och program som påverkar miljön på ett betydande sätt. Detta gäller bland annat i ett kommunalt projekt.

5 Resultat

I detta kapitel presenterar vi de resultat som tagits fram i projektet. Inledningsvis (avsnitt 5.1) ges en utförlig beskrivning av huvudresultaten för de tre utvecklingsvägarna givet de tre omvärldsutvecklingarna. Resultaten återges under rubrikerna: avfallsflöden, ekonomi, klimatpåverkan, förurningspotential och övergödningspotential. Därefter återges resultatet av ett antal känslighetsanalyser (avsnitt 5.2). Avslutningsvis ges en specifik beskrivning av hur fjärrvärmesystemet påverkas i de olika scenarierna (avsnitt 5.3). Som tidigare beskrevs i kapitel 3 Modeller och Metodik så blir modellresultaten intressanta först när man gör en jämförelse mellan två körningar, t ex mellan ett referensfall och ett förändrat system. Därigenom ger jämförelsen just det ekonomiska och miljömässiga värdet för den alternativa utvecklingsvägen. Därav redovisas merparten av resultaten just som jämförelser (vanligen jämförs utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” mot utvecklingsvägen ”Business-as-usual”). Endast i undantagsfall anges totalresultaten. I merparten av resultatfigurerna har resultaten delats upp i delarna Avfallssystemet, Fjärrvärmesystemet och omvärlden. Vad som ingår i dessa tre delar beskrivs i kapitel 3.

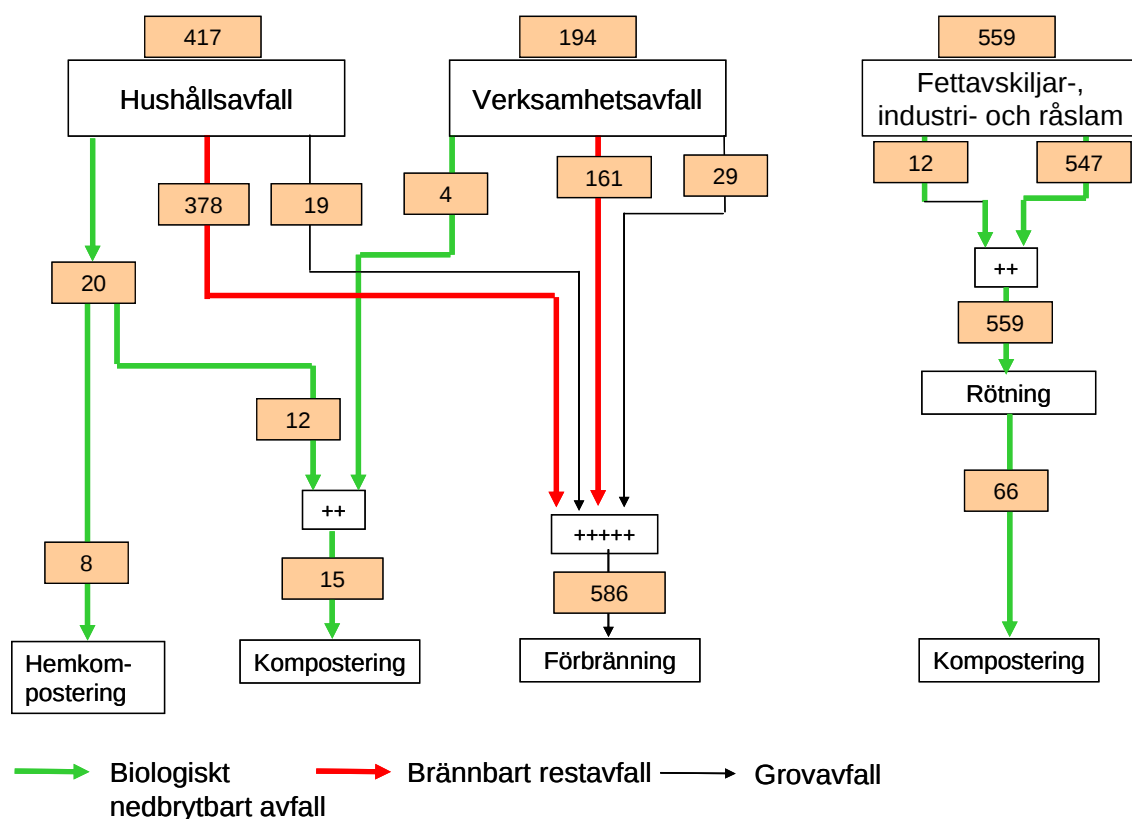
5.1 Huvudresultat

I detta avsnitt redovisas utfallet för de tre utvecklingsvägarna avseende ekonomi, klimatpåverkan, förurningspotential och övergödningspotential. Samtliga tre utvecklingsvägar har studerats för tre olika omvärldsutvecklingar (se kapitel 4), dvs totalt har nio utfall beräknats. I resultatfigurerna presenteras företrädesvis resultaten genom förändringen i utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” gentemot utvecklingsvägen ”Business-as-usual”. Emissionerna i absoluta tal för de tre utvecklingsvägarna redovisas i några fall, dessa är då till för att hjälpa till med en bedömning av hur betydande utsläppsförändringarna är.

5.1.1 Avfallsflöden

Ett viktigt resultat av de olika utvecklingsvägarna är hur avfallsflödena inom det studerade systemet förändras med införandet av nya tekniker. Förutom att detta i sig är ett värdefullt resultat så hjälper det också läsaren att förstå skillnaderna mellan utvecklingsvägarna. Det är också ett stöd för att kunna tolka resultatet av förändrade emissioner och förändrade ekonomiska resultat. I figur 13-15 presenteras resulterande avfallsflöden för de tre utvecklingsvägarna i omvärldsutvecklingen ”Referens”. I figur 14 och 15 representerar gula boxar antingen nytillkommande tekniker eller att värden förändrats i förhållande till ”Business-as-usual” markerats med gult. Flödesdiagram för de två övriga omvärldsutvecklingarna ger ett liknande utseende men värdena förändras något i och med att mängden avfall som behandlas varierar.

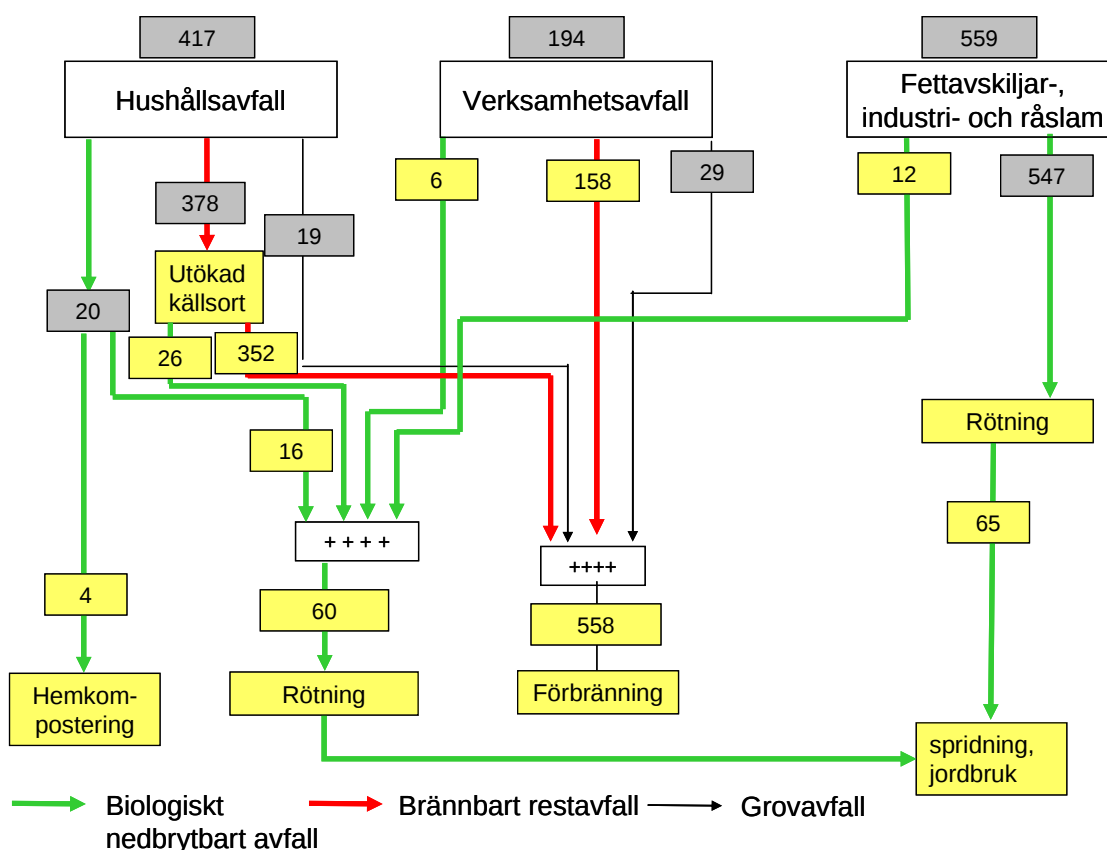
I figur 13 presenteras avfallsflödena i utvecklingsvägen "Business-as-usual". Som namnet antyder karakteriseras denna utveckling av att man fortsätter att nyttja den typ av tekniker man gör idag. Med andra ord går en fortsatt stor mängd av avfallet till förbränning för el- och värmeproduktion. Även komposteringsanläggningen finns kvar på Marieholm. Avloppsslammet hos Gryaab rötas, komposteras och används därefter för anläggningsändamål. Alla behandlingsanläggningar har byggts ut för att klara den avfallsökning som sker fram till år 2030.



Figur 13. Avfallsflöden i det betraktade systemet (Göteborgs avfalls- och avloppsbehandlingssystem) enligt utvecklingsväg "Business-as-usual" och omvärldsutveckling "Referens". Enhet kton/år

Figure 13. Waste flow chart in the system that were studied according to the local scenario "Business-as-usual" and the external scenario "Referens", Units ktonnes/year

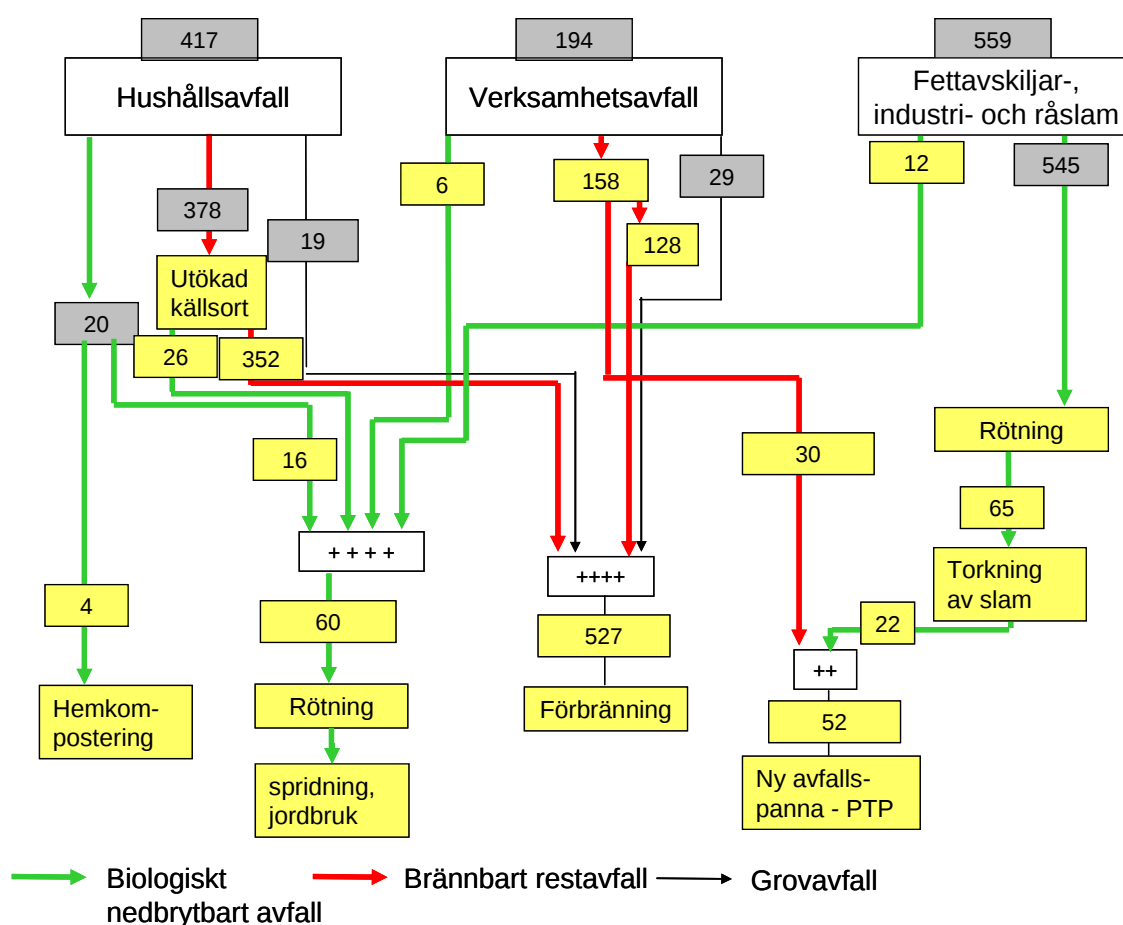
Figur 14 visar avfallsflödena i systemet år 2030 givet utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring". Givet denna utveckling byggs källsorteringssystemet ut för att en större mängd matavfall skall kunna levereras till den rötningsanläggning som byggs. Till denna rötningsanläggning skickas även mindre mängder rötbart verksamhetsavfall samt fettavskiljarlam och liknande som i "Business-as-usual" rötas hos Gryaab. Den totala kapaciteten i rötningsanläggningen uppgår till 60 000 ton/år. Behovet av avfallsförbränningskapacitet minskar med 28 000 ton i denna utvecklingsväg jämfört mot "Business-as-usual". För att uppnå en näringsåterföring levereras rötresten från den nya rötningsanläggningen och från Gryaabs anläggning till jordbruk kring Göteborg.



Figur 14. Avfallsflöden i det betraktade systemet (Göteborgs avfalls- och avloppsbehandlingssystem) enligt utvecklingsväg "Maximerad näringsåterföring" och omvärldsutveckling "Referens". De gula boxarna indikerar förändringar gentemot utvecklingsväg "Business-as-usual". Enhet kton/år

Figure 14. The flow of waste in 2030 in the systems that were studied under the local scenario "Maximerad näringsåterföring" and the external scenario "Referens". The yellow boxes show changes compared to the development in "Business-as-usual". Units ktonnes/year

Avfallsflödena i utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" framgår av figur 15. På samma sätt som i utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" byggs här en rötningsanläggning med en årlig kapacitet på 60 000 ton. Vad som ytterligare sker är att rötresten från Gryaabs rötningsanläggning torkas till pellets i en slamtork. Pelletsen förbränns därefter i en ny förbränningsanläggning (avfallspanna-PTP). Till denna panna levereras även ett finkrossat verksamhetsavfall vilket i de andra två utvecklingsvägarna förbränns i Sävenäs AKV. Behovet av kapacitet vid Sävenäs minskar därmed med 59 000 ton jämfört mot utvecklingsvägen "Business-as-usual".

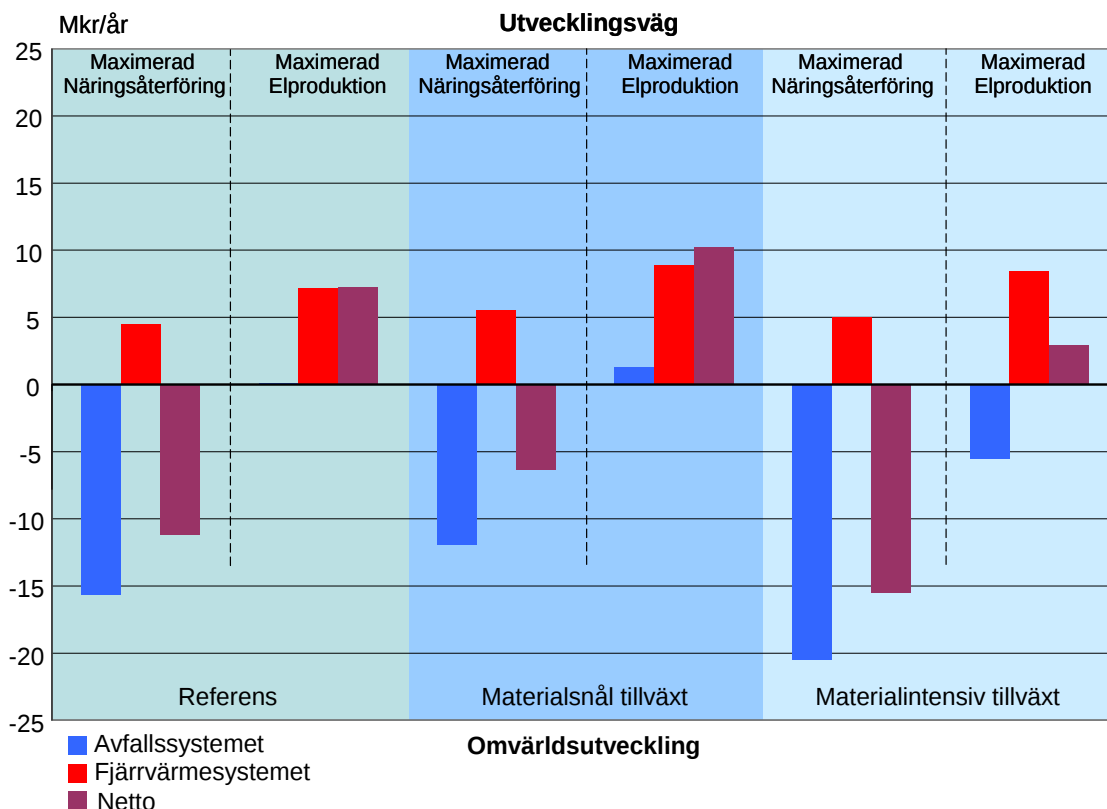


Figur 15. Avfallsflöden i det betraktade systemet (Göteborgs avfalls- och avloppsbehandlingssystem) enligt utvecklingsväg "Maximerad Elproduktion" och omvärldsutveckling "Referens". De gula boxarna indikerar förändringar gentemot utvecklingsväg "Business-as-usual". Enhet kton/år

Figure 15. The flow of waste in the system that were studied under the local scenario "Maximerad Elproduktion" and the external scenario "Referens". The yellow boxes show the changes compared to the scenario "Business-as-usual". Units ktonnes/year

5.1.2 Ekonomi

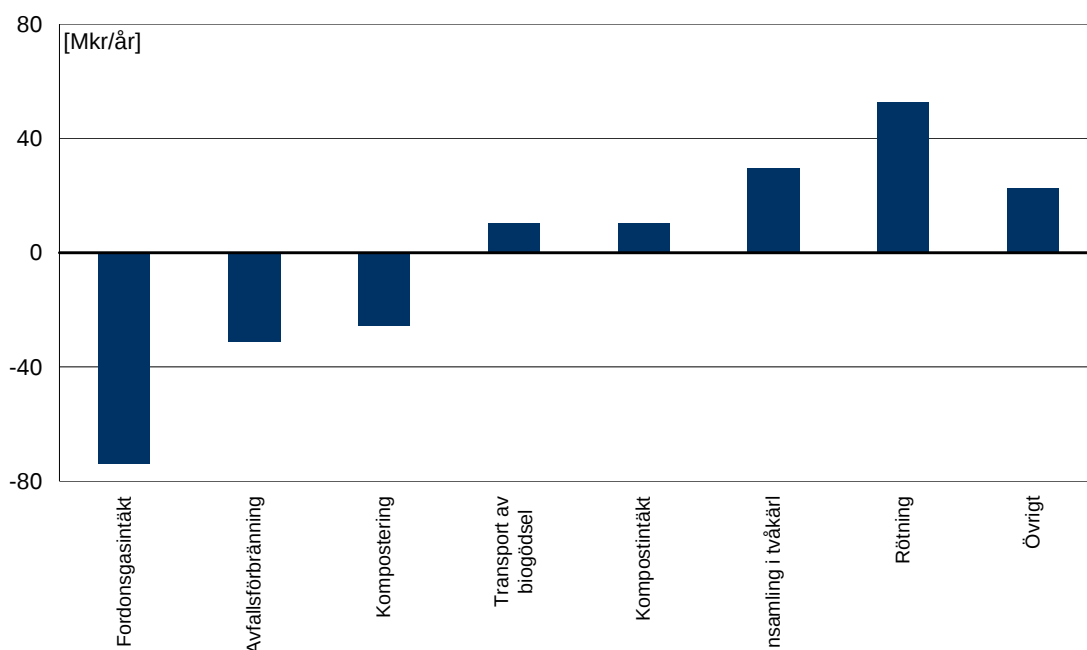
I figur 16 kan vi konstatera att utvecklingsväg "Maximerad näringsåterföring" genomgående innebär lägre nettokostnader än "Business-as-usual" (se nettostaplar i respektive omvärldsutveckling). Vi kan också konstatera att "Maximerad elproduktion" innebär högre nettokostnader jämfört med "Business-as-usual". Även detta gäller oavsett vilken omvärldsutveckling som studeras. Ur ekonomisk synvinkel visar sig alltså utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" vara mest gynnsamt, medan "Maximerad elproduktion" ger det sämsta ekonomiska utfallet. Att resultaten är likvärdiga i alla tre omvärldsutvecklingar stärker denna slutsats. Samtidigt skall man komma ihåg att skillnaderna i kostnader mellan de olika utvecklingsvägarna är små (som mest 15 Mkr/år) och det krävs därför inte några stora förändringar av indata för att resultaten skall svänga över från minskade till ökade kostnader. Av beskrivningen nedan framgår också att det är ett flertal stora kostnads- och intäktsposter som till slut summeras ihop för att ge resultatet. Till synes små förändringar i någon eller några av dessa poster kan räcka för att resultatet skall ändras betydligt, vilket visas nedan.



Figur 16. Förändringen i nettokostnad i utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual". Resultat för samtliga tre omvärldsutvecklingar. Negativa staplar innebär att kostnaden är lägre/intäkten större jämfört mot "Business-as-usual"

Figure 16. Changes in the total costs in the local scenario "Maximerad näringsåterföring" and "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual". Results for the three external scenarios studied. The negative bars indicate that costs are less/the revenues are higher when compared with "business-as-usual"

För ”Maximerad näringsåterföring” är resultaten summan av ett flertal förändringar som innebär förbättrat eller försämrat resultat gentemot ”Business-as-usual”. De förändringar som har störst positiv inverkan (= sänker nettokostnaden) i omvärldsutvecklingen ”Referens” ges av figur 17 (observera att en ökad intäktsökning för ”Maximerad näringsåterföring” gentemot ”Business-as-usual” redovisas som en minskad kostnad, dvs negativ stapel).



Figur 17. Poster som förändrar nettokostnaden i utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” gentemot utvecklingsvägen ”Business-as-usual”. Resultat för omvärldsutvecklingen ”Referens”. Se vidare beskrivning i text nedan

Figure 17. Bar graph which shows changes in total costs in the local scenario ”Maximerad näringsåterföring” compared to ”Business-as-usual”. Results for the external scenario ”Referens”, as described in the text below

Nedan beskrivs förändringen av de kostnads- och intäktsposter som har störst positiv inverkan (= sänker nettokostnaden) för ”Maximerad näringsåterföring” jämfört med ”Business-as-usual” vilka presenteras i figur 17. I beskrivningen inkluderas även variationen i posterna till följd av alternativa omvärldsutvecklingar:

- **Ökad intäkt genom försäljning av fordonsgas (Fordonsgasintäkt):** Varierar mellan 67 och 81 Mkr/år beroende på omvärldsutveckling (på grund av olika antaganden kring fordonsgaspris i respektive omvärldsutveckling). Som framgår av figuren spelar fordonsgasintäkten en viktig roll för det totala resultatet för denna utvecklingsväg. En höjning av fordonsgaspriset i ”Referens” med låt säga 20 % (till 1400 kr/MWh) skulle ge en ökad intäkt motsvarande 15 Mkr, vilket mer än fördubblar lönsamheten för denna utvecklingsväg jämfört mot ”Business-as-usual”. Ett lägre pris på fordonsgasen får naturligtvis motsvarande negativ effekt för resultatet.

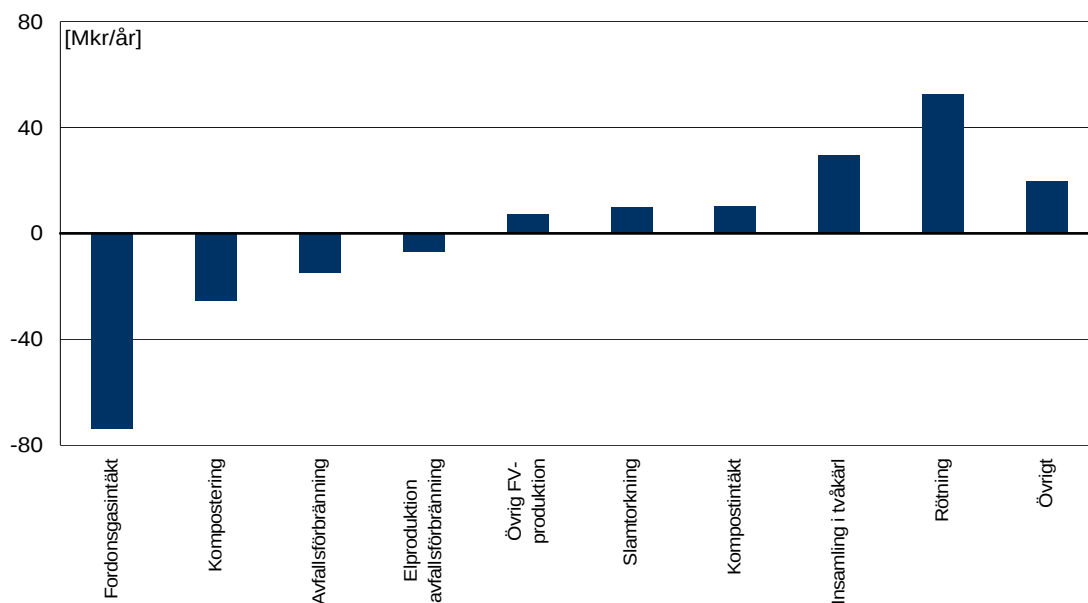
- **Minskad kostnad för avfallsförbränningen (Avfallsförbränning):** Cirka 31 Mkr/år. Denna kostnadsbesparing beror inte av omvärldsutvecklingarna utan enbart av hur många ton som går till Sävenäs AKV. I samtliga omvärldsutvecklingar minskar förbränningen med knappt 29 kton i "Maximerad näringsåterföring" jämfört med "Business-as-usual". Kostnadsbesparingen är beräknad utifrån att man lyckas anpassa kapaciteten på Sävenäs AKV efter behovet år 2030. Detta gör att man undviker både fasta och rörliga kostnader för avfallsförbränningen i "Maximerad näringsåterföring" jämfört med "Business-as-usual".
- **Undviken kostnad för hantering av avvattnat avloppsslam genom kompostering (Kompostering):** Cirka 20 Mkr/år. Inte heller denna kostnad beror på omvärldsutvecklingarna utan är beräknad utifrån mängden slam och priset som Gryaab idag betalar för omhändertagandet av slammet.

Nedan listas de förändringar som har störst negativ inverkan (= höjer nettokostnaden) för "Maximerad näringsåterföring" jämfört med "Business-as-usual" vilka åskådliggörs av figur 17. I beskrivningen inkluderas även hur variationen i posterna till följd av alternativa omvärldsutvecklingar:

- **Kostnader för rötningsanläggningen och uppgradering av biogas till fordonsgaskvalitet (Rötning):** Innebär en total kostnad (både fasta och rörliga kostnader) på knappt 53 Mkr/år. Beror enbart av mängden avfall till rötning som är 60 000 ton oavsett omvärldsutveckling.
- **Kostnader för insamling i tvåkärssystem (Insamling i tvåkär):** Dessa varierar mellan 25 och 31 Mkr/år beroende på omvärldsutveckling. Det högsta värdet fås i "Materialintensiv tillväxt" och det lägsta i "Materialsnål tillväxt". Orsaken till denna variation beror på att oavsett omvärldsutveckling så skall samma mängd matavfall sorteras ut och skickas till rötning. I samtliga omvärldsutvecklingar ökar mängden matavfall på samma sätt (en årlig ökning med 0,9 % per år). I "Materialsnål tillväxt" utvecklas även övriga avfallsmängder på samma sätt men i "Referens" och "Materialintensiv tillväxt" ökar de övriga avfallstyperna i hushållens kär- och säckavfall kraftigare. Detta får till följd att andelen matavfall som finns i hushållens kär- och säckavfall blir lägre i "Referens" och "Materialintensiv tillväxt". Detta i sin tur innebär att insamlingen i tvåkärssystem måste byggas ut så att en större mängd kär- och säckavfall omfattas för att man ska nå den erforderliga mängden matavfall. Denna kostnadspost skall ses som osäker, indikationer från Kretsloppskontoret säger att kostnaden kan bli högre, vilket i så fall skulle försämra det ekonomiska utfallet för utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring".
- **Minskad intäkt för kompostjord (Kompostintäkt):** Cirka 10 Mkr/år. Beräknad utifrån mängd och pris på kompostjord som inte varierar mellan omvärldsutvecklingarna
- **Transportkostnad för avvattnat slam och biogödsel till jordbruk (Transport av biogödsel):** Cirka 10 Mkr/år. Beräknad utifrån mängd och transportkostnad som inte

varierar mellan omvärldsutvecklingarna. I studien har antagits ett genomsnittligt transportavstånd på 30 km.

I analogi med figur 17 visar figur 18 hur de viktigaste kostnads- och intäktsposterna förändras för "Maximerad elproduktion" jämfört mot "Business-as-usual" (observera att en ökad intäkt för "Maximerad elproduktion" gentemot "Business-as-usual" redovisas som en minskad kostnad, dvs negativ stapel).



Figur 18. Poster som förändrar nettokostnaden i omvärldsutvecklingen "Maximerad elproduktion" gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual". Resultat för omvärldsutvecklingen "Referens". Se vidare beskrivning i text nedan

Figure 18. Bar graph which shows changes in total costs in the local scenario "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual". Results for the external scenario "Referens", as described in text below

På samma sätt är resultaten för "Maximerad elproduktion" summan av ett flertal förändringar som innebär förbättrat eller försämrat resultat gentemot "Business-as-usual". De förändringar som har störst positiv inverkan (= sänker nettokostnaden) är:

- **Ökad intäkt genom försäljning av fordonsgas (Fordonsgasintäkt):** Varierar mellan 67 och 81 Mkr/år, dvs samma utfall som i "Maximerad näringsåterföring" då samma förutsättningar gäller rörande röttningsanläggningen.
- **Undviken kostnad för hantering av avvattnat slam genom kompostering (Kompostering):** Cirka 20 Mkr/år dvs samma utfall som i "Maximerad näringsåterföring" då samma förutsättningar gäller.
- **Minskad kostnad för avfallsförbränningen (Avfallsförbränning):** Varierar mellan 14,2 och 14,8 Mkr/år. Observera att vi i denna siffra har nettoförändringen av minskad förbränning i Sävenäs AKV (knapp 59 kton/år) och den tillkommande förbränningen av utsorterade avfallsbränslen och slampellet i ny Avfallspanna-PTP

(drygt 51 kton/år varav 30 kton utsorterade avfallsbränslen). Kostnadsbesparingen är beräknad utifrån att man lyckas anpassa kapaciteten på Sävenäs AKV utefter behovet. Detta gör att man undviker både fasta och rörliga kostnader för Sävenäs AKV i ”Maximerad elproduktion” jämfört med ”Business-as-usual”. Samtidigt tillkommer givetvis de fasta och rörliga kostnaderna för Avfallspanna-PTP. Anledningen till att vi får en mindre variation i kostnadsbesparingen beror på att Avfallspanna-PTP belastas med kostnaden för utsläppsrätter för den fossila andelen av avfallsbränslet. Därför nås den största kostnadsminskningen (14,8 Mkr/år) i omvärldsutvecklingen ”Referens” då priset på utsläppsrätter är lägst.

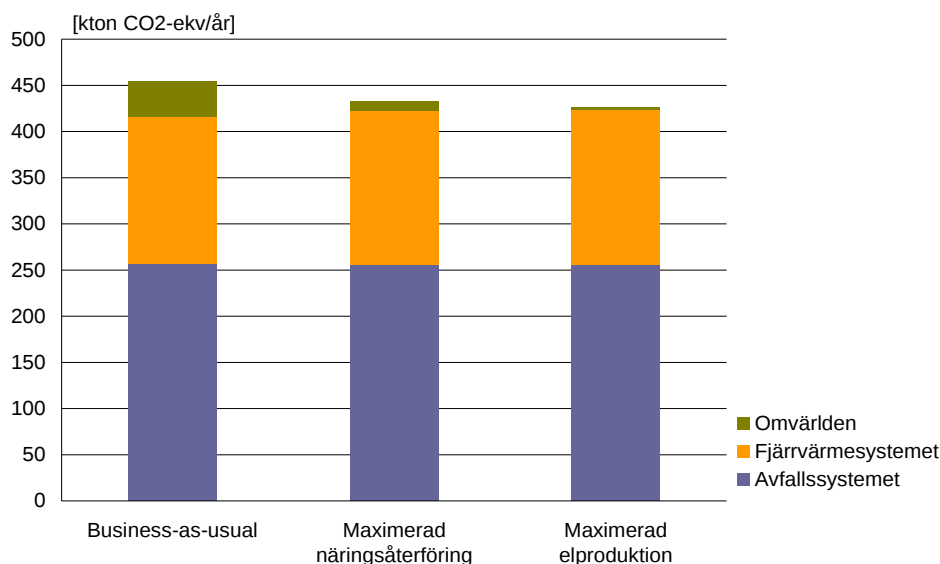
- **Ökade elintäkter i avfallssystemet (Elproduktion avfallsförbränning):** Varierar mellan 6,9 och 9,2 Mkr/år. Elintäkten är direkt beroende av det antagna elpriset vilket varierar i de tre omvärldsscenarierna. Observera att denna post innefattar nettot av att elproduktionen minskar i Sävenäs AKV och att det tillkommer ny elproduktion i Avfallspanna-PTP. Totalt är den tillkommande elproduktionen större vilket gör att elintäkterna ökar jämfört med ”Business-as-usual”.

De förändringar som har störst negativ inverkan (= höjer nettokostnaden) för ”Maximerad elproduktion” jämfört med ”Business-as-usual” är följande (jämför figur 17):

- **Kostnader för rötningsanläggningen och uppgradering av biogas till fordonsgaskvalitet (Rötning):** Innebär en total kostnad (både fasta och rörliga kostnader) på knappt 53 Mkr/år, dvs samma utfall som i ”Maximerad näringsåterföring” då samma förutsättningar gäller.
- **Kostnader för insamling i tvåkärllssystem (Insamling i tvåkärll):** Dessa varierar mellan 25 och 31 Mkr/år beroende på omvärldsutveckling, dvs samma utfall som i ”Maximerad näringsåterföring” då samma förutsättningar gäller.
- **Minskad intäkt för kompostjord (Kompostintäkt):** Cirka 10 Mkr/år. Beräknad utifrån mängd och pris på kompostjord som inte varierar mellan omvärldsscenarierna
- **Kostnader för torkning av slam (exklusive fjärrvärmekostnad) (Slamtorkning):** Cirka 10 Mkr/år. Beräknad utifrån data huvudsakligen från Torkapparater. Kostnaden förändras ej med förändringarna i omvärldsutvecklingarna. Observera att denna kostnadspost innefattar samtliga fasta och rörliga kostnader **exklusive kostnaden för torkmediet, dvs fjärrvärmen**. Det extra fjärrvärmebehov som måste täckas på grund av slamtorken (drygt 51 GWh/år) innebär ytterligare kostnader för fjärrvärmesystemet vilket är inkluderade i nedanstående post ”Ökade kostnader för fjärrvärmeproduktion”.
- **Ökade kostnader för fjärrvärmeproduktion (Övrig FV-produktion):** Varierar mellan 7,2 och 8,9 Mkr/år. När värmeproduktionen från avfallsförbränning minskar i ”Maximerad elproduktion” innebär det att övrig fjärrvärmeproduktion måste öka vilket leder till ökade nettokostnader för fjärrvärmesystemet. Dessutom innebär slamtorken att fjärrvärmebehovet blir högre i ”Maximerad elproduktion” vilket ytterligare ökar drifttiden för övrig fjärrvärmeproduktion. Beroende på omvärldsutveckling gäller olika antaganden för bl a bränslepriser och elpriser vilket påverkar nettokostnaden i fjärrvärmesystemet.

5.1.3 Klimatpåverkan

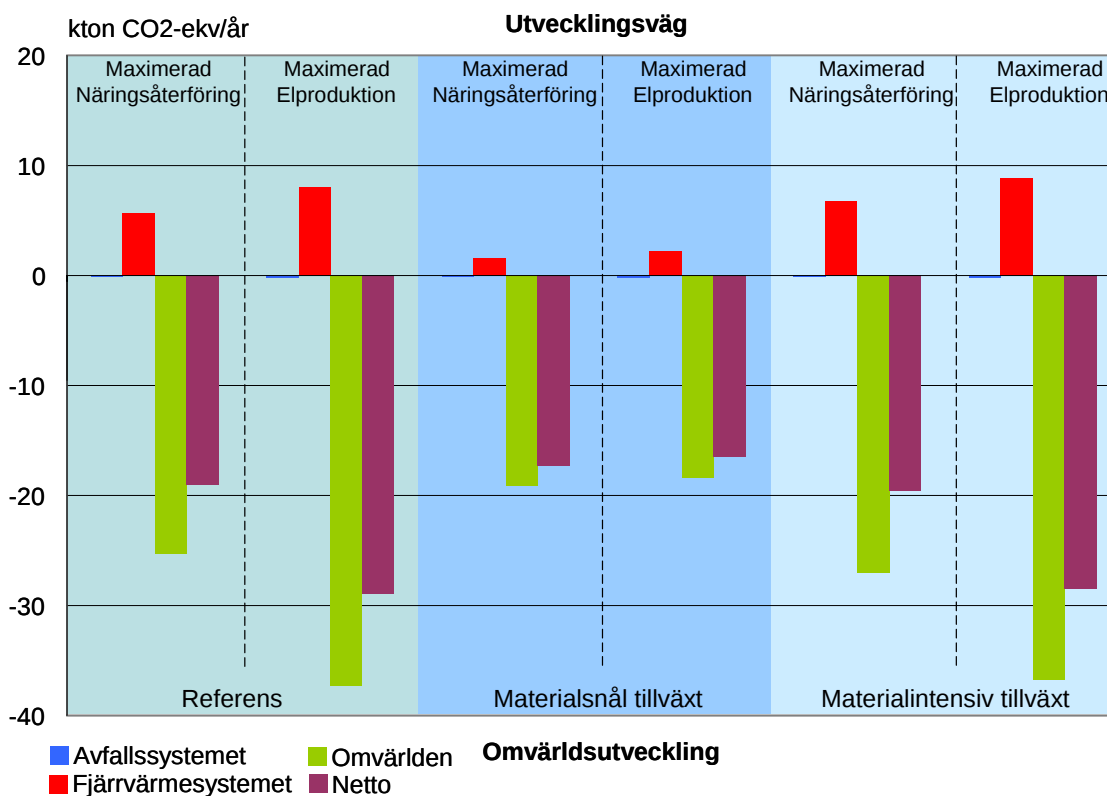
Inledningsvis redovisas här det totala utsläppet av växthusgaser från det system vi studerar, inklusive de tillkommande utsläppen i omvärlden (se figur 19). Resultaten visas för omvärldsutvecklingen "Referens". Anledningen till att vi får utsläpp i omvärlden är att alla tre utvecklingsvägar måste uppfylla de funktionella enheter som satts upp (se tabell 13). De nyttigheter (exempelvis el eller fordonsdrivmedel) som inte genereras av det studerade systemet i en viss utvecklingsväg måste då istället genereras i omvärlden, vilket resulterar i utsläpp av växthusgaser. Som framgår av figuren är utsläppet i avfallssystemet nära nog konstant för de tre utvecklingsvägarna medan utsläppet i fjärrvärmesystemet varierar från 160 kton CO₂-ekv/år i "Business-as-usual" till 168 kton i "Maximerad elproduktion". De största skillnaderna märks dock i omvärlden där utsläppet beräknas till 38 kton CO₂-ekv/år i "Business-as-usual", 10 kton i "Maximerad näringsåterföring" och 2 kton i "Maximerad elproduktion". Totalt sett gäller för omvärldsutvecklingen "Referens" att utsläppet är som störst i "Business-as-usual" med ett värde på 455 kton CO₂-ekv/år. Här är viktigt att poängtera att storleken på de totala utsläppen främst är en konsekvens av storleken på det system man studerar samt hur man väljer de funktionella enheterna. Detta framgår tydligt när man tittar på de totala utsläppen i de två alternativa omvärldsutvecklingarna. I omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" behandlas en mindre mängd avfall samtidigt som fjärrvärmebehovet är mindre, vilket får till följd att det totala utsläppet i "Business-as-usual" endast uppgår till 270 kton CO₂-ekv/år. I omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt" är situationen den omvända vilket ger ett totalt utsläpp på 599 kton CO₂-ekv/år. De absoluta värdena skall här främst användas för att relatera de utsläppsförändringar man kan uppnå genom att välja någon av de utmålade utvecklingsvägarna. Senare i detta kapitel kommer vi därför just att relatera utsläppsförändringarna mot dessa totala utsläpp.



Figur 19. Totala utsläpp av växthusgaser från det studerade systemet, inklusive utsläpp i omvärlden. Resultaten visas för omvärldsutvecklingen "Referens"

Figure 19. Total emissions of climate gases from the systems that were studied, including emissions in the surrounding systems. Results are for the external scenario "Referens"

I figur 20, där resultatet för utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" ställs mot "Business-as-usual" kan vi konstatera att dessa båda genomgående innebär lägre klimatpåverkan. "Maximerad elproduktion" ger lägst klimatpåverkan i omvärldsutvecklingarna "Referens" och "Materialintensiv tillväxt" vilket beror av att marginalet i dessa omvärldsutvecklingar har stora klimatpåverkande emissioner (vilka undviks genom den större elproduktionen i "Maximerad elproduktion"). I omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" är emissionerna för marginalet betydligt lägre vilket minskar värdet av ökad elproduktion i Göteborg. I denna omvärldsutveckling blir det därför istället utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" som ger den lägsta klimatpåverkan. Krasst kan man alltså säga att om man i omvärlden genomför fler åtgärder för att reducera utsläppen av växthusgaser (vilket antas ske i "Materialsnål tillväxt") så minskar värdet av att genomföra åtgärder inom systemet i Göteborg och vice versa. Nedan kommenteras resultaten mer i detalj.



Figur 20. Förändringen i klimatpåverkan i utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual". Resultat för samtliga tre omvärldsutvecklingar

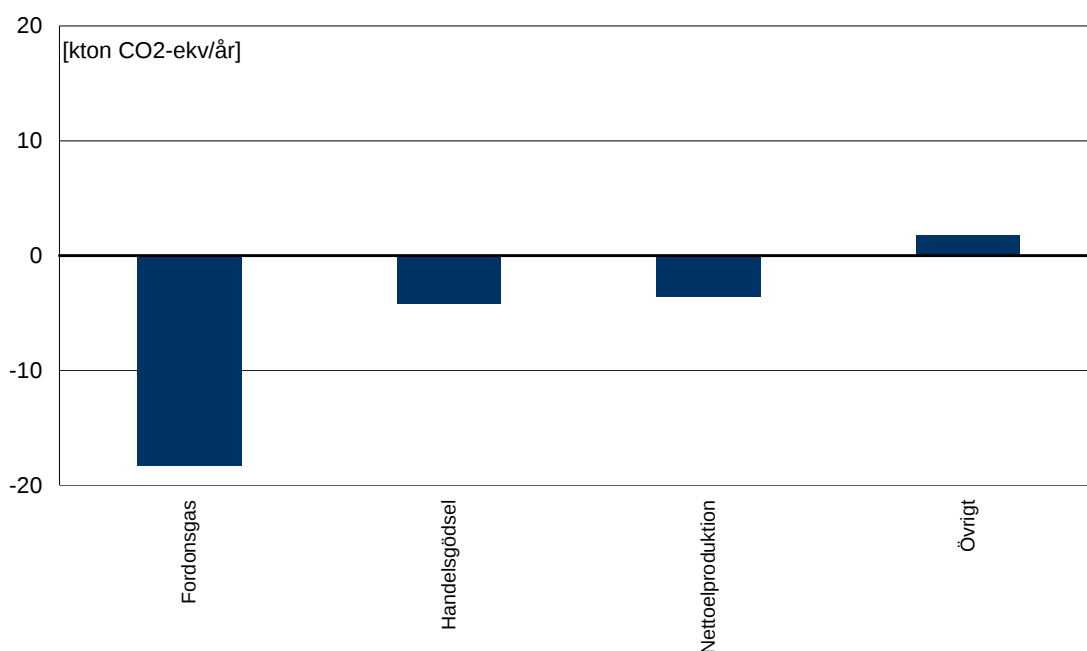
Figure 20. Changes in emissions of climate gases in the local scenario "Maximerad näringsåterföring" and "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual". Results for the three external scenarios studied. The negative bars indicate that the emissions are reduced when compared with "business-as-usual"

För **avfallssystemet** är emissionsskillnaderna mycket små. Detta beror på att det är förnybart avfall som förbränns, rötas eller komposteras i de olika utvecklingsvägarna.

Därmed påverkas inte emissionerna av fossilt CO₂. Emissionerna av övriga växthusgaser (metan och lustgas) är små i avfallssystemet oavsett utvecklingsväg.

I **fjärrvärmesystemet** ökar emissionerna i "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" jämfört med "Business-as-usual". Emissionerna ökar på grund av att annan fjärrvärmeproduktion måste täcka den fjärrvärmeproduktion som försvinner när avfallsförbränningen minskar jämfört med "Business-as-usual". I "Maximerad elproduktion" tillkommer ytterligare emissioner på grund av den ökade produktion som behövs för att täcka det extra fjärrvärmebehov som slamtorken ger upphov till. Hur stora emissionerna blir i fjärrvärmesystemet beror på de ekonomiska förutsättningarna vad gäller bränslepriser, elpriser, utsläppsrätter etc, eftersom detta avgör vilka andra anläggningar som tas i bruk när avfallsförbränningen minskar. I både omvärldsutveckling "Referens" och "Materialintensiv tillväxt" är förutsättningarna gynnsamma för att använda naturgaskraftvärmeverk i större omfattning. Den ökade användningen av naturgas innebär då ökad klimatpåverkan framförallt genom ökade emissioner av fossilt CO₂. I omvärldsutveckling "Materialsnål tillväxt" är förutsättningarna, relativt sett, mindre gynnsamma för naturgaskraftvärmeverk och istället används värmepumpar i större utsträckning. Värmepumparna har inga emissioner i fjärrvärmesystemet (men påverkar nettoelproduktionen vilket vi återkommer till nedan) vilket gör att emissionerna från fjärrvärmesystemet blir klart lägre.

I **omvärlden** beror resultaten av nettoelproduktionen (produktion – konsumtion i avfalls- och fjärrvärmesystemet), mängden fordonsgas som produceras, användningen av fordonsgas samt mängden avvattat slam, kompost (baserad på matavfall, park- och trädgårdsavfall och/eller avvattat slam) och biogödsel. De tre sistnämnda ger upphov till emissioner vid transport och spridning men innebär också att emissioner kan undvikas vid produktion av handelsgödsel motsvarande den växttillgängliga mängden NPK (kväve, fosfor och kalium). Bidraget från respektive post för utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" gentemot "Business-as-usual" ges av figur 21.



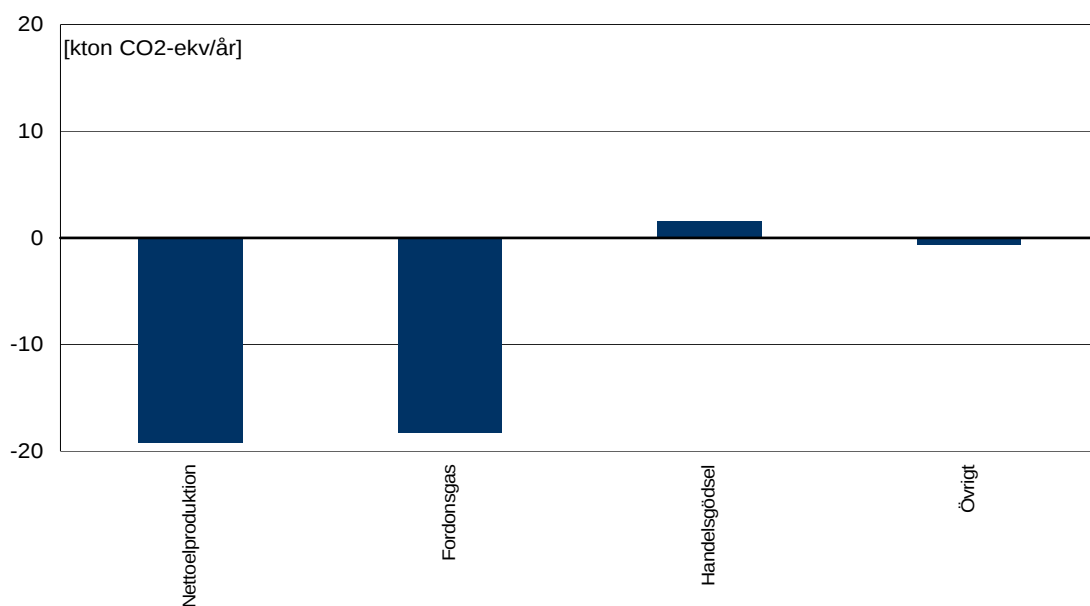
Figur 21. Viktiga poster i omvärlden för förändringen i klimatpåverkan i utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual". Resultat för omvärldsutvecklingen "Referens". Se vidare beskrivning i text nedan

Figure 21. Important external influences for the changes in emissions of climate gases in the local scenario "Maximerade näringsåterföring" compared to "Business-as-usual". Results are for the external scenario "Referens", as described in text below

Av figur 21 framgår att följande faktorer i omvärlden har störst betydelse För "Maximerad näringsåterföring" i jämförelse med "Business-as-usual":

- **Fordonsgas:** Producerad fordonsgas beräknas minska de klimatpåverkande emissionerna i omvärlden med drygt 18 kton CO₂-ekv./år. Detta beror på att producerad fordonsgas antas ersätta användning av diesel och bensin (50 % av varje) för att uppnå motsvarande transportarbete. Dessa antaganden varierar inte mellan de olika omvärldsutvecklingarna.
- **Handelsgödsel:** I "Maximerad näringsåterföring" minskar behovet av handelsgödsel jämfört med "Business-as-usual". Anledningen är att mängderna matavfall till biologisk behandling ökar jämfört med "Business-as-usual", vilket ger ett tillskott av biogödsel. De klimatpåverkande emissionerna i omvärlden minskar därmed ca 4 kton CO₂-ekv./år.
- **Nettoelproduktion:** Utfallet varierar mellan att minska de klimatpåverkande emissioner med 5 kton CO₂-ekv./år (omvärldsutveckling "Materialintensiv tillväxt") till att öka desamma med 1 kton CO₂-ekv./år (omvärldsutveckling "Materialsnål tillväxt"). Spridningen i utfallet beror på de olika förutsättningarna i respektive omvärldsutveckling vilka dels påverkar vilka anläggningar som används i fjärrvärmesystemet och dels påverkar emissionerna för marginaelen i det nordiska elsystemet. Med förutsättningar enligt "Referens" och "Materialintensiv tillväxt" täcks den minskade värmeproduktionen från avfallsförbränning främst av naturgaseldade kraftvärmeverk. Per värmeproduktionsenhet genererar dessa anläggningar en större mängd el jämfört med den avfallsförbränning som försvinner. Detta gör att nettoelproduktionen totalt ökar i avfalls- och fjärrvärmesystemet, trots att elproduktionen minskar från avfallsförbränningen. Med ökad nettoelproduktion i Göteborg minskar marginaelproduktionen i elsystemet, vilket leder till minskade utsläpp. Med förutsättningar enligt "Materialsnål tillväxt" kunde vi ovan konstatera att värmepumpar blir konkurrenskraftiga i fjärrvärmeproduktionen. Värmepumparna konsumerar el samtidigt som drifttiden för naturgaskraftvärmeverken (som genererar el) inte blir lika stor som i de övriga omvärldsutvecklingarna. Den sammanlagda effekten av detta är att nettoelproduktionen ökar något i fjärrvärmesystemet, men denna ökning räcker inte för att kompensera den minskade elproduktionen i avfallssystemet. Totalt i avfalls- och fjärrvärmesystemet minskar därför nettoelproduktionen vilket leder till ökade marginaelproduktion och ökade emissioner. Här bör dock noteras att emissionerna för marginaelen i "Materialsnål tillväxt" är lägre än i "Referens" och "Materialintensiv tillväxt" vilket mildrar effekterna av att nettoelproduktionen minskar i Göteborg.

För "Maximerad elproduktion" i jämförelse med "Business-as-usual" har de faktorer i omvärlden som framgår av figur 22 störst betydelse.



Figur 22. Viktiga poster i omvärlden för förändringen i klimatpåverkan i utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual". Resultat för omvärldsutvecklingen "Referens". Se beskrivning i text nedan

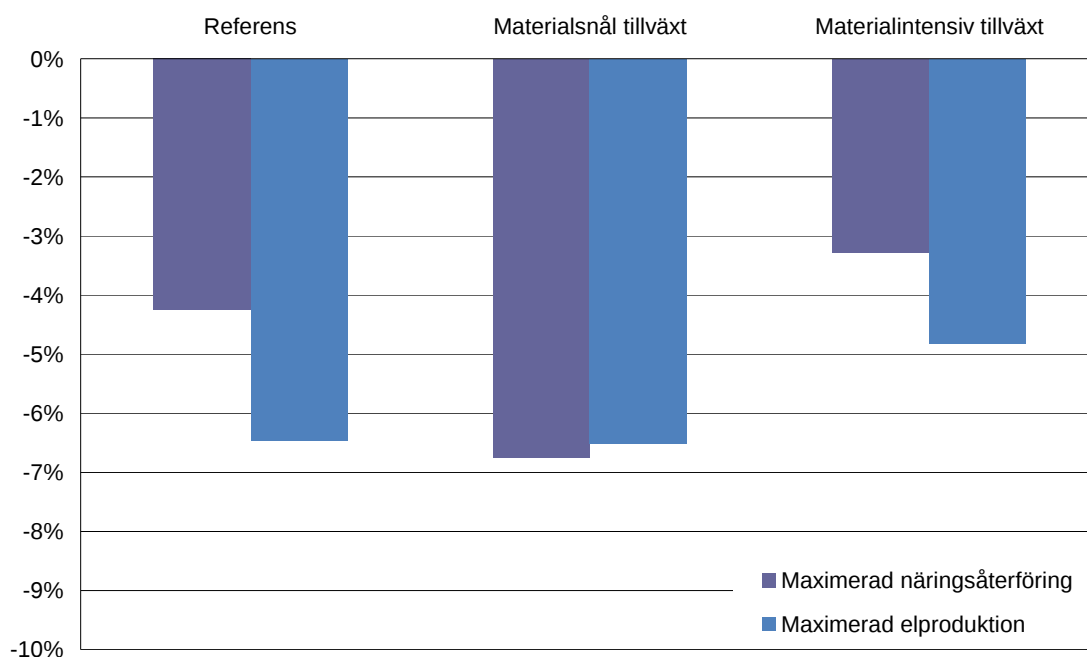
Figure 22. Important external influences for the changes in the emissions of climate gases in the local scenario "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual". Results are for the external scenario "Referens", as described in text below

Nedan beskrivs de resultat som presenteras i figur 22:

- **Nettoelproduktion:** Utfallet varierar mellan att minska de klimatpåverkande emissioner med mellan 2 och 20 kton CO₂-ekv./år (omvärldsutveckling ”Materialsnål tillväxt” respektive ”Materialintensiv tillväxt”). Spridningen i utfallet beror på de olika förutsättningarna i respektive omvärldsutveckling. I omvärldsutvecklingen ”Materialsnål tillväxt” uppnås en liten ökning av nettoelproduktionen. Detta är summan av en nettoökning i avfallssystemet (elproduktionen ökar mer i Avfallpanna-PTP än den minskar i Sävsnäs AKV) och en liten nettoökning i fjärrvärmesystemet (nettoökningen är begränsad då värmepumpar är konkurrenskraftiga gentemot naturgaseldad kraftvärme).
- **Fordonsgas:** Producerad fordonsgas beräknas minska de klimatpåverkande emissionerna i omvärlden med drygt 18 kton CO₂-ekv./år, dvs samma utfall som i ”Maximerad näringsåterföring” då samma förutsättningar gäller här.
- **Handelsgödsel:** I ”Maximerad elproduktion” måste större mängd handelsgödsel produceras och användas jämfört med ”Business-as-usual”. Anledningen är att avloppsslammet inte längre används till en jordprodukt (och därmed nyttiggörs inte dess innehåll av NPK⁷) utan förbränns i form av pellets. Mängderna matavfall till biologisk behandling ökar visserligen jämfört med ”Business-as-usual”, vilket ger ett tillskott av biogödsel, men detta räcker inte för att kompensera bortfallet av slammet. De klimatpåverkande emissionerna i omvärlden ökar med knappt 1 kton CO₂-ekv./år.

I figur 23 relateras utsläppsminskningarna som uppnås genom utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” mot det totala utsläppet i utvecklingsvägen ”Business-as-usual” (vilket framgår av figur 19). Av figuren framgår att utsläppen beräknas minska med 4-7 % beroende på utvecklingsväg och omvärldsutveckling. I absoluta tal kunde vi tidigare konstatera att utsläppsminskningarna var som lägst för omvärldsutvecklingen ”Materialsnål tillväxt”. Här framgår däremot att, i förhållande till systemets totala utsläpp, blir reduktionen som störst i just denna omvärldsutveckling.

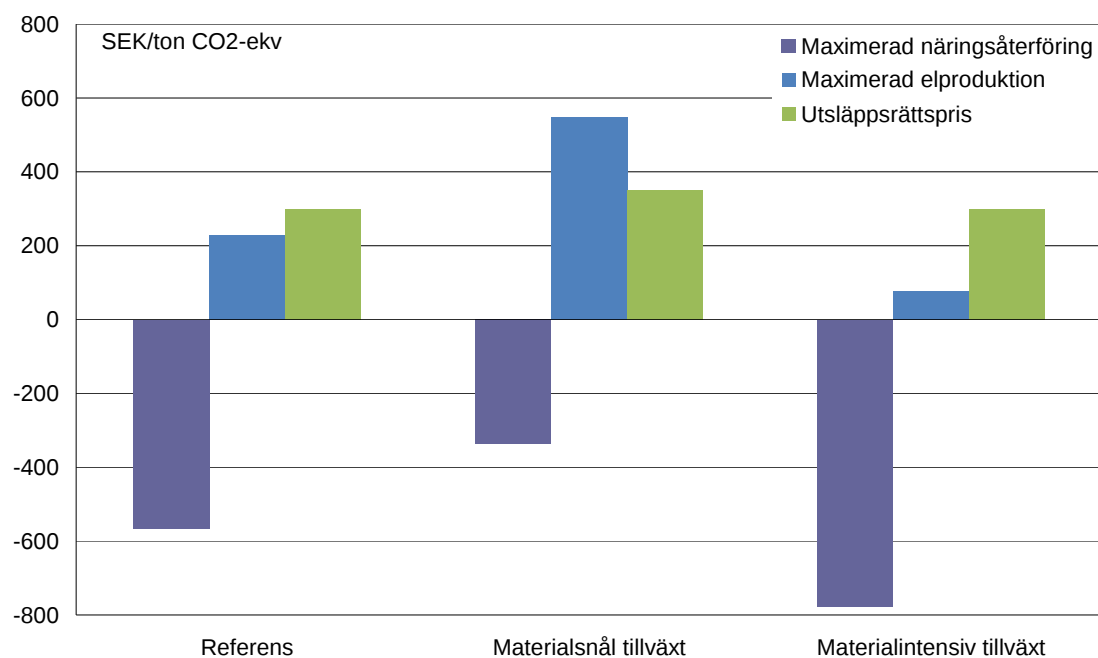
⁷ För antaganden kring tillgängligheten av växtnäringen i jordprodukterna se bilaga B



Figur 23. Förändringen i utsläpp av klimatpåverkande emissioner (CO₂-ekv) för de två utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" samt "Maximerad elproduktion" jämfört mot "Business-as-usual". Resultatet visas för var och en av de tre olika omvärldsutvecklingarna

Figure 23. The changes in emissions of climate gasses (CO₂-eqv) for the two local scenarios "Maximerad näringsåterföring" along with "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual". The results are shown for the development in each of the three different external scenarios.

I figur 24 relateras utsläppsminskningarna istället mot förändringen av nettokostnad för de olika utvecklingsvägarna. Detta ger oss en kostnad per ton utsläpp som vi uppnår genom en viss utvecklingsväg. Som tidigare visats ger utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" både en minskning av nettokostnaden och emissionerna av växthusgaser gentemot utvecklingsvägen "Business-as-usual". Därigenom erhålls en negativ utsläppskostnad för denna utvecklingsväg. Av figuren framgår att denna kostnad varierar mellan -300 och -700 kr/ton CO₂-ekv beroende av de tre omvärldsutvecklingarna. För utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" erhålls istället en utsläppskostnad på 100-600 kr/ton CO₂-ekv. I figuren visas även det europeiska priset på utsläppsätter enligt antagande för respektive omvärldsutveckling. Detta pris är lämpligt att jämföra mot då det anger ett marknadspris för att släppa ut koldioxid. Här framgår att utsläppskostnaden som beräknats för utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" understiger utsläppsätterpriset för två omvärldsutvecklingar ("Referens" och "Materialintensiv tillväxt") medan densamma ligger över utsläppsätterpriset i omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt".

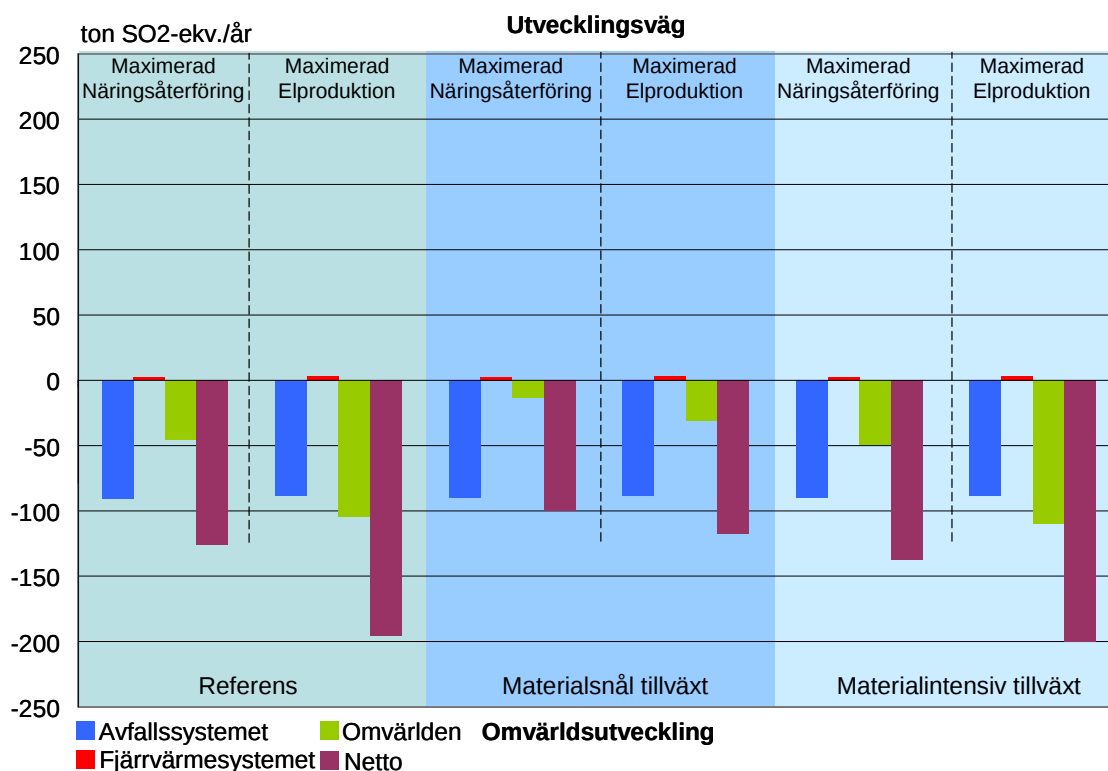


Figur 24. Beräknad kostnad för att genomföra de utsläppsreduktioner som uppnås genom utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" samt "Maximerad elproduktion" jämfört mot "Business-as-usual". Resultatet visas för var och en av de tre omvärldsutvecklingarna. Med utsläppsrättspris avses priset på EU's utsläppsrätter vilket antagits olika för de tre omvärldsutvecklingarna

Figure 24. The costs for the cut of emissions of climate gases for the local scenario "Maximerad näringsåterföring" along with "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual". The results are shown for each of the three external scenarios. The assumed price for CO₂-allowances within the EU trading system are shown for each of the three external scenarios

5.1.4 Försurningspotential

I figur 25 kan vi konstatera att både ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” genomgående innebär lägre försurningspotential än ”Business-as-usual”. ”Maximerad elproduktion” innebär genomgående lägst försurningspotential. Härnäst kommenteras resultaten mer i detalj.



Figur 25. Förändringen i försurningspotential i utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” gentemot ”Business-as-usual”. Resultat för samtliga tre omvärldsutvecklingar. Resultatet anges i enheten SO₂-ekvivalenter/år. Mer om detta finns att läsa i kapitel 3.4.1

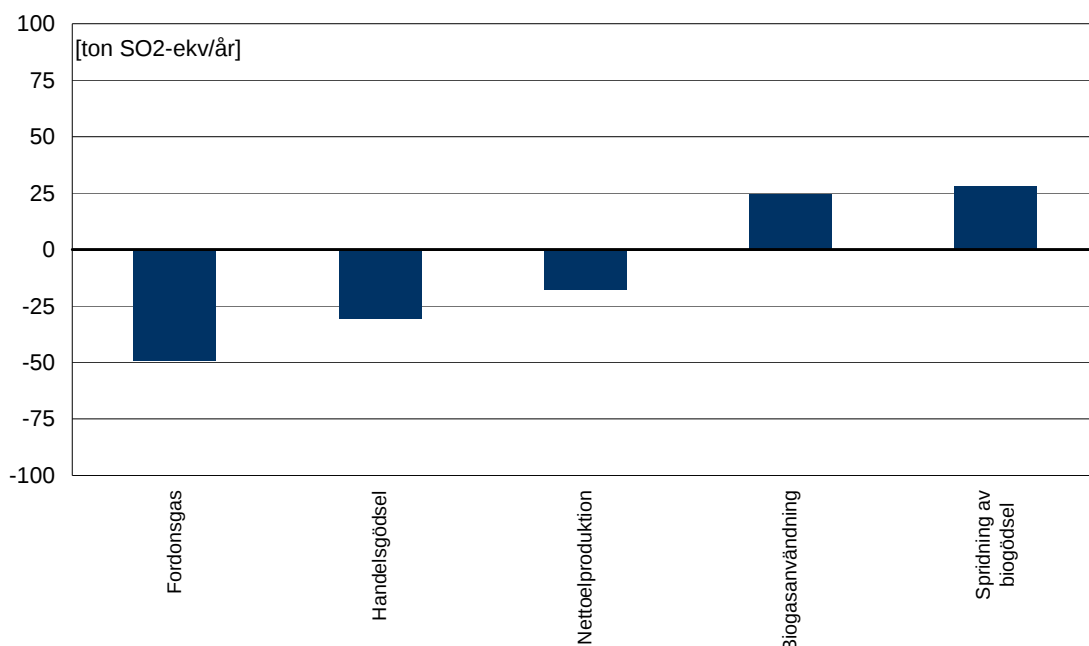
Figure 25. Changes in acidification potential in the local scenario ”Maximerad näringsåterföring” and ”Maximerad elproduktion” compared to ”Business-as-usual”. Results are shown for the three external scenarios. The result is shown in SO₂-equivalents/year, read more on this in chapter 3.4.1

I **avfallssystemet** minskar de försurande emissionerna relativt kraftigt både i ”Maximerad näringsåterföring” och i ”Maximerad elproduktion” jämfört med ”Business-as-usual”. Huvudorsaken till detta är att komposteringen av matavfall och avvattat slam, som enbart sker i ”Business-as-usual”, har emissioner av ammoniak (NH₃) och dessa undviks i övriga två utvecklingsvägar.

I **fjärrvärmesystemet** ökar emissionerna marginellt i ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” jämfört med ”Business-as-usual”. Emissionerna ökar på grund av att annan fjärrvärmeproduktion måste täcka den fjärrvärmeproduktion som försvinner när avfallsförbränningen minskar jämfört med ”Business-as-usual”. Men i jämförelse med

andra aktiviteter i avfalls- och fjärrvärmesystemet (t ex kompostering, se ovan) är de försurande emissionerna från fjärrvärmeproduktionen små. Därmed får de liten betydelse i analysen.

I figur 26 redovisas de faktorer i **omvärlden** som har störst betydelse för försurningspotentialen i ”Maximerad näringsåterföring” i jämförelse med ”Business-as-usual”.



Figur 26. Viktiga poster för förändringen i försurningspotential i utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” gentemot ”Business-as-usual”. Resultat för omvärldsutvecklingen ”Referens”. Se beskrivning i text nedan. Resultatet anges i enheten SO₂-ekvivalenter/år. Mer om detta finns att läsa i kapitel 3.4.1

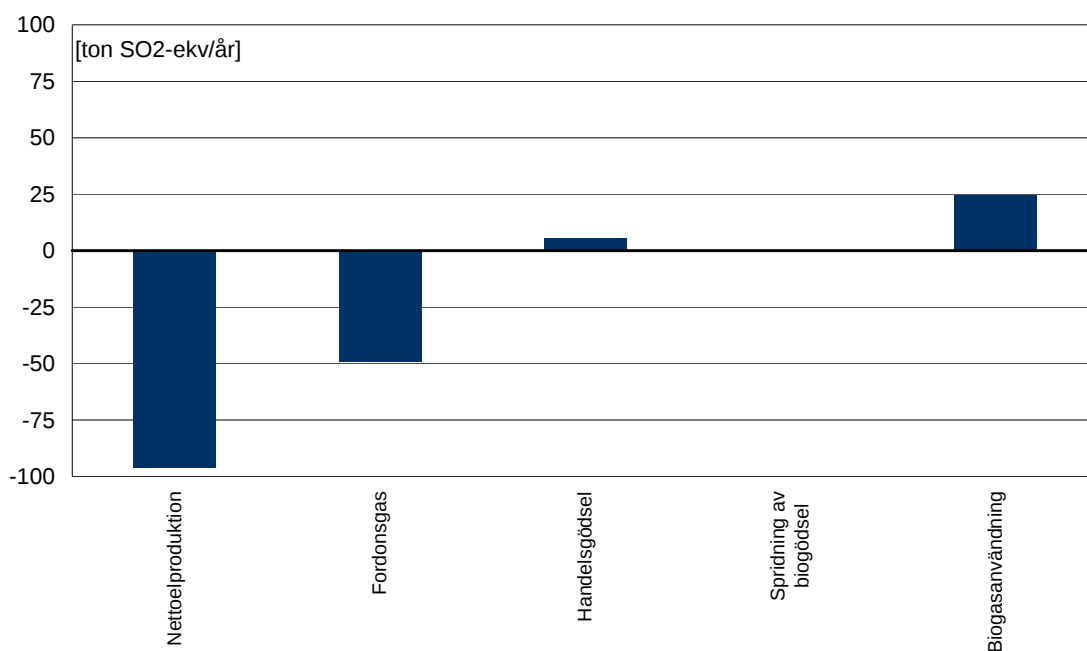
Figure 26. Important parameters for the changes of the acidification potential in the local scenario ”Maximerad näringsåterföring” compared to ”Business-as-usual”. Results are shown for the external scenario ”Referens”, as described in text below. The result is shown in SO₂-equivalents/year, read more on this in chapter 3.4.1

De poster som redovisas i figur 26 beskrivs nedan:

- **Spridning av slam och biogödsel på åkermark (Spridning av biogödsel):** Vid spridningen sker emissioner av NH₃. Totalt ökar detta de försurande emissionerna i omvärlden med 28 ton SO₂-ekv./år jämfört med ”Business-as-usual” (för detaljerad beskrivning av begreppet SO₂-ekvivalenter, se kapitel 3.4.1).
- **Fordonsgas:** Användningen av den producerade fordonsgasen i ”Maximerad näringsåterföring” ger upphov till försurande emissioner på 25 ton SO₂-ekv./år (Biogasanvändning). Samtidigt undviks försurande emissioner för produktion, distribution och användning av bensin och diesel motsvarande 49 ton SO₂-ekv./år (Fordonsgas)

- **Nettoelproduktion:** Utfallet varierar mellan att minska de försurande emissionerna med 24 ton SO₂-ekv./år (omvärldsutveckling "Materialintensiv tillväxt") till att öka desamma med 14 kton SO₂-ekv./år (omvärldsutveckling "Materialsnål tillväxt"). Orsaken till spridningen i utfallet är analogt med vad vi konstaterade ovan beträffande klimatpåverkan. Totalt ökar nettoelproduktionen i omvärldsutvecklingarna "Referens" och "Materialintensiv tillväxt" medan den minskar i "Materialsnål tillväxt". Liksom för resultaten gällande klimatpåverkan bör noteras att emissionerna för marginaleten i "Materialsnål tillväxt" är lägre än i "Referens" och "Materialintensiv tillväxt" vilket mildrar effekterna av att nettoelproduktionen minskar i Göteborg.
- **Handels gödsel:** I "Maximerad näringsåterföring" behöver en mindre mängd handels gödsel produceras och användas jämfört med "Business-as-usual". Anledningen är att biogödsel från rötningsanläggningen sprids på åkermark. De försurande emissionerna i omvärlden minskar med knappt 31 ton SO₂-ekv./år.

I figur 27 redovisas de faktorer i **omvärlden** som har störst betydelse för försurningspotentialen i "Maximerad elproduktion" i jämförelse med "Business-as-usual".



Figur 27. Viktiga poster för förändringen i försurningspotential i utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" gentemot "Business-as-usual". Resultat för omvärldsutvecklingen "Referens". Se beskrivning i text nedan. Resultatet anges i enheten SO₂-ekvivalenter/år. Mer om detta finns att läsa i kapitel 3.4.1

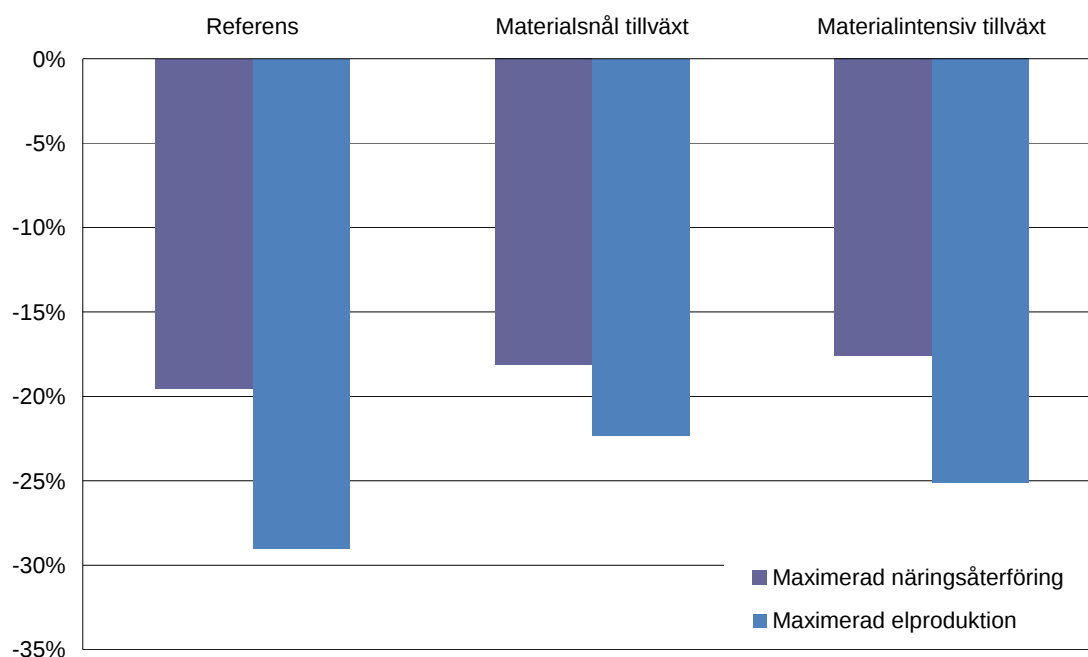
Figure 27. Important parameters for the changes of the acidification potential in the local scenario "Maximerad elproduktion" compared to "Business-as-usual". Results are shown for the external scenario "Referens", as described in text below. The result is shown in SO₂-equivalents/year, read more on this in chapter 3.4.1

De poster som redovisas i figur 27 beskrivs nedan:

- **Nettoelproduktion:** Utfallet varierar mellan att minska de försurande emissionerna med mellan 21 och 97 ton SO₂-ekv./år (omvärldsutveckling ”Materialsnål tillväxt” respektive ”Materialintensiv tillväxt”). Spridningen i utfallet beror på de olika förutsättningarna i respektive omvärldsutveckling och är analogt med utfallet för klimatpåverkan ovan.
- **Fordonsgas:** Användningen av den producerade fordonsgasen i ”Maximerad elproduktion” ger upphov till försurande emissioner på 25 ton SO₂-ekv./år (Biogasanvändning). Samtidigt undviks försurande emissioner för produktion, distribution och användning av bensin och diesel motsvarande 49 ton SO₂-ekv./år (Fordonsgas)
- **Handels gödsel:** I ”Maximerad elproduktion” måste större mängd handels gödsel produceras och användas jämfört med ”Business-as-usual”. Anledningen är att slammet inte längre används till en jordprodukt (och därmed nyttiggörs inte dess innehåll av NPK⁸) utan förbränns i form av pellets. De försurande emissionerna i omvärlden ökar med ca 6 ton SO₂-ekv./år.
- **Spridning av biogödsel på åkermark (Spridning av biogödsel):** Vid spridningen sker emissioner av NH₃. Totalt ökar detta de försurande emissionerna i omvärlden med 0,5 ton SO₂-ekv./år jämfört med ”Business-as-usual”.

I figur 28 beskrivs hur stor andel av de totala försurande emissionerna som kan reduceras genom utvecklingsväg ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” jämfört mot ”Business-as-usual”. Den förstnämnda utvecklingsvägen minskar emissionerna med 17-19 % jämförbar mot ”Business-as-usual” medan ”Maximerad elproduktion” ger minskningar av de försurande emissionerna på 22-29 % (det totala utsläppet för ”Business-as-usual” i omvärldsutvecklingen ”Referens” beräknas till 680 ton SO₂-ekv./år). Kostnaderna för de utsläppsreduktioner som uppnås genom ”Maximerad elproduktion” varierar från 10-80 kr/ton SO₂-ekv, 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).

⁸ I analysen används det komposterade slammet för anläggningsändamål. Hittills har det antagits att de växttillgängliga näringsämnen i det komposterade slammet har en funktion genom att ersätta motsvarande näringsämnen i handels gödsel.



Figur 28. Förändringen i utsläpp av försurande emissioner (SO₂-ekv) för de två utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" samt "Maximerad elproduktion" jämfört mot "Business-as-usual". Resultatet visas för var och en av de tre olika omvärldsutvecklingarna

Figure 28. Changes in emissions for acidification emissions (SO₂-ekv) for the two local scenarios "Maximerad näringsåterföring" along with "Maximerad elproduktion" compared with "Business-as-usual". The results are provided for all three external scenarios

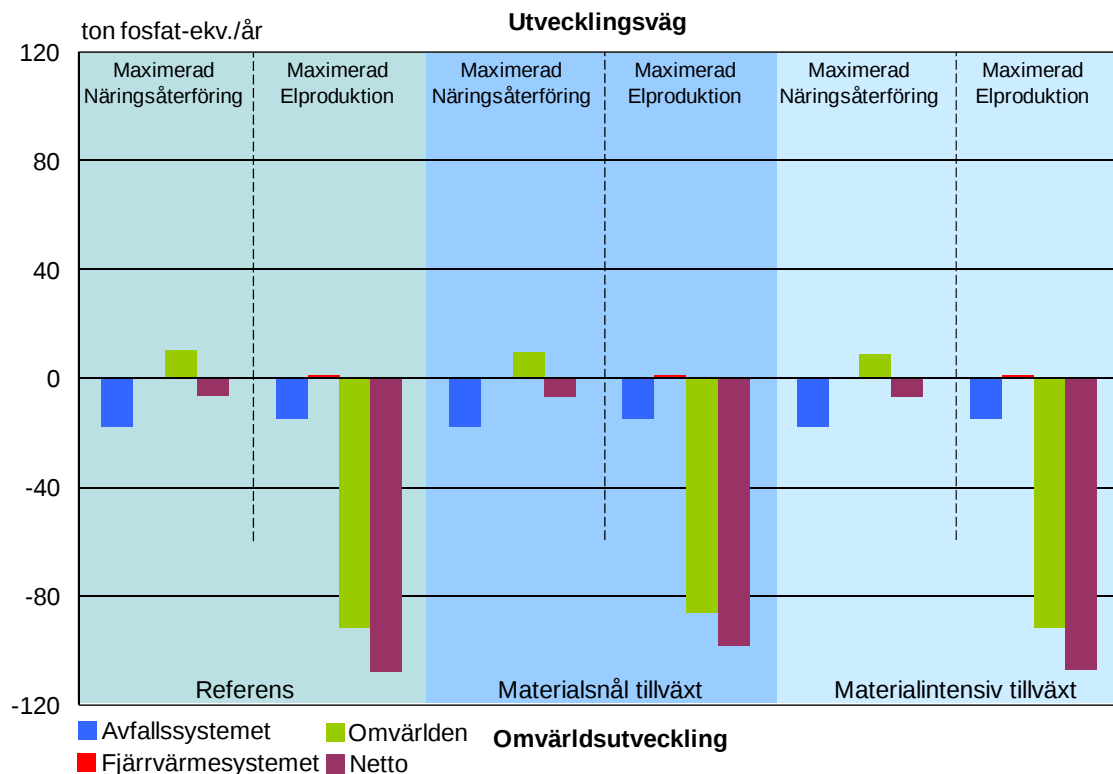
5.1.5 Övergödningspotential

I figur 29 kan vi konstatera att "Maximerad elproduktion" genomgående innebär lägst övergödningspotential. Samtidigt kan vi också konstatera att "Maximerad näringsåterföring" innebär en något lägre övergödningspotential än "Business-as-usual", differensen dem emellan är dock mycket liten.

Emissioner av NH₃ och NO_x spelar stor roll för resultaten både avseende försurnings- och övergödningspotential. Detta gör att resultaten för försurnings- och övergödningspotential följer varandra relativt väl avseende dessa emissioner. Men det finns två viktiga skillnader som påverkar resultatens utseende:

- 1) Emissioner av SO₂ inkluderas i försurningspotentialen men ej i övergödningspotentialen. Både emissioner av NO_x och SO₂ sker i betydande omfattning vid marginalelproduktionen. Bägge inkluderas därmed i beräkningen av försurningspotentialen men endast NO_x inkluderas i beräkningen av övergödningspotentialen. Detta gör att elproduktionens relativa bidrag blir mindre i övergödningspotentialen än i försurningspotentialen.

- 2) I beräkningen av övergödningspotentialen inkluderas även emissioner av nitrat (NO_3) till vatten. Detta får betydelse när mängden organiskt bundet kväve som når mark varierar eftersom det organiskt bundna kvävet delvis omvandlas till nitrat i ORWAREs markmodell.



Figur 29. Förändringen i övergödningspotential i utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" gentemot "Business-as-usual". Resultat för samtliga tre omvärldsutvecklingar. Resultatet anges i enheten fosfat-ekvivalenter/år. Mer om detta finns att läsa i kapitel 3.4.1

Figure 29. Changes in the eutrophication potential in the local scenario "Maximerad näringsåterföring" and "Maximerad elproduktion" compared against "Business-as-usual". The results are provided for all three external scenarios. The result is shown in phosphor-equivalents/year, read more on this in chapter 3.4.1

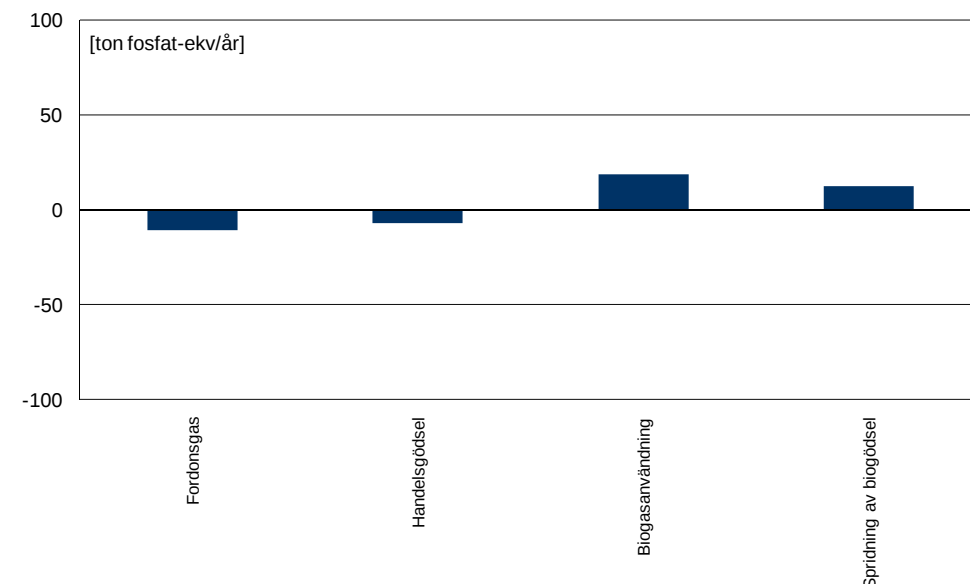
Nedan kommenteras resultaten mer i detalj.

I **avfallssystemet** minskar de övergödande emissionerna relativt kraftigt både i "Maximerad näringsåterföring" och i "Maximerad elproduktion" jämfört med "Business-as-usual". Huvudorsaken till detta är att komposteringen av matavfall och avvattnat slam, som enbart sker i "Business-as-usual", har emissioner av NH_3 och dessa undviks i övriga två utvecklingsvägar.

I **fjärrvärmesystemet** ökar emissionerna marginellt i "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" jämfört med "Business-as-usual". De övergödande emissionerna (i form av NO_x) ökar på grund av att annan fjärrvärmeproduktion måste täcka den fjärrvärmeproduktion som försvinner när avfallsförbränningen minskar jämfört

med "Business-as-usual". Men i jämförelse med andra aktiviteter i avfalls- och fjärrvärmesystemet (t ex kompostering, se ovan) är de övergödande emissionerna från fjärrvärmeproduktionen små. Därmed får de liten betydelse i analysen.

I figur 30 redovisas de faktorer i **omvärlden** som har störst betydelse för övergödningspotentialen i "Maximerad näringsåterföring" i jämförelse med "Business-as-usual".



Figur 30. Viktiga poster i omvärlden för förändringen i övergödningspotential i utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" gentemot "Business-as-usual". Resultat för omvärldsutvecklingen "Referens". Se vidare beskrivning i text nedan. Resultatet anges i enheten fosfat-ekvivalenter/år. Mer om detta finns att läsa i kapitel 3.4.1

Figure 30. Important parameters for the changes in eutrophication potential in the local scenario "Maximerad näringsåterföring" along with "Business-as-usual". Results are shown for the developments in the external scenario "Referens", as described in text below. The result is shown in phosphorus-equivalents/year, read more on this in chapter 3.4.1

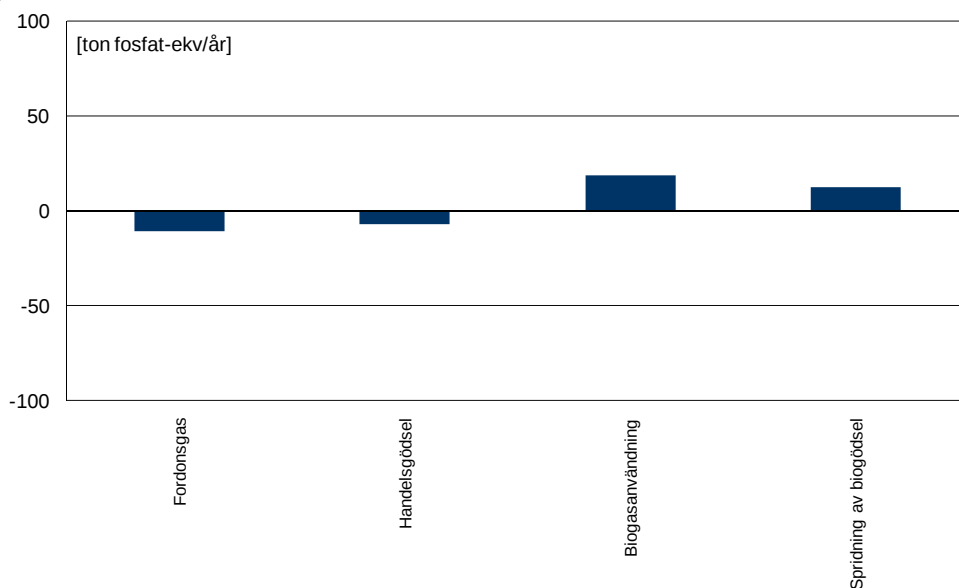
De poster som redovisas i figur 30 beskrivs nedan:

- **Spridning av slam och biogödsel på åkermark (Spridning av biogödsel):** Vid spridningen sker emissioner av NH_3 . Totalt ökar detta de övergödande emissionerna i omvärlden med 12 ton fosfat-ekv./år jämfört med "Business-as-usual" (läs mer om begreppet fosfat-ekvivalenter i kapitel 3.4.1).
- **Fordonsgas:** Användningen av den producerade fordonsgasen i "Maximerad elproduktion" ger upphov till övergödande emissioner på 19 ton fosfat-ekv./år (Biogas användning). Samtidigt undviks övergödande emissioner för produktion, distribution och användning av bensin och diesel motsvarande 11 ton fosfat-ekv./år (Fordonsgas). Skillnaderna är alltså små och beror av vilka NO_x -emissioner som antas ske från olika fordonbränslen. Antagandena här ger att NO_x -emissionerna är något

högre för ett gasfordon jämfört mot ett fordon som drivs med bensin eller diesel.

- **Handelsgödsel:** I ”Maximerad näringsåterföring” behöver en mindre mängd handelsgödsel produceras jämfört med ”Business-as-usual”. Anledningen är att biogödsel från rötningsanläggningen sprids på åkermark. De övergödande emissionerna i omvärlden till följd av minskad produktion av handelsgödsel minskar med knappt 7 ton fosfat-ekv./år.

I figur 31 redovisas de faktorer i **omvärlden** som har störst betydelse för övergödningspotentialen i ”Maximerad elproduktion” i jämförelse med ”Business-as-usual”.



Figur 31. Viktiga poster i omvärlden för förändringen i övergödningspotential i utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” gentemot ”Business-as-usual”. Resultatet för omvärldsutvecklingen ”Referens”. Se vidare beskrivning i text nedan. Resultatet anges i enheten fosfat-ekvivalenter/år. Mer om detta finns att läsa i kapitel 3.4.1

Figure 31. Important parameters that impact the eutrophication potential in the local scenario ”Maximerad elproduktion” along with ”Business-as-usual”. Results are shown for the developments in the external scenario ”Referens”, as described in text below. The result is shown in phosphorus-equivalents/year, read more on this in chapter 3.4.1

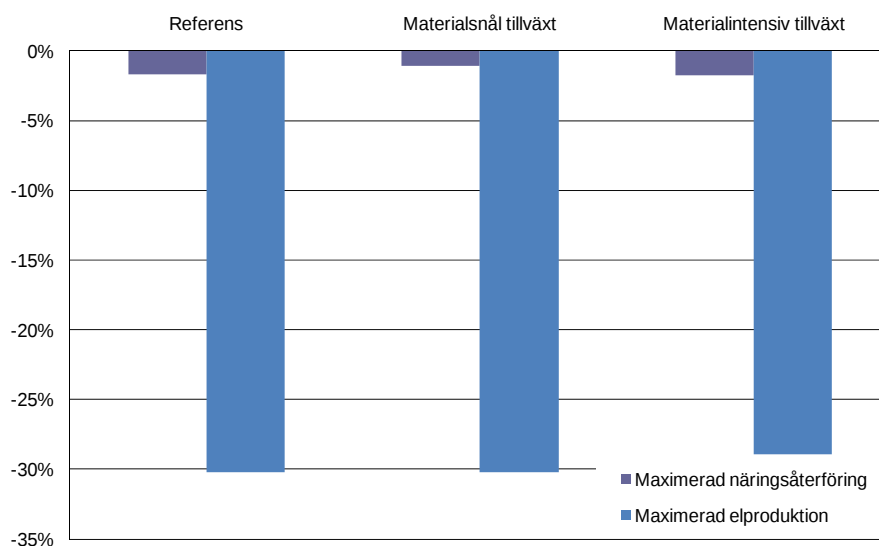
De poster som redovisas i figur 31 beskrivs nedan:

- **Undviken användning av komposterat slam:** I ORWARE-modellens markmodell tas hänsyn till att delar av det organiskt bundna kvävet i jordprodukter omvandlas till nitrat (NO_3) i jorden och släpps ut till vatten. Dessa nitratemissioner inkluderas i övergödningspotentialen men ej i försurningspotentialen. I utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” förbränns slammet som pellets istället för att användas som jordprodukt. Totalt (inklusive den förändrade hanteringen av matavfall) reduceras nitratemissioner motsvarande 100 ton fosfat-ekv./år.
- **Fordonsgas:** Användningen av den producerade fordonsgasen i ”Maximerad näringsåterföring” ger upphov till övergödande emissioner på 19 ton fosfat-ekv./år (Biogasanvändning). Samtidigt undviks övergödande emissioner för produktion,

distribution och användning av bensen och diesel motsvarande 11 ton fosfat-ekv./år (Fordonsgas). Skillnaderna är alltså små och beror av vilka NO_x-emissioner som antas ske från olika fordonsbränslen. Antagandena här ger att NO_x-emissionerna är något högre för ett gasfordon jämfört mot ett fordon som drivs med bensen eller diesel.

- **Handelsgödsel:** I "Maximerad elproduktion" måste större mängd handelsgödsel produceras jämfört med "Business-as-usual". Anledningen är att slammet inte längre används till en jordprodukt (och därmed nyttiggörs inte dess innehåll av NPK⁹) utan förbränns i form av pellets. De övergödande emissionerna i omvärlden ökar till följd av en ökad produktion av handelsgödsel med 1 ton fosfat-ekv./år.

I figur 32 beskrivs hur de övergödande emissionerna förändras i procent för utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" och "Maximerad elproduktion" i förhållande till "Business-as-usual". Här framgår att "Maximerad näringsåterföring" ger 1-2 % minskade emissioner medan "Maximerad elproduktion" minskar emissionerna med hela 30 % (det totala utsläppet för "Business-as-usual" i omvärldsutvecklingen "Referens" beräknas till 359 ton fosfat-ekv/år). Utsläppsminskningarna i "Maximerad elproduktion" uppgår i absoluta tal till omkring 100 ton fosfat-ekv/år, vilket kan jämföras mot exempelvis Gryaab's totala emissioner av övergödande ämnen på 1500 ton fosfor-ekv/år (Gryaab, 2009).



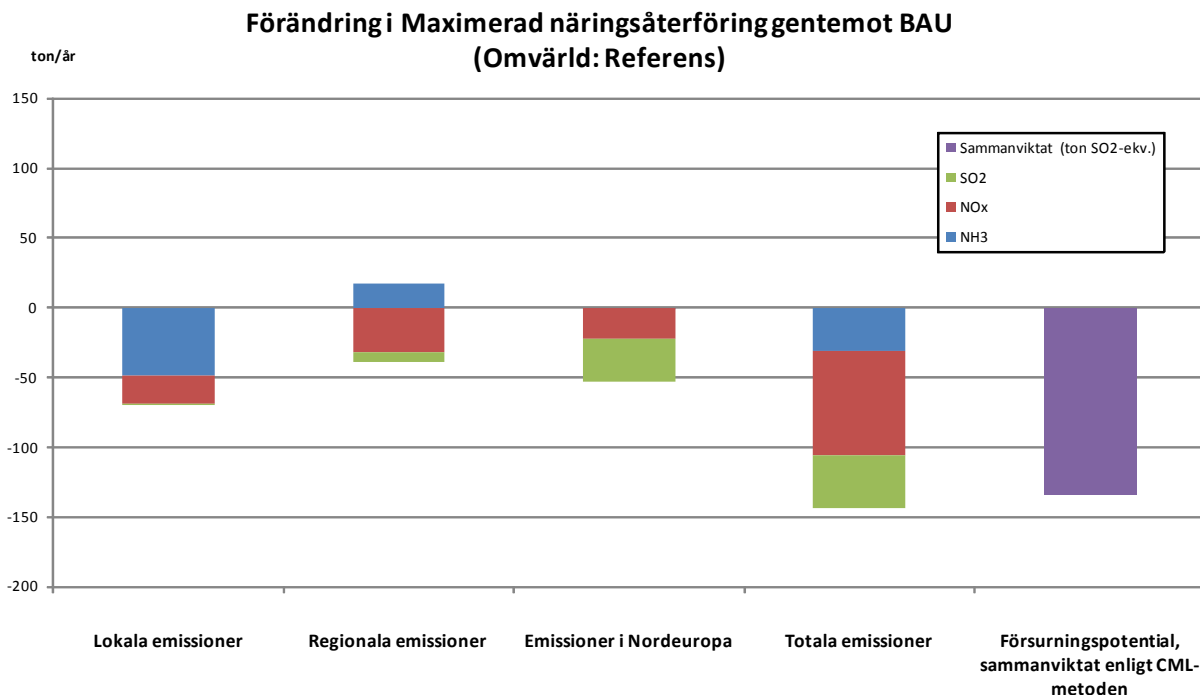
Figur 32. Förändringen i utsläpp av övergödande emissioner (fosfat-ekv) för de två utvecklingsvägarna "Maximerad näringsåterföring" samt "Maximerad elproduktion" jämfört mot "Business-as-usual". Resultatet visas för var och en av de tre olika omvärldsutvecklingarna

Figure 32. The changes in emissions of eutrophication emissions (fosfat-ekv) for the local scenarios "Maximerad näringsåterföring" along with "Maximerad elproduktion" compared with "Business-as-usual". The results are provided for each of the three external scenarios

⁹ I analysen används det komposterade slammet för anläggningsändamål. Hittills har det antagits att de växttillgängliga näringsämnena i det komposterade slammet har en funktion genom att ersätta motsvarande näringsämnen i handelsgödsel.

5.1.6 Resultat ur MKB-perspektiv

För att illustrera MKB-perspektivet har vi valt att presentera ett av alla erhållna resultat, nämligen utsläpp av försurande ämnen där vi jämför "maximerad näringsåterföring" mot "business-as-usual" för omvärldsutvecklingen "Referens". Utsläppen för energi- och avfallssystemet redovisas här uppdelat på *var* de sker istället för från vilken process/delsystem som ingår. Resultaten visas i figur 33.



Figur 33. Utsläpp av försurande ämnen i utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" jämfört mot "Business-as-usual" för omvärldsutvecklingen "Referens". Resultatet visas ur ett MKB-perspektiv

Figure 33. Emissions from the acidification materials in the local scenario "Maximerad näringsåterföring" compared with "Business-as-usual" in the external scenario "Referens". The results are shown from impact on the local environment perspective.

I de lokala emissionerna ingår insamling/transport, avfallsbehandling (sortering/förbehandling, förbränning, kompostering, rötning, tillverkning av jordprodukter och deponering) samt fjärrvärmesystemet. Här ligger alltså livscykeln från uppkommet avfall fram till användbar produkt i avfallssystemet och från bränsle fram till fjärrvärme och el i fjärrvärmesystemet.

Till de regionala utsläppen hör avsättning av nyttigheterna från rötning, det vill säga transport av organiska gödselmedel till spridningsbar mark, spridning, utsläpp från marken samt uppgradering och användning av biogas.

Nästa geografiska nivå är Nordeuropa och där hittar vi dels den elproduktion som ersätts av el från fjärrvärmesystemet, men även produktion av den handelsgödsel som kan ersättas genom kompost och biogödsel.

De utsläpp som har en försurande inverkan är svaveldioxid (SO_2), kväveoxider (NO_x) och ammoniak (NH_3). De totala luftemissionerna av dessa utsläpp redovisas i den fjärde stapeln från vänster i diagrammet ovan. Här är alltså utsläppen adderade utan hänsyn tagen till att de verkar försurande i olika grad. För att jämföra mot det karakteriserade LCA-resultatet har vi i den femte och sista stapeln redovisat de viktade försurningsutsläppen.

Utsläpp av ammoniak är helt dominerande på det lokala planet. Genom att minska kompostering av avfall minskar de lokala utsläppen av ammoniak avsevärt. För de regionala ammoniakutsläppen (Västra Götalands län, Göteborg ej inräknat) kan vi däremot konstatera en ökning. Den beror i första hand på att ammoniak släpps ut då biogödsel sprids på åkermark. Osäkerheten är stor avseende storleken på dessa utsläpp så resultaten bör tolkas som så att ytterligare insats bör göras i inventeringsledet för att närmare undersöka spridningsförhållandena samt att metoderna för att beräkna/uppskatta utsläppen behöver vidareutvecklas. En svårighet med detta är att det idag knappt förekommer någon spridning av organiska gödselmedel på de platser som kan bli aktuella. Utsläpp av ammoniak kan också förväntas från de fordon som använder biogas. Ur ett nordeuropeiskt perspektiv är ammoniakutsläppen i princip oförändrade. Summerat minskar nettoutsläppen med drygt 30 ton/år.

Utsläppen av kväveoxider minskar i alla geografiska delar av systemet. På det lokala planet minskar utsläppen från avfallsförbränning medan utsläppen från fjärrvärmesystemet ökar marginellt. Regionalt minskar utsläppen av kvävedioxider genom att diesel ersätts av biogas. Per energienhet halveras utsläppen för biogasbussar jämfört med dieslbussar, dock förbrukar biogasbussar i snitt 12 % mer energi per kilometer. På det nordeuropeiska planet minskar utsläppen främst från elproduktionen, men även från tillverkning av handelsgödsel.

Lokala utsläpp av svaveldioxider förändras ej nämnvärt lokalt. En minskning på runt 6 ton kan noteras regionalt vilket är nettot av ökade utsläpp från spridning av biogödsel och minskade utsläpp från biogasfordon. Den stora utsläppsminskningen härrör från ökad elproduktion som ersätter bl.a. kolkraft med höga utsläpp av svaveldioxider.

Skillnaden mellan totala emissioner och viktade totala emissioner bestäms till största del av att utsläppen av kvävedioxider, som dominerar de totala emissionerna, har en relativt lägre inverkan på försurningen, viktningsfaktorn är 0,5 (se kapitel 3.4.1).

För att få ett grepp om betydelsen av energi- och avfallssystemets bidrag gentemot andra samhällssektorer har vi också jämfört de lokala och regional utsläppsförändringarna mot de totala utsläppen i Västra Götalands län. För samtliga emissioner handlar det om tiondels procent. Då skall man också känna till att det inte bara är de inhemska utsläppen som ger effekter, vi har också bidrag från utlandet till deposition av försurande ämnen i Sverige. Depositionen leder sedermera till försurning av mark och vatten. I tabell 14 visas bidragen från våra närmsta grannländer.

Tabell 14. Bidrag till deposition av försurande ämnen i Västra Götalands län. Källa: Nyiri et al (2009)
Table 14. Percentage of aide in the deposition of acidification products in Västra Götalands municipality.
Nyiri et al (2009).

Utsläpp i:	SO ₂	NO _x	NH _x
Sverige	8 %	8 %	29 %
Polen	10 %	6 %	5 %
Nord- och Östersjön (fartyg)	21 %	22 %	-
Tyskland	-	9 %	10 %
Danmark	-	-	8 %
Norge	-	-	3 %

5.2 Känslighetsanalyser

I samband med framtagandet av utvecklingsvägarna fanns ytterligare ett antal teknik- och systemavgränsningsval som inte kunde inlemmas i de valda utvecklingsvägarna. För att ändå fånga upp dessa alternativ har vi i studien genomfört ett antal känslighetsanalyser där justeringar gjorts i de tre utvecklingsvägarna. Totalt handlar det om åtta känslighetsanalyser. Dessa belyser: olika alternativ för hantering av avloppsslam och biogödsel (4 analyser), olika alternativ för att få matavfall till rötning (1 analys), ökad elproduktion från förgasning (1 analys), fossil kolandel i avfall till förbränning (1 analys) samt alternativ systemgräns (1 analys). Resultatet av känslighetsanalyserna redovisas nedan.

5.2.1 Känslighetsanalys – olika alternativ för hantering av avloppsslam och biogödsel

Inom omvärldsutvecklingen ”Materialsål tillväxt” har olika alternativ för hantering för avloppsslam och biogödsel studerats. Som utgångspunkt har hanteringen i utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” använts. I tabell 15 nedan beskrivs denna hantering samt de fyra känslighetsanalyser som innebär alternativ hantering av avloppsslam och biogödsel. I resultaten illustreras vilka förändringar som de fyra känslighetsanalyserna innebär relativt ”Maximerad elproduktion”.

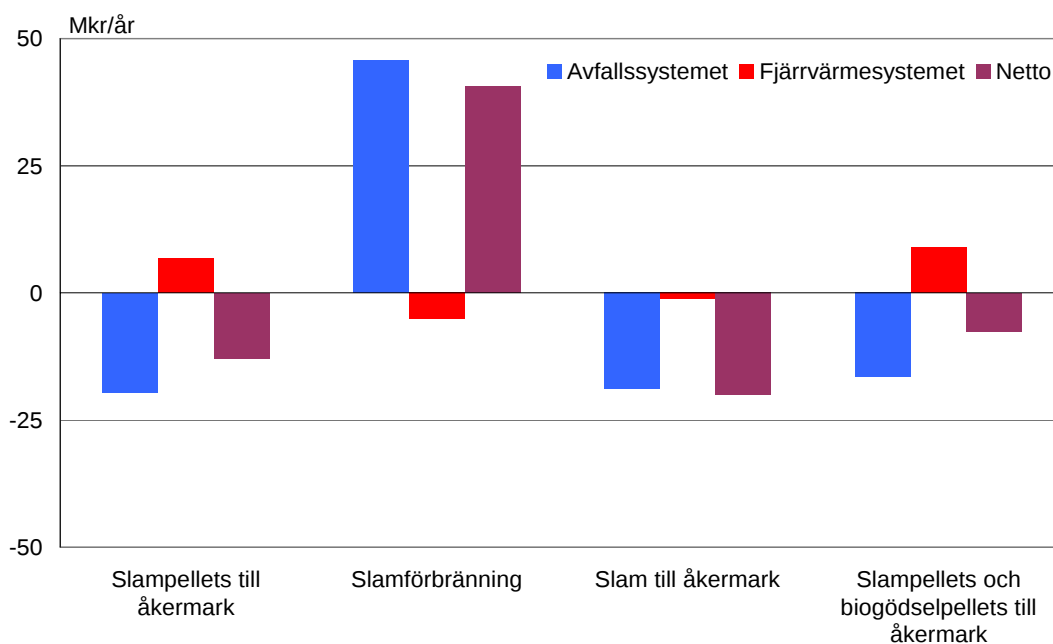
Tabell 15. Hantering av avloppsslam och biogödsel samt förbränning i Avfallspanna-PTP i ”Maximerad elproduktion” och de fyra känslighetsanalyserna. Samtliga fall avser omvärldsutvecklingen ”Materialsål tillväxt”

Table 15. Treatment of wastewater sludge, sludge from anaerobic digestion and fuels used in Avfallspanna-PTP in the local scenario “Maximerad elproduktion” along with four sensitivity analysis. All analysis are made under the external scenario “Materialsål tillväxt”

	Maximerad elproduktion	Känslighetsanalyser			
		Slampellets till åkermark	Slamförbränning	Slam till åkermark	Slampellets och biogödsel-pellets till åkermark
Hantering av avvattnat avloppsslam	Torkas, pelleteras och förbränns i Avfallspanna-PTP	Torkas, pelleteras och sprids på åkermark	Förbränns i Sävenäs AKV	Sprids på åkermark	Torkas, pelleteras och sprids på åkermark
Hantering av avvattnad biogödsel	Sprids på åkermark	Sprids på åkermark	Sprids på åkermark	Sprids på åkermark	Torkas, pelleteras och sprids på åkermark
Bränslen till Avfallspanna-PTP	Utsorterade avfalls-bränslen (30 kton) och slampellets (22 kton)	Utsorterade avfalls-bränslen (30 kton)	Utsorterade avfalls-bränslen (30 kton)	Utsorterade avfalls-bränslen (30 kton)	Utsorterade avfalls-bränslen (30 kton)

Ekonomi

I figur 34 kan vi konstatera att spridning av slam och biogödsel på åkermark (utan någon behandling förutom avvattning) ger det ekonomiskt mest gynnsamma utfallet. De övriga alternativ som är mest ekonomiskt intressanta innefattar också spridning på åkermark – antingen slampellets i kombination med biogödsel (näst mest ekonomiskt gynnsamt) eller slampellets och biogödselpellets. Samtliga dessa tre alternativ innebär en tydlig kostnadsreduktion i **avfallssystemet** jämfört med att förbränna slampellets. Huvudorsaken är att man undviker fasta och rörliga kostnader för förbränningen då det antas i analysen att storleken på Avfallspanna-PTP justeras så att den enbart förbränner utsorterade avfallsbränslen. I övrigt dominerar kostnader för torkning och pelletering (i pelleteringsalternativen), transportkostnader till åkermark (för spridning av avvattnat slam/biogödsel) samt intäkt för pelleterade produkter. Det fjärde alternativet, förbränning av slammet i Sävenäs AKV, leder till betydligt högre kostnader då det i analysen antas att kapaciteten måste byggas ut för att ta hand om slammet. Om det finns ledig kapacitet i Sävenäs AKV skulle resultatet bli helt annorlunda eftersom utfallet då inte belastas av de fasta kostnader man tar på sig vid en investering. Utfallet skulle bli mer gynnsamt än att förbränna slampellets i en ny Avfallspanna-PTP men fortfarande inte lika gynnsamt som att sprida slammet på åkermark.



Figur 34. Förändringen i nettokostnad i de fyra känslighetsanalyserna gentemot utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion". Resultat för omvärldsutveckling "Materialsnål tillväxt"

Figure 34. The changes in total costs in the four sensitivity analysis that were done in the local scenario "Maximerad elproduktion". The results are for the external scenario "Materialsnål tillväxt"

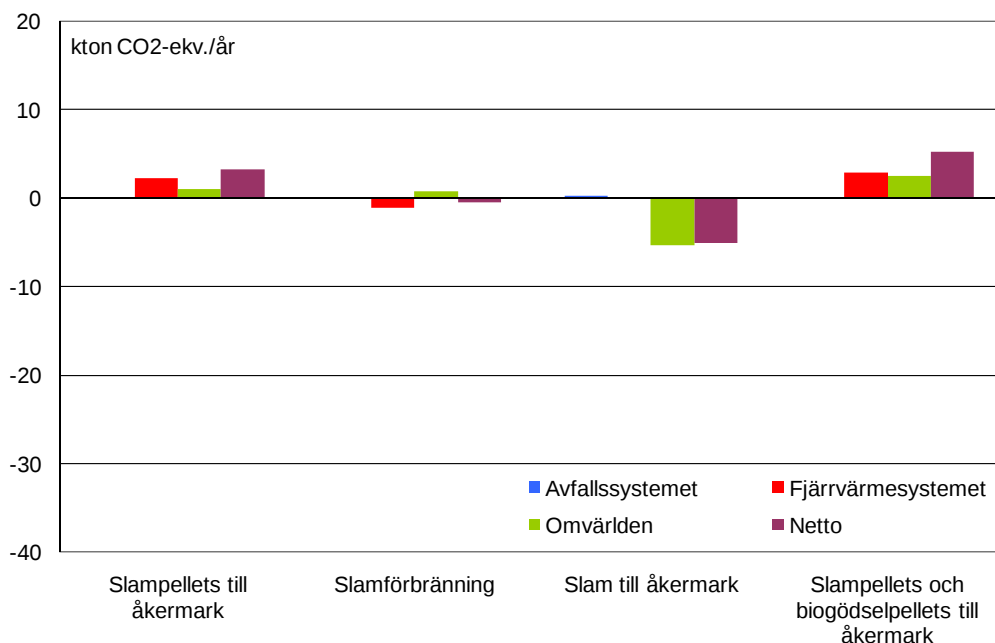
I **fjärrvärmesystemet** är påverkan relativt liten. I fallet med slamförbränning minskar kostnaden som en nettoeffekt av tre förändringar:

- 1) Minskat fjärrvärmebehov då ingen torkning sker (minskar kostnaden)
- 2) Ökad värmeproduktion från Sävenäs AKV (minskar kostnaden för övrig fjärrvärmeproduktion)
- 3) Minskad värmeproduktion från Avfallspanna-PTP (ökar kostnaden för övrig fjärrvärmeproduktion)

I fallet med slam till åkermark minskar kostnaderna knappt vilket är en nettoeffekt av att fjärrvärmebehovet minskar då ingen torkning av slam behöver ske samtidigt som minskad fjärrvärmeproduktionen från Avfallspanna-PTP måste ersättas av annan fjärrvärmeproduktion. I övriga två alternativ (slampelletts till åkermark samt slampelletts och biogödselpelletts till åkermark) stiger kostnaden i fjärrvärmesystemet på grund av att övrig fjärrvärmeproduktion måste ersätta minskad värmeproduktion från Avfallspanna-PTP.

Klimatpåverkan

I figur 35 kan vi konstatera att spridning av slam och biogödsel på åkermark (utan någon behandling förutom avvattning) ger lägst klimatpåverkan. Men en annan intressant slutsats är att valet av slamhantering har ganska liten klimatpåverkan relativt övrig avfallshantering. Denna slutsats kan man dra genom att jämföra utfallen i figur 35 med motsvarande figur för de studerade utvecklingsvägarna i avsnitt 5.1.3 (dvs figur 20). I bägge figurerna används samma skala och vi kan därigenom se att valet av utvecklingsväg har betydligt större betydelse än valet av slamhantering.



Figur 35. Förändringen i klimatpåverkan i de fyra känslighetsanalyserna gentemot utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion". Resultat för omvärldsutveckling "Materialsnål tillväxt". För att möjliggöra jämförelser har skalan i denna figur satts till samma som i figur 20

Figure 35. The changes in climate emissions in the four sensitivity analysis within the local scenario "Maximerad elproduktion". The results are for the external scenario "Materialsnål tillväxt". The scale in the figure is set to the same as in figure 20

Att spridning av slam och biogödsel ger lägst klimatpåverkan beror främst på att de innebär att störst mängd näringsämnen når jordbruksmark och därmed kan ersätta emissioner i omvärlden för produktion av handelsgödsel. I alternativen med torkning och pelletering antas att hela mängden ammonium förloras i torkningen vilket innebär att klart mindre mängder handelsgödsel kan ersättas. I alternativen med pelleterade produkter till åkermark ökar emissionerna i fjärrvärmesystemet till följd av att övrig fjärrvärmeproduktion måste kompensera bortfallet från förbränning av slampelletts och täcka ett ökat fjärrvärmebehov (det sistnämnda gäller endast slampelletts och biogödselpelletts till åkermark). Samtidigt innebär omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" för dessa alternativ att nettoelproduktionen¹⁰ minskar i det totala systemet vilket ger ytterligare emissioner från marginalel.

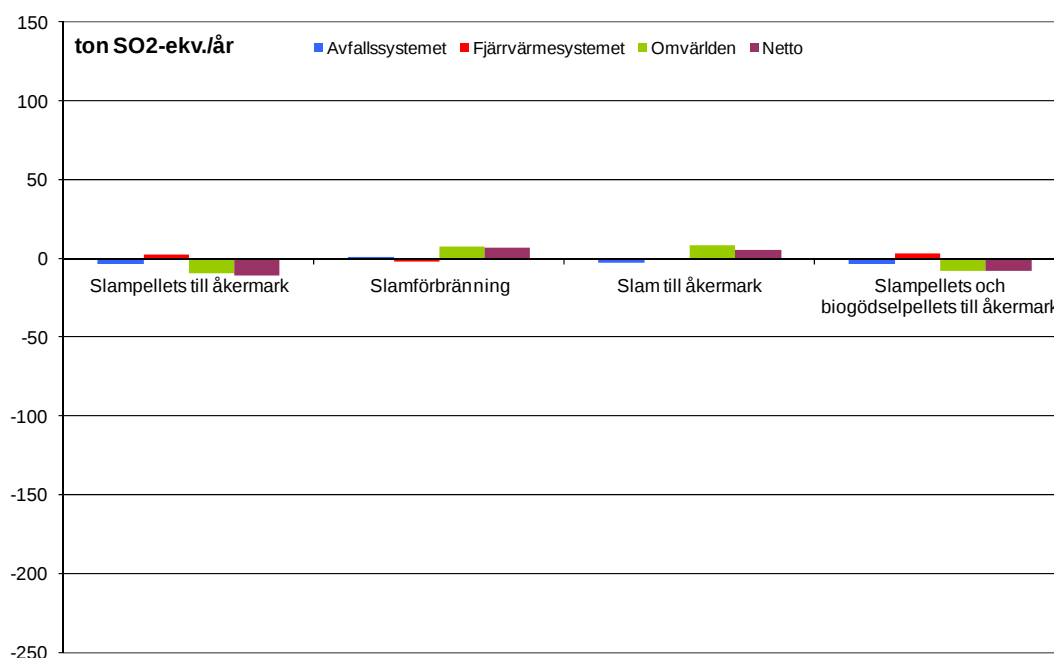
¹⁰ Förutsättningarna i "Materialsnål tillväxt" innebär att värmepumpar till stor del används för att täcka bortfallet i värme från Avfallspanna-PTP.

Försurningspotential

I figur 36 kan vi konstatera att spridning av slam och biogödsel på åkermark i pellerad form ger lägst försurningspotential. Här bör man dock notera att tungt vägande faktorer bakom detta är antagandena om att hela ammoniummängden förloras vid torkningen och att 99 % av denna mängd renas i biofilter vid torkningen, dvs bara 1 % av ammoniummängden ger då upphov till försurande emissioner. Förlusten av ammonium har flera effekter i jordbruksledet:

- 1) Man går miste om att möjligheten att ersätta kväve i handelsgödsel och därmed att undvika de försurande emissioner som är förknippade med handelsgödsel
- 2) Man undviker försurande emissioner av NH_3 vid spridningen.

I övrigt belastas samtliga alternativ av att nettoelproduktionen minskar jämfört med att förbränna slampellet i Avfallspanna-PTP. I jämförelse med resultaten i avsnitt 5.1.4 kan vi konstatera att valet av slamhantering inte är betydande för det totala utfallet rörande försurningspotentialen.



Figur 36. Förändringen i försurningspotential i de fyra känslighetsanalyserna gentemot utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion". Resultat för omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt". För att möjliggöra jämförelser har skalan satts till samma som i figur 24

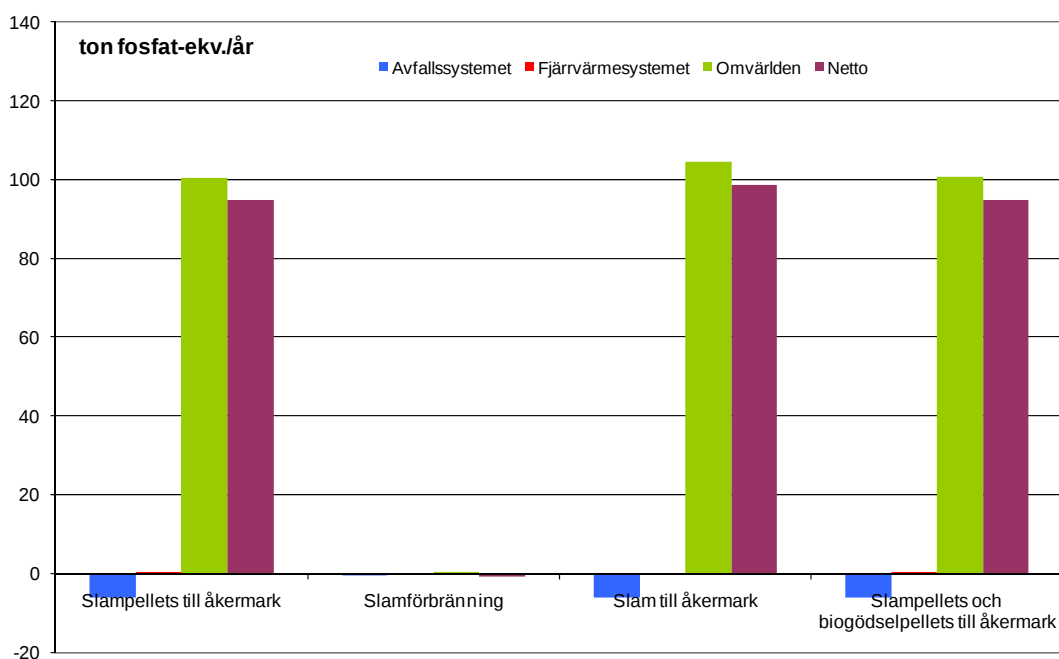
Figure 36. The changes in the acidification potential in the four sensitivity analysis within the local scenario "Maximerad elproduktion", The results are for the external scenario "Materialsnål tillväxt". The scale in the figure is the same as for figure 24

Övergödningspotential

För övergödningspotentialen domineras resultaten av om organiskt bundet kväve når jordbruksmark eller ej. Som konstaterades i avsnitt 5.1.5 avgör detta om nitratemissioner kommer att ske till vatten, vilket sedermera viktas in i övergödningspotentialen. I figur 37 dominerar denna effekt resultaten för alternativen där slam och biogödsel (pelleterat eller ej) sprids på åkermark. Resultatet blir sämst för spridning av slam och biogödsel eftersom det då tillkommer emissioner av NH_3 vid spridningen och dessa är klart större än de emissioner som undviks genom att användningen av handelsgödsel reduceras.

I jämförelse med resultaten i avsnitt 5.1.5 kan vi konstatera att valet av slamhantering är betydande även för det totala utfallet rörande övergödningspotentialen.

Avslutningsvis kan också konstateras att alternativet med direkt spridning av slam och biogödsel på åkermark ger bäst resultat ur ekonomisk och klimatmässig synvinkel, men att samma alternativ ger det sämsta utfallet när det gäller övergödning.



Figur 37. Förändringen i övergödningspotential i de fyra känslighetsanalyserna gentemot utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion". Resultat för omvärldsutveckling "Materialsål tillväxt". Skalan i figuren är densamma som i figur 28

Figure 37. The changes in the eutrophication potential in the four sensitivity analysis within the local scenario "Maximerad elproduktion", The results are for the external scenario "Materialsål tillväxt". The scale in the figure are the same as for figure 28

5.2.2 Käslighetsanalys – olika alternativ för att få matavfall till rötning

I analysen har den centrala matavfallssorteringen (även benämnd ”Ludvikasortering” under projektets gång) modellerats utifrån leverantörsuppgifter på planerade anläggningar. Indata och beskrivning av denna sorteringsmetod återfinns i Bilaga B. För framtida analyser vore det intressant att följa upp dessa resultat med utfall från verkliga anläggningar.

Käslighetsanalysen har genomförts som en variant av ”Maximerad näringsåterföring” under omvärldsutvecklingen ”Materialsål tillväxt”. I käslighetsanalysen antas att central matavfallssortering används istället för källsortering för att få fram den erforderliga mängden matavfall till den nya röttningsanläggningen. De huvudsakliga förändringar som detta innebär är följande:

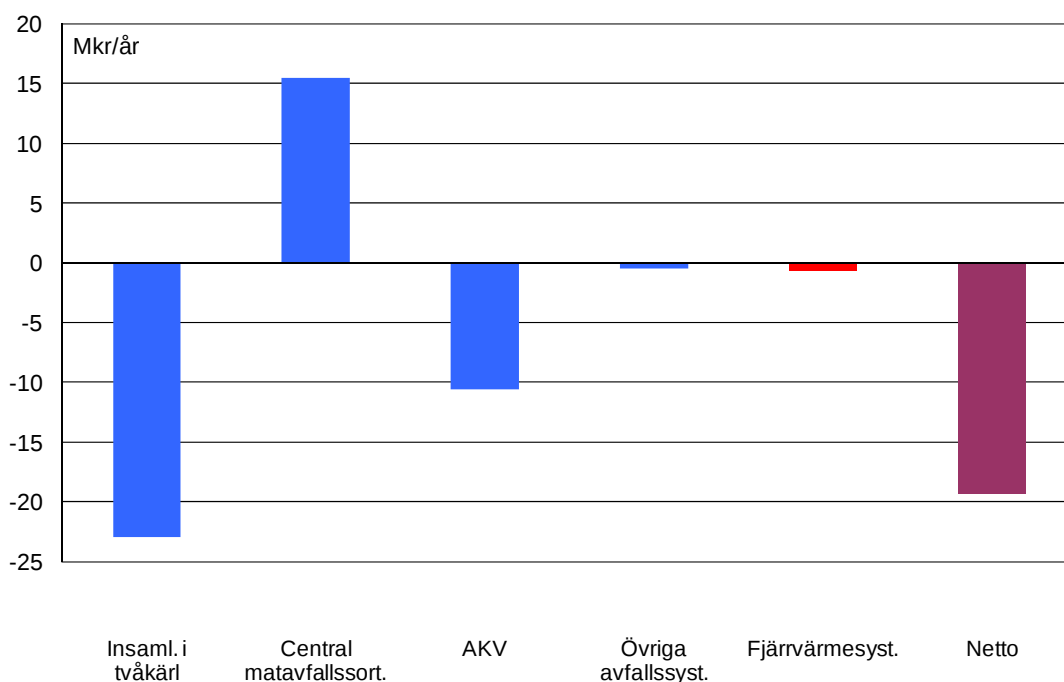
- Etablering och drift av en anläggning för central matavfallssortering
- Undvikande av motsvarande mängd matavfall via insamling i tvåkärssystem
- Högre elkonsumtion i avfallssystemet på grund av driften av den centrala matavfallssorteringen
- Något minskade mängder till Sävenäs AKV eftersom den centrala matavfallssorteringen sorterar ut metaller och deponirest samt innebär en fuktavgång. Mängden brännbar rest som återstår efter den centrala matavfallssorteringen och som går till Sävenäs AKV blir därför mindre än den brännbara mängd som samlas in i tvåkärssystemet
- Högre effektivt värmevärde på den brännbara resten från den centrala matavfallssorteringen än på den brännbara resten i tvåkärssystemet. Orsaken är att de mängder som avgår vid den centrala sorteringen (metaller, deponirest och fukt) alla har en sänkande effekt på det effektiva värmevärdet. När dessa sorteras bort ökar därför det effektiva värmevärdet
- Något större värme- och elproduktion från Sävenäs AKV. Detta kan verka något förvånande med tanke på att de brännbara mängderna minskar. Men samtidigt ökar värmevärdet på det material som skickas till förbränningen. Netto innebär detta en något ökad värme- och elproduktion vid Sävenäs AKV
- Ökad värmeproduktion vid Sävenäs AKV innebär att övrig fjärrvärmeproduktion i fjärrvärmesystemet minskar något. Detta innebär att nettoelproduktionen från fjärrvärmesystemet sjunker något
- Totalt minskar nettoelproduktionen vilket huvudsakligen beror på den ökade elkonsumtionen i den centrala matavfallssorteringen

När man tittar på resultaten kan man konstatera att central matavfallssortering istället för källsorteringen framförallt medför ekonomiska konsekvenser. För samtliga studerade miljöeffekter är påverkan relativt liten vilket hänger samman med att relativt små

förändringar sker av hur avfallet behandlas. Det miljömässiga utfallet blir genomgående något sämre med central matavfallssortering. Huvudorsaken till detta är att nettoelproduktionen sjunker. De minskade emissionerna från främst övrig fjärrvärmeproduktion räcker inte till för att kompensera de emissioner som tillkommer på grund av ökad marginalelproduktion.

I figur 38 illustreras de förändringar som har störst påverkan på det ekonomiska utfallet. En negativ stapel i figuren innebär att nettokostnaden minskar med central matavfallssortering istället för källsortering. Totalt minskar nettokostnaden med knappt 20 Mkr/år med central matavfallssortering. För avfallsförbränningen bör två saker noteras:

- i. Kostnaden beräknas i modellen per ton avfall som förbränns. Eftersom mängden till Sävenäs AKV minskar med central matavfallssortering så minskar även kostnaderna för avfallsförbränning
- ii. I analysen har antagits att man lyckas anpassa kapaciteten på Sävenäs AKV till det mindre behovet ifall central matavfallssortering etableras. Därmed inkluderas en reduktion i både fasta och rörliga kostnader.



Figur 38. Förändringen i nettokostnad vid central matavfallssortering istället för källsortering. Resultat för omvärldsutveckling "Materialsnål tillväxt"

Figure 38. Changes in the total costs when using central food waste separation techniques instead of source separation. The results are for the external scenario "Materialsnål tillväxt"

5.2.3 Känslighetsanalys – ökad elproduktion genom förgasning

Känslighetsanalysen har genomförts som en variant av ”Maximerad elproduktion” under omvärldsutvecklingen ”Materialintensiv tillväxt”. I känslighetsanalysen antas en förgasningsanläggning användas istället för Avfallspanna-PTP för att behandla det utsorterade avfallsbränslet och slampellet. De huvudsakliga förändringar som detta innebär är följande:

- Etablering och drift av en förgasningsanläggning istället för Avfallspanna-PTP
- Förgasningsanläggningen producerar en större andel el i förhållande till värme jämfört med Avfallspanna-PTP. Samtidigt är totalverkningsgraden lägre. Netto innebär detta att elproduktionen blir något högre i avfallssystemet
- Med förgasningsanläggningen sker mindre värmeproduktion varför övrig fjärrvärmeproduktion ökar.
- Eftersom förutsättningarna är gynnsamma för kraftvärme i omvärldsutvecklingen ”Materialintensiv tillväxt” innebär den ökade drifttiden för övrig fjärrvärmeproduktion att nettoelproduktionen ökar i fjärrvärmesystemet
- För avfalls- och fjärrvärmesystemet totalt ökar nettoelproduktionen till följd av öknings båda i avfalls- och fjärrvärmesystemet. Totalt ökar nettoelproduktionen med 14,5 GWh/år. Av detta står förgasningen enbart för 0,6 GWh/år medan ökningen av nettoelproduktionen för övrig fjärrvärmeproduktion står för 13,9 GWh/år.

När man tittar på resultaten kan man konstatera att förgasning istället för Avfallspanna-PTP har stora ekonomiska konsekvenser. Totalt ökar nettokostnaden med drygt 112 Mkr/år. I avfallssystemet ökar nettokostnaden med drygt 107 Mkr/år vilket helt går att härleda till att förgasningsanläggningen har betydligt högre investeringskostnad än Avfallspanna-PTP. Den extra elintäkt som förgasningsanläggningen ger för avfallssystemet motsvarar endast 0,3 Mkr/år. För fjärrvärmesystemet ökar kostnaderna med knappt 5 Mkr/år för att kompensera att förgasningsanläggningen ger mindre värmeproduktion än Avfallspanna-PTP.

För samtliga studerade miljöeffekter förbättras resultatet vilket främst beror på att den ökade nettoelproduktionen gör att man minskar emissioner från produktion av marginalet.

För försurnings- och övergödningspotentialen är även bidraget från förgasningsanläggningen respektive Avfallspanna-PTP relevant. Enligt insamlade data som använts i modelleringen har förgasningsanläggningen lägre NO_x-emissioner (som g/MJ bränsle) men högre SO₂-emissioner (som % av bränslets S-innehåll). Bägge dessa emissioner bidrar till försurningspotentialen och netto innebär emissionerna från förgasningsanläggningen en högre försurningspotential. En viktig förklaring häri är sannolikt att slampellet förbränns/förgasas och dessa har ett förhållandevis stort S-innehåll. Endast NO_x-emissioner bidrar till övergödningspotentialen och följaktligen innebär emissionerna från förgasningen en lägre övergödningspotential.

5.2.4 Känslighetsanalys – fossil kolandel i avfall till förbränning

Inom ramen för projektet har även en känslighetsanalys gjorts för de fossila emissionerna av CO₂ från Sävenäs AKV. Känslighetsanalysen har utförts i utvecklingsvägen ”Business-as-usual” för omvärldsutvecklingen ”Referens”.

I grundresultatet (som ingår i resultaten i avsnitt 5.1) förbränns knappt 586 kton avfall vid Sävenäs AKV, vilket enligt modellberäkningarna ger upphov till klimatpåverkande emissioner motsvarande knappt 249 kton CO₂-ekv./år.

I ORWARE-modellen beräknas dessa emissioner dels utifrån avfallets innehåll av fossilt kol (vilket i sin tur uppskattas utifrån plockanalyser och data om kolandelen i typiska fossila material som t ex plast, textil och gummi) och dels utifrån data om emissioner av metan och lustgas (vilka anges per MJ bränsle och som har uppskattats utifrån miljörapporten för Sävenäs AKV år 2007). Innehållet av fossilt kol i avfallet utgör den dominerande delen och motsvarar 248 kton CO₂-ekv./år i grundresultatet.

I känslighetsanalysen har istället de fossila emissionerna uppskattats utifrån de undersökningar Renova gjort med kol-14-analys (Detterfelt och Pettersson, 2009). Baserat på resultaten från dessa undersökningar (som gjorts för olika mix av hushålls- och verksamhetsavfall) och den mix av hushålls- och verksamhetsavfall som gäller i utvecklingsvägen ”Business-as-usual” för omvärldsutvecklingen ”Referens” antogs i känslighetsanalysen att 9,2 % av kolinnehållet i avfallet var av fossilt ursprung. Detta antagande resulterade i en radikal minskning av de klimatpåverkande emissionerna, från knappt 249 kton CO₂-ekv./år i grundresultatet till knappt 63 kton CO₂-ekv./år i känslighetsanalysen.

5.2.5 Känslighetsanalys – alternativ systemgräns

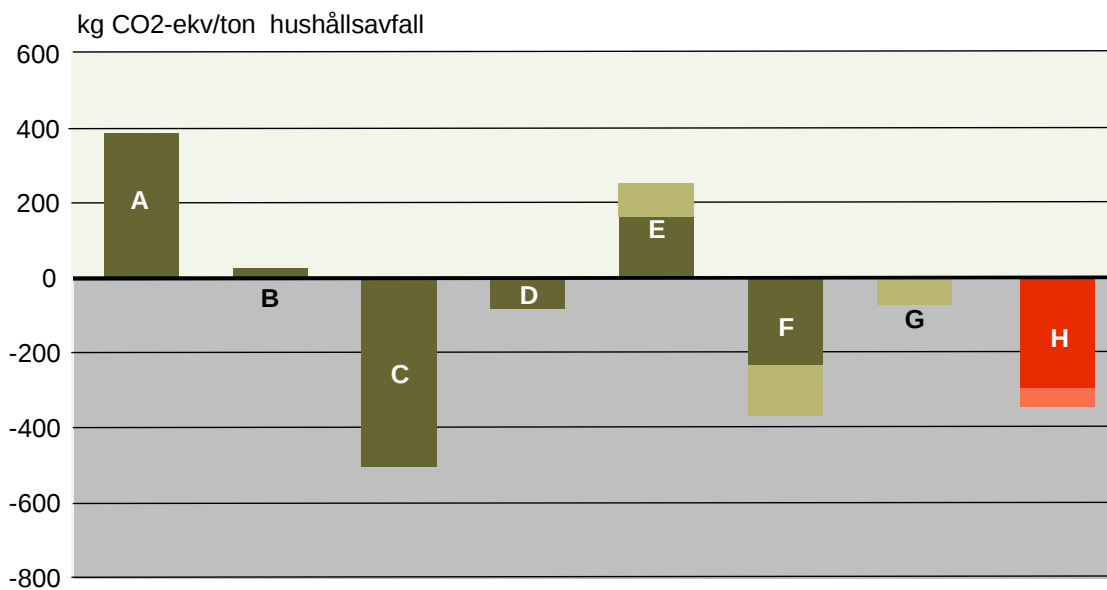
I kapitel 4.5 återfinns en beskrivning av hur valet av systemgräns kan påverka de resultat som erhålls i en systemanalys. För alla resultat ovan har systemgränsen satts kring den verksamhet som avfalls- och fjärrvärmeansvariga i Göteborg har makt och möjlighet att påverka och förändra. Vidare har gränsen satts till att man ska klara av att ta hand om allt avfall som uppstår i regionen. Mer precist allt avfall som uppstår inom Renovas ägarkommuner och som bedömts behöva behandlingskapacitet.

Valet av systemgräns är betydelsefullt för de resultat som beräknas och valet är inte heller självklart vilket ställer extra krav i förståelsen av resultaten. Den systemgräns som är vald fungerar bra för att illustrera de miljömässiga och ekonomiska konsekvenser som lokala beslutsfattare ska begrunda för deras långsiktiga planering av avfallsbehandlingssystemet. En del av denna avgränsning ger dock vissa problem och är inte självklar. Det som medverkande i studien framförallt har funderat över är vilka avfallsmängder som ska ingå samt begränsningen i att regionen ska tillhandahålla behandlingskapacitet för det avfall som uppkommer inom det studerade området. Men man kan mycket väl tänka sig att ta in mer avfall från andra regioner eller länder och man kan även tänka sig att man köper in behandlingstjänster från andra regioner. Idag tar man in mindre mängder avfall från andra regioner/länder, en införsel som mycket väl kan komma att öka i framtiden om detta bedöms som en ekonomiskt och miljömässigt bra lösning. För att illustrera just konsekvenserna från att öka införseln av avfall redovisas här ett alternativ där

avgränsningen av avfallet till Renovas delägarkommuner tas bort vilket bland annat möjliggör att avfall som uppstår utanför delägarkommunerna kan tas emot och behandlas. Denna effekt har studerats i två separata projekt med hjälp av de modeller som utvecklats inom detta arbete. Ett av dessa genomfördes på uppdrag av Avfall Sverige (2009) och i en efterföljande uppdatering åt Renova. Härnäst redovisas klimateffekterna av en ökad införsel av brännbart avfall till förbränning i Sävenäs.

Man kan direkt konstatera från figur 39 att importen av brännbart avfall ger stora reduktioner av de totala utsläppen av klimatpåverkande gaser. Det som framförallt påverkar resultaten är att man undviker deponering i avsändarlandet samt ersätter fossila bränslen i produktionen av fjärrvärme och el. Det ökade transportavståndet får mycket liten påverkan på resultatet. Det finns idag mycket stora mängder brännbart avfall som deponeras utanför Sverige, enligt Profus beräkningar ca 150 miljoner ton årligen inom EU27. All tillkommande ny alternativ kapacitet till deponering kommer att utnyttjas i arbetet och strävan att avveckla deponeringen i Europa. I de tidigare resultaten med den vanliga systemgränsen ersattes också fossila bränslen men dock inte deponering som alternativ behandlingsmetod. Med denna alternativa systemgräns blir åtgärden att förbränna mer brännbart avfall ännu mer intressant i ett klimatperspektiv.

Mer i detalj visar figur 39 beräkningsresultatet för import av ytterligare ett ton hushållsavfall till förbränning i Sävenäs. Av figuren framgår att emissionerna vid importen totalt sett minskar med drygt 300 kg CO₂/ton hushållsavfall (stapel H). Utsläppen ökar visserligen till följd av själva förbränningen och transporten av detta avfall (stapel A och B). Vi får även ökade emissioner till följd av att värme från Sävenäs ersätter drift i andra kraftvärmeanläggningar, vilket minskar elproduktionen i Göteborgs fjärrvärmesystem (stapel E). Samtidigt ersätter värme- och elproduktionen från kraftvärmeverket emissioner från annan värme- och elproduktion, vilket som konsekvens ger att utsläpp undviks (stapel D och F). Den största utsläppsreduktionen erhålls dock genom att man vid importen av hushållsavfallet ersätter alternativ avfallsbehandling av motsvarande avfallsmängd i ursprungslandet (stapel C). I de länder varifrån importen av avfall idag sker har man en brist på behandlingskapacitet för organiskt avfall. Den alternativa behandlingen som står till förfogande är då i första hand deponering. Denna behandling ger betydande utsläpp av metan, vilket är en mycket kraftig växthusgas. I figuren presenteras ett osäkerhetsintervall för den alternativa elproduktionen vilken beror av hur elproduktionen utvecklas i framtiden. Dessutom finns inlagt ytterligare en parameter som visar hur resultatet påverkas av ett antagande om att biobränsle är en begränsad resurs (stapel G). Detta innebär att den totala användningen av biobränslen i världen är begränsad på grund av att tillgången är begränsad. Redan idag har konkurrensen ökat om biobränslet framförallt gentemot massa- och pappersindustrin och det finns idag flera miljöforskare som anser att man i ett långsiktigt energiperspektiv med ökat fokus på klimatfrågor bör betrakta biobränsle som en begränsad energiresurs som kommer att utnyttjas. Ett sådant synsätt med begränsad tillgång på biobränslen leder därmed automatiskt till att en ökad användning i ett system resulterar i att ett annat system måste minska sin användning med motsvarande mängd. Denna situation existerar inte idag men man kan närma sig ett sådant läge framöver, givet att efterfrågan på biobränslen ökar till följd av ambitionerna att minska vår klimatpåverkan. Med ett sådant resonemang ger importen av avfallsbränsle till Sävenäs AKV att en viss mängd biobränsle som annars skulle nyttjats i Göteborg Energis fjärrvärmesystem friläggs och kan nyttjas till att ersätta fossila bränslen vid någon annan form av energiproduktion.



A: Direkta emissioner från den fossila andelen av avfallet

B: Emissioner från transport av avfallet till Göteborg

C: Undvikta emissioner från alternativ avfallshantering (deponering)

D: Undvikta emissioner från alternativ fjärrvärmeproduktion i Göteborg

E: Emissioner från alternativ elproduktion som ersätter minskad elproduktion i fjärrvärmesystemet (*inlagt osäkerhetsintervall beroende av värderingen av alternativ elproduktion*)

F: Undvikta emissioner från alternativ elproduktion till följd av att el produceras vid avfallsförbränningen (*inlagt osäkerhetsintervall beroende av värderingen av alternativ elproduktion*)

G: När biobränsle antas vara en begränsad resurs undviks emissioner genom att utnyttjat biobränsle i fjärrvärmesystemet kan nyttjas för annan energiproduktion

H: Nettostapel med osäkerhetsintervall beroende på värderingen av alternativ elproduktion samt med och utan antagandet om att biobränsle är en begränsad resurs

Figur 39. Klimatpåverkan från import av ett ton hushållsavfall till avfallsförbränning i Göteborg

Figure 39. Effects on the climate from the importation of one tonne of household waste to incineration in Gothenburg

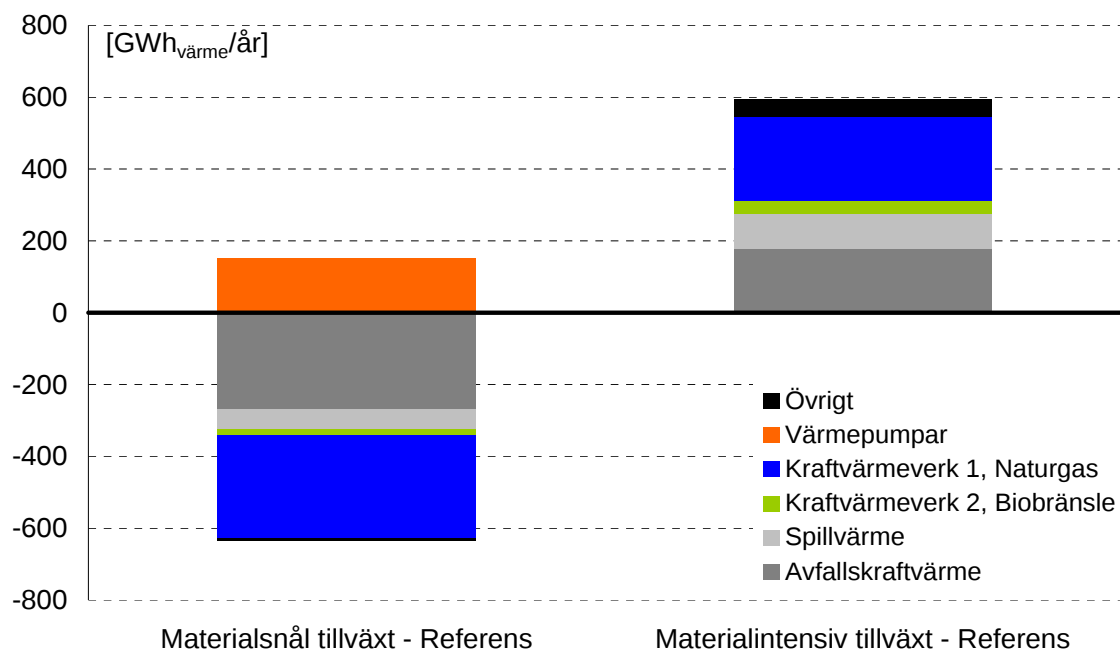
Import av avfallsbränsle till Sävenäs AKV är ett exempel på alternativ som exkluderas vid det val av systemgräns som gjorts här. Andra exempel kan vara import av organiskt avfall för rötning eller export av avfall till behandling utanför det system som studeras. Med detta vill vi belysa att den systemgränsen som valts alltså utesluter alternativ som mycket väl kan uppvisa såväl goda ekonomiska som miljömässiga resultat. Trots detta ser vi den valda systemgränsen som mest relevant vid studier av alternativa utvecklingsvägar för avfallsbehandlingen i Göteborg. Det är den systemgräns som ligger närmast de ambitioner som Göteborg och kranskommuner satt upp i sitt långsiktiga planeringsarbete.

5.3 Resultaten ur ett fjärrvärmeperspektiv

Fjärrvärmesystemet i Göteborg ingår som en naturlig del i de studier som genomförs här. Anledningen är naturligtvis att avfallssystemet och fjärrvärmesystemet är sammankopplat genom kraftvärmeverket i Sävenäs som förbränner avfall och genererar el och fjärrvärme. Göteborgs fjärrvärmesystem påverkas i modellstudierna av såväl lokala förändringar som förändringar i omvärlden. I detta kapitel beskrivs de viktiga systemeffekter som sker i fjärrvärmesystemet givet de olika utvecklingar som studeras.

5.3.1 Omvärldsutvecklingarnas påverkan på fjärrvärmesystemet

Omvärldsutvecklingarna påverkar driften av fjärrvärmesystemet dels genom att det totala värmebehovet varierar och dels genom att energipriserna antas vara olika. Olika värmebehov ger att de olika anläggningarnas värmeproduktion skiljer sig åt i de tre utvecklingarna, medan olika energipriser förändrar den inbördes driftordningen av anläggningarna. Dvs att i omvärldsutveckling "Referens" kan kostnaden för anläggning A vara lägre än för anläggning B, medan ordningen kan vara den omvända i någon av de två andra utvecklingarna. I figur 40, som visar skillnaden i fjärrvärmeproduktion mellan utveckling "Referens" och de båda andra omvärldsutvecklingarna åskådliggörs bägge dessa faktorer påverkan på fjärrvärmesystemet (givet utvecklingavägen "Business-as-usual"). I figuren syns tydligt hur fjärrvärmeproduktionen minskar med ca 600 GWh/år i utvecklingen "Materials-nål tillväxt" medan den istället ökar i ungefär samma omfattning i "Materialintensiv tillväxt". Anledningen är att behovet av fjärrvärme i Göteborg år 2030 antas vara olika i de tre omvärldsutvecklingarna. Den andra faktorn, att energipriserna varierar i de olika utvecklingarna, ger här främst en påverkan på driften av värmepumparna vid jämförelsen av utvecklingen "Materials-nål tillväxt" och "Referens". Här framgår att, medan alla övriga anläggningar minskar sin drift till följd av ett minskat värmebehov, så ökar driften av värmepumparna markant. Anledningen är att priset på naturgas antas vara klart högre i "Materials-nål tillväxt" jämfört mot "Referens". Därmed blir driftkostnaden för värmepumparna lägre än densamma för det naturgaseldade kraftvärmeverket och Martes-modellen väljer då att i första hand nyttja värmepumparna.



Figur 40. Omvärldsutvecklingarnas påverkan på driften av fjärrvärmesystemet givet utvecklingsvägen "Business-as-usual"

Figure 40. Changes in the external scenarios that have an effect on the operations of district heating systems given the local scenario "Business-as-usual"

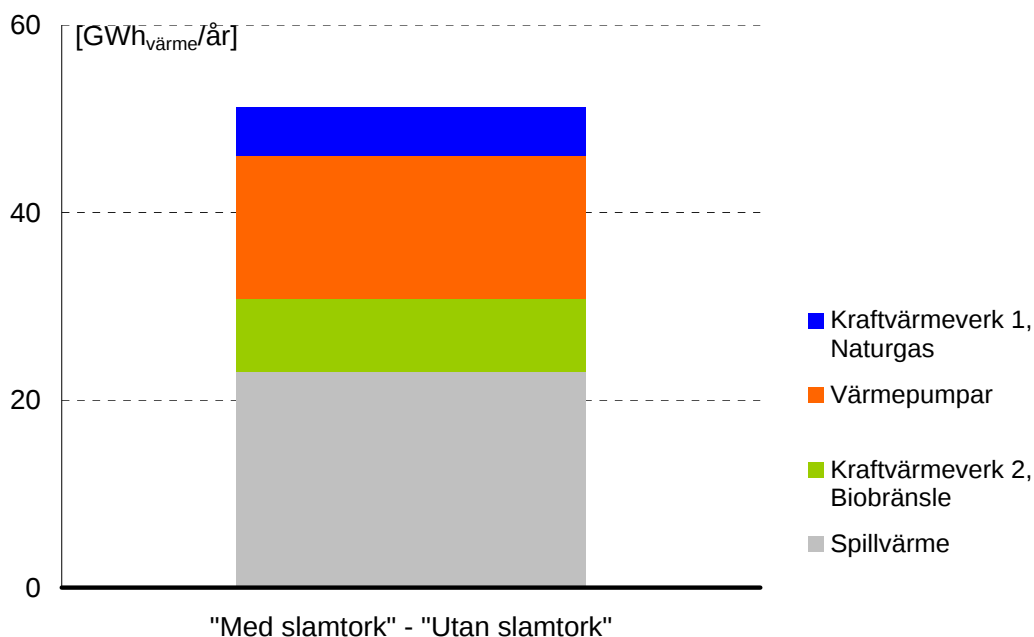
5.3.2 Utvecklingsvägarnas påverkan på fjärrvärmesystemet

Utvecklingsvägarna påverkar fjärrvärmesystemet på olika sätt. Detta gäller dels de fall där man studerar tillkopplandet av en slamtork på fjärrvärmesystemet som därigenom ökar det totala värmebehovet och dels de fall där man studerar byggandet av en ny avfallseldad fjärrvärmeproduktionsanläggning - förgasningsanläggning eller en avfallspanna – PTP. Konsekvenserna av dessa alternativ kan studeras i känslighetsanalyserna av utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion". Här bör även nämnas att känslighetsanalyserna genomförts i omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt". Detta påverkar naturligtvis utfallet för fjärrvärmesystemet. I texten nedan kommenteras hur resultatet hade sett ut om någon av de två övriga omvärldsutvecklingarna nyttjats istället. Dessutom påverkas fjärrvärmesystemet av värmeleveranserna från det befintliga avfallskraftvärmeverket, vilka varierar beroende av mängden avfall som förbränns och dess sammansättning. Denna påverkan kan studeras genom att jämföra utvecklingsvägarna "Business-as-usual" och "Maximerad näringsåterföring".

Tillkoppling av slamtork

I figur 41 visas hur fjärrvärmeproduktionen förändras när en slamtork kopplas till systemet. Det totala värmebehovet över året ökar därmed till ca 50 GWh, vilket i figuren kan avläsas som summan av anläggningarnas förändrade värmeproduktion. Av figuren framgår därmed hur värmen till slamtorken har producerats. I utvecklingsvägen har antagits att slamtorken körs med jämn drift under hela året, därmed tillkommer ett lika stort värmebehov under alla dagar över året. Detta syns också på resultatet som visar att en stor del av värmen till torken kommer från spillvärme. Under vår, sommar och höst finns en extra kapacitet av spillvärme som utan slamtorken är outnyttjad. Detta gäller särskilt för omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt" där det totala värmebehovet antas minska betydligt. I någon av de andra två omvärldsutvecklingarna bör tillgången på spillvärme vara mer begränsad vilket skulle resultera i att andra anläggningars drifttid ökar istället.

Vidare visar figur 41 att drifttiden för biokraftvärmeverket ökar något med tillkopplandet av en slamtork. Men framförallt framgår att värmepumparnas drifttid ökar mer än densamma för det naturgaseldade kraftvärmeverket. Detta är en direkt effekt av de förutsättningar som gäller för omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt". Dvs att driftkostnaden är lägre för värmepumparna än för gaskraftvärmeverket, vilket beskrivits ovan. Även här gäller således att utfallet hade blivit annorlunda om känslighetsanalysen hade genomförts i någon av de två andra omvärldsutvecklingarna. I de två fallen hade troligen gaskraftvärmeverket, istället för värmepumparna stått för en större del av värmeproduktionen till slamtorken.

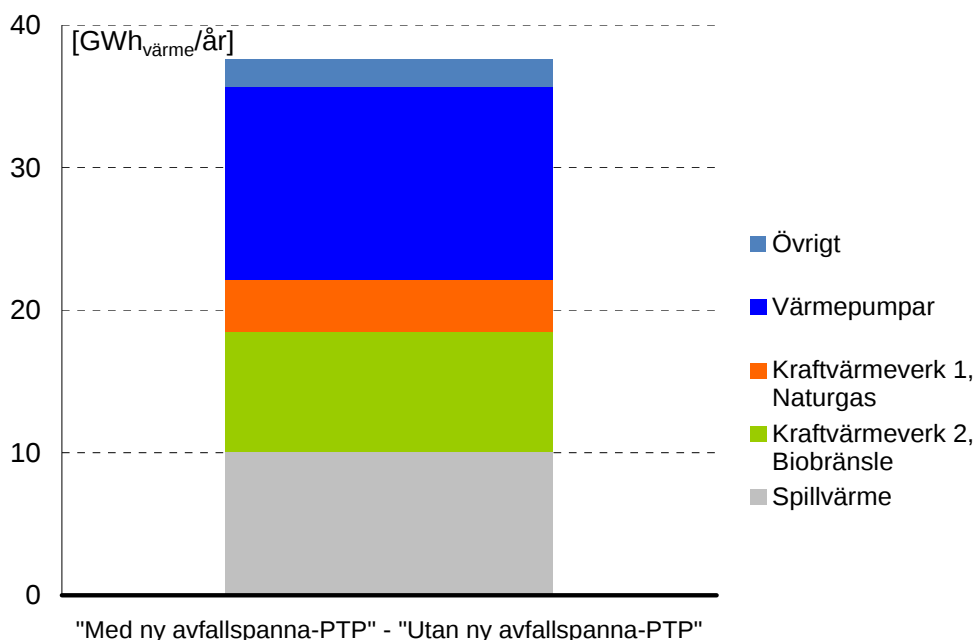


Figur 41. Förändrad fjärrvärmeproduktion vid tillkoppling av en slamtork (jämfört mot fallet då slammet istället återförs till jordbruk), givet omvärldsutvecklingen "Materialsnål tillväxt"

Figure 41. Changed district heating production with the addition of a sludge dryer (compared with a system where sludge is directed back to agriculture), given the results from the changes in the external scenario "Materialsnål tillväxt"

Ny avfallspanna-PTP

I utvecklingsvägen "Maximerad elproduktion" studeras effekterna av att uppföra en ny avfallspanna som eldas med utsorterat avfallsbränsle. Detta resulterar i att avfall som i de andra utvecklingsvägarna eldas i Renovas befintliga avfallspannor istället överförs till en ny anläggning med högre andel elproduktion och en något lägre andel värmeproduktion. Konsekvenserna för fjärrvärmesystemet blir något minskade värmeleveranser från avfallspannorna, därmed måste andra befintliga anläggningar i fjärrvärmesystemet nyttjas i något större utsträckning. I figur 42 åskådliggörs vilka anläggningar som ökar sin drift, givet förutsättningarna i omvärldsutvecklingen "Materialsål tillväxt". Totalt bedöms värmeproduktionen från avfallspannorna minska med ca 38 GWh/år jämfört med "Business-as-usual", detta bortfall täcks upp av i första hand värmepumpar, men även spillvärme, biokraftvärmeverket och gaskraftvärmeverket nyttjas något mer. Resultatet påverkas i hög utsträckning av vilken omvärld man väljer att studera, vilket beskrivs tydligare i nästa stycke.

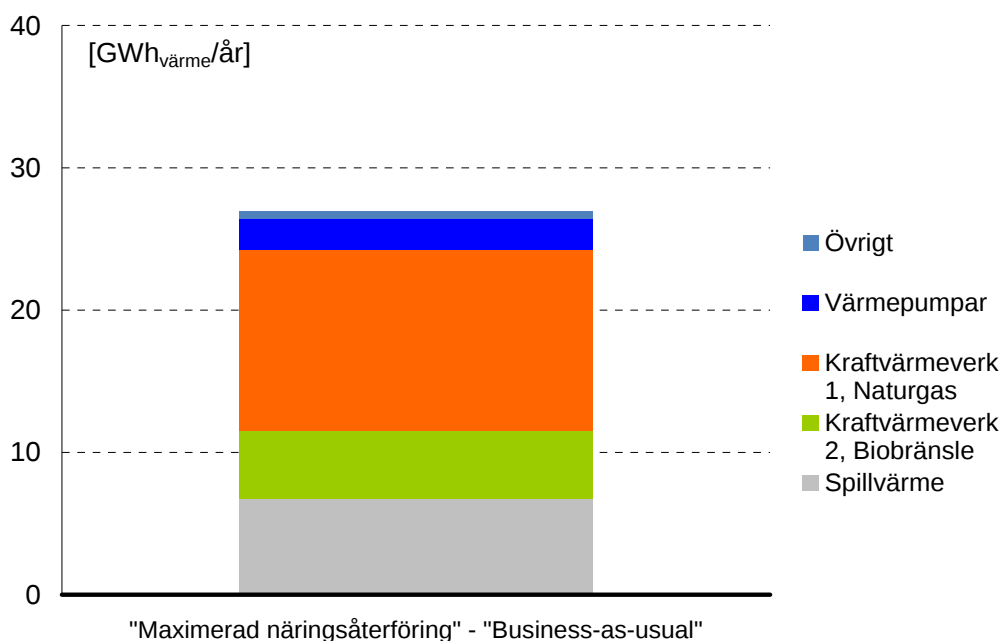


Figur 42. Förändrad fjärrvärmeproduktion vid uppförandet av en ny avfallspanna-PTP (jämfört mot avfallskraftvärme), givet omvärldsutvecklingen "Materialsål tillväxt"

Figure 42. Changed district heating production with the addition of a new waste incineration-PTP (compared against ordinary waste incineration), given the results from the changes in the external scenario "Materialsål tillväxt"

Variation av värmeleveranser från Renova

Beroende på vilken utvecklingsväg som studeras blir de resulterande värmeleveranserna från Renovas befintliga avfallspannor olika. Anledningen är att mängden avfall och avfallets sammansättning som förs till avfallspannorna varierar. I utvecklingsvägen "Maximerad näringsåterföring" ingår att en rötningsanläggning uppförs som behandlar en större mängd organiskt avfall än vad den befintliga komposten gör idag, vilken antas finnas kvar i "Business-as-usual". Därigenom sker en överföring av en viss mängd organiskt avfall från avfallspannorna till den nya rötningsanläggningen. Genom att jämföra dessa båda utvecklingsvägar kan man därmed se hur fjärrvärmesystemet påverkas av att värmeleveranserna från Renova förändras. I praktiken är detta samma effekt som beskrivits ovan under rubriken "Ny avfallspanna-PTP", med den skillnaden att orsaken till de minskade värmeleveranserna är olika (vilket naturligtvis får konsekvenser för analysen av avfallssystemet, men som inte ger någon direkt skillnad för fjärrvärmesystemet). Anledningen till att resultatet ändå har valts att visas i figur 43 nedan är att denna beräkning gjorts för omvärldsutvecklingen "Referens", istället för "Materialsnål tillväxt" som visats ovan. Av figuren framgår att de minskade värmeleveranserna från Renova i "Maximerad näringsåterföring" uppgår till ca 27 GWh/år jämfört med "Business-as-usual". Ungefär hälften av denna värmeförlust täcks upp av gaskraftvärmeverket. Utöver denna anläggning beräknas även spillvärmen, biokraftvärmeverket och värmepumparna att öka sin utnyttjningstid.



Figur 43. Förändrad fjärrvärmeproduktion vid minskade värmeleveranser från Renovas befintliga avfallspannor (dvs uppförande av rötningsanläggning istället för utbyggd avfallskraftvärme), givet omvärldsutvecklingen "Referens"

Figure 43. Changes in district heating production with the decreased heating supply from Renovas existing waste incinerators given the results from the changes in the external scenario "Materialsnål tillväxt"

Resultatet av minskade värmeleveranser från Renova är alltså beroende av vilken omvärldsutveckling man väljer att studera. I utvecklingen "Materialsnål tillväxt" ersätts minskad värme från Renova i första hand av värme från värmepumpar, medan det i "Referens" främst är gaskraftvärmeverket som täcker upp för Renovas minskade leveranser (omvärldsutvecklingen "Materialintensiv tillväxt" liknar resultatet som visas i fallet "Referens").

6 Slutsatser och diskussion

Allmänna slutsatser

Under de 2,5 år som projektet har löpt har en stor mängd resultat tagits fram och diskuterats inom arbetsgruppen, framförallt under den andra halvan av projektet (etapp 2) då enskilda tekniker studerades (fas 4) samt då huvudstudien genomfördes med en scenarioanalys (fas 5). Projektet har genererat en stor uppsättning resultat varav en stor del presenteras i denna rapport. Många modellresultat har presenterats och utnyttjats under projektets gång för att ta fram ännu bättre förslag vilka har skickats tillbaka för nya analyser med modellerna. Med förslag avses val av tekniker eller teknikkombinationer och val av flöden till dessa tekniker. Detta innebär att arbetsgruppen har iterativt arbetat fram systemkunskaper och insikter hos de medverkande. Vi har dock i denna rapport fokuserat redovisningen på resultaten från huvudstudien och i våra slutsatser och efterföljande diskussion kommer vi att fortsätta att diskutera just dessa resultat.

En övergripande generell slutsats man kan dra från alla modellkörningar, även från de tidiga i projektet, är att det inte är lätt för nya behandlingstekniker, nya kombinationer av tekniker eller nya flödesvägar att konkurrera mot det befintliga behandlingssystemet i Göteborg. Detta gäller framförallt konkurrensen i ett ekonomiskt perspektiv. Av de tekniker som studerats har endast röttningsanläggningen för lättnedbrytbart avfall visat sig vara ekonomiskt konkurrenskraftig. Några av de andra teknikerna kan bli ekonomiskt intressanta om man anser att den extra kostnaden är befogad och rimlig för att uppnå en lägre miljöpåverkan. Ur CO₂-synpunkt kan till exempel miljövinster göras med införandet av nya tekniker vilket resultatet visar för de fall där man inför rötning med tillhörande näringsåterförsl och biogasproduktion samt när man ökar elproduktionen från förbränningen. Kostnaderna är i paritet med de som idag diskuteras inom energisektorn och till exempel det pris som finns för utsläppsrätter. Att nya tekniker har svårt att konkurrera med befintlig teknik är ett generellt problem för den tekniska utvecklingen och problematiken diskuteras vidare under rubriken "Diskussion" senare i detta kapitel.

En annan allmän slutsats man kan dra av resultaten är att valet av systemgräns är viktig. I projektet har valts en systemgräns som passar det planeringsarbete som pågår i Göteborg. Gränsen speglar det avfallsbehandlingssystem som kommunen och dess bolag har möjlighet att styra och förändra. Men andra alternativ är möjliga och kommer på olika sätt påverka utfallet. I projektet identifierades en sådan svår avgränsning som studerades med extra modellstudier. I den alternativa systemgränsen öppnar man upp för ökad import av avfall från länder där avfallet idag deponeras. Resultaten visar genomgående att man får avsevärda förbättringar för alla utfallen när reduktion av växthusgasemissioner. Att ersätta deponering med förbränning eller rötning är effektiva åtgärder ur klimatsynpunkt. Övriga miljöparametrar och kostnader togs inte med i studien.

Ytterligare en allmän slutsats som kan dras rör skillnaderna mellan omvärldsutvecklingarna. De tre scenarierna för omvärldsutvecklingen som studeras i projektet visar på relativt stora möjliga skillnader som måste hanteras av avfallssystemet. De finns flera skillnader men den tydligaste av dessa skillnader är den avfallsmängd som antas uppkomma. Fram till 2030 ökar uppkommen avfallsmängd (innan utsortering till materialåtervinning) som lägst med 24 % och som mest med nästan 80 %. Bägge utvecklingarna bedöms som rimliga men

ställer naturligtvis stora krav på avfallsbehandlingssystemet. Trots dessa kraftiga ökningsar så visar utfallen generellt att systemen kan hantera dessa förändringar och skillnaderna mellan de olika utvecklingsvägarna för respektive omvärldsutveckling är likartade, både med avseende på kostnad och på miljöpåverkan. Skillnaderna i utfall mellan respektive omvärldsutveckling däremot är betydligt större.

Specifika slutsatser från scenarioanalysen

- Resultatet visar att den ekonomiskt mest lönsamma utvecklingsvägen är ”Maximerad näringsåterföring”. Den viktigaste förändringen i denna utvecklingsväg jämfört mot ”Business-as-usual” är att en rötningsanläggning uppförs i Göteborg. Resultatet kan ses som relativt stabilt då liknande resultat erhålls oavsett vilken omvärld som studeras. Viktiga och osäkra parametrar som påverkar resultat är priset på den producerade fordonsgasen, investerings- och driftkostnad för rötningsanläggningen samt kostnaden för att bygga ut källsorteringen. Viktigt är också antagandet om att avfallskraftvärmeverkets kapacitet kan begränsas tack vare att organiskt avfall sorteras ut och istället behandlas i rötningsanläggningen. Därigenom undviks extra investeringskostnader i avfallsförbränningskapacitet. Dessutom är det viktigt att påpeka att resultaten gäller förutsatt att de ekonomiska kalkyler som tagits fram i BIG-projektet (pågående projekt med syfte att bygga en rötningsanläggning för avfall i Göteborg) av Göteborg Energi och Renova för rötningsanläggningen inte överskrids samt minst lika viktigt att anläggningen erhåller den mängd substrat som efterfrågas samt att anläggningen inte drabbas av några större driftstörningar (läs mer om detta i diskussionen nedan). Ytterligare en viktig parameter för lönsamheten i en rötningsanläggning är mottagningsavgiften för det substrat som behandlas, denna parameter har dock inte beaktats i detta projekt.
- Utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” ger ett sämre ekonomiskt utfall jämfört mot ”Business-as-usual” för alla tre omvärldsutvecklingar. I denna utvecklingsväg byggs, förutom en rötningsanläggning, även en avfallspanna-PTP som eldas med finkrossat verksamhetsavfall och slampellet, vilka tillverkas av rötslam från Gryaab. Från resultatet av utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” vet vi att anläggandet av en rötningsanläggning ger en minskad kostnad gentemot ”Business-as-usual”. När vi sedan lägger på ytterligare nya tekniker i ”Maximerad elproduktion” vänder resultatet till ökade kostnader. Detta betyder att de nya teknikerna avfallspanna-PTP samt slamtork själva ger ett ytterligare sämre resultat än vad som framgår av utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion”.
- Resultatet av utsläpp av växthusgaser visar att bägge utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” ger lägre utsläpp än ”Business-as-usual” för alla tre omvärldsutvecklingar. Vidare visar resultatet för två omvärldsutvecklingar att det ur klimatsynpunkt ger störst nytta att genomföra åtgärderna enligt utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion”. För den tredje omvärldsutvecklingen (”Materials-nål tillväxt”) uppnås den största utsläppsreduktionen istället med utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring”. Huvudorsaken till att resultatet varierar är att utsläppet från alternativ elproduktion antas olika för de tre omvärldsutvecklingarna. I ”Referens” och ”Materialintensiv tillväxt” är emissionerna från alternativ elproduktion högre, vilket ger att större

utsläppsreduktioner uppnås om mycket el genereras i systemet (vilket är fallet i ”Maximerad elproduktion”). Resultatet är även känsligt för vad som antas kring det alternativa drivmedlet till den fordonsgas som genereras i rötningsanläggningen. I beräkningarna har antagits att alternativet är bensin och diesel, vilket ger att nyttan ur klimatsynpunkt av att generera fordonsgas blir stor. I diskussionen nedan beskrivs ett antal alternativa synsätt till det som nyttjats i beräkningarna.

- I och med att utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” resulterar i såväl minskad kostnad som minskade växthusgasemissioner blir kostnaden för att minska utsläppen på detta sätt negativ (-300 – -800 kr/ton CO₂-ekv). För utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” blir kostnaden för utsläppsreduktionen istället 100-600 kr/ton CO₂-ekv. Denna kostnad är dock i nivå med det pris på utsläppsrätter som antagits för de tre omvärldsutvecklingarna.
- Även när det kommer till försurning så visar utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion” på utsläppsreduktioner gentemot ”Business-as-usual”. Oavsett omvärldsutveckling visar resultatet på att utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” ger lägst försurande utsläpp och ”Business-as-usual” de högsta. Huvudorsaken till att de försurande emissionerna minskar är att man frångår dagens kompostering av avvattnat slam som ger betydande emissioner av NH₃. Men även ökad nettoelproduktion, minskad användning av handelsgödsel och användning av fordonsgas istället för bensin och diesel har betydelse för resultatet.
- Med avseende på övergödning så uppvisar utvecklingsvägen ”Maximerad elproduktion” betydande utsläppsminskningar gentemot ”Business-as-usual” i alla tre omvärldsutvecklingar. Utsläppsminskningen uppnås genom att kompostering av avvattnat slam från Gryaab undviks och istället förbränns. Därigenom undviks att det kväve som finns bundet i jordprodukterna sprids. Resultatet för ”Maximerad näringsåterföring” är i stort sett likvärdigt mot ”Business-as-usual”.
- Ingen av de studerade utvecklingsvägarna uppvisar bäst resultat genomgående. Detta är naturligt då man inte kan räkna med att finna en lösning till alla problem, och dessutom till en låg kostnad. Här behöver man alltså värdera olika miljönyttor mot kostnaden för att avgöra vilken väg som är den riktiga. Utvecklingsvägen ”Maximerad näringsåterföring” uppvisar bäst ekonomiskt resultat samt acceptabla resultat för merparten av de andra parametrarna, medan ”Maximerad elproduktion” uppvisar sämst ekonomiskt resultat men bäst resultat för merparten av de andra parametrarna.
- I studien har även genomförts ett antal känslighetsanalyser. En av dessa utgörs av en analys av olika alternativ för hanteringen av slam från Gryaabs rötningsanläggning och biogödsel från den nya rötningsanläggningen som antas uppföras i utvecklingsvägarna ”Maximerad näringsåterföring” och ”Maximerad elproduktion”. Två alternativ innebär att slammet förbränns och biogödseln sprids på åkermark, och tre alternativ innebär att även slammet sprids på åkermark. De tre sistnämnda uppvisar det bästa resultatet vad gäller ekonomi, medan de två förstnämnda uppvisar bäst resultat för övergödning. För klimat och försurning är resultaten likvärdiga för de olika alternativen. Orsaken till att förbränning av slam uppvisar ett sämre

ekonomiskt resultat beror på att det kräver investering i extra förbränningskapacitet (här förutsatts alltså att avfallskraftvärmeverket inte har någon ledig kapacitet för slamförbränning, om så hade varit fallet hade kostnaderna för detta alternativ varit betydligt lägre). En osäker parameter som rör ekonomin är transportavståndet från rötningsanläggning till åker som här satts till i genomsnitt 30 km. Med ett ökat avstånd försämras det ekonomiska resultatet för de alternativ som innebär spridning av slam på åkermark betydligt

- Vad gäller övriga känslighetsanalyser kan sägas att central matavfallssortering uppvisar lägre kostnader jämfört mot källsortering. Här är dock viktigt att påpeka att vi antagit att den centrala matavfallssorteringen verkligen lyckas sortera ut en matavfallsfraktion med lika hög kvalitet som uppnås med källsortering, en brännbar fraktion samt en deponirest vilket endast innehåller mycket små mängder organiskt material (se mer om detta i diskussionen nedan). Vidare gäller att alternativet med en förgasningsanläggning ger kraftigt ökade kostnader jämfört med alla andra alternativ. Anledningen är de höga investeringskostnader som är förknippade med avfallsförgasning. Den ökade elproduktionen räcker inte alls för att täcka upp de ökade kostnaderna.

Diskussion

Som nämdes under allmänna slutsatser så kan man generellt konstatera från modellstudien att det inte är lätt för nya behandlingstekniker att konkurrera mot det befintliga behandlingssystemet i Göteborg. Detta gäller framförallt konkurrensen i ett ekonomiskt perspektiv. Att nya tekniker har svårt att konkurrera med befintlig teknik är ett generellt problem för all teknisk utveckling och vi har här valt att problematisera detta ytterligare för resultaten i denna studie.

Man skulle kunna argumentera för att Göteborg redan idag har ett tekniskt väl utvecklat system där ytterligare förbättringar är svåra att uppnå. Detta kan vara en korrekt bedömning, speciellt om vi gör en internationell jämförelse av avfallsbehandling där Göteborgs avfallssystem tillsammans med några andra ligger i topp. Men man kan också framföra andra argument som till exempel att det är svårt för nya tekniker att slå sig in på en redan etablerad marknad. Nya tekniker kan i framtiden, på samma sätt som för avfallsförbränning för 30 år sedan, bli konkurrenskraftiga när tekniken successivt förbättras och effektiviseras samt, minst lika viktigt, när kostnaden sjunker på grund av etableringsgrad, konkurrens och stordriftsfördelar. Det är vanligt att modeller av de slag som används i denna studie blir alltför konservativa och gynnar befintliga tekniska lösningar som under lång tid haft möjligheten att utvecklas och trimmats in. Ny och omogen teknik kräver helt enkelt extra resurser för att slå sig fram via stöd från samhället. Vi har i modellerna inte kvantifierat dessa möjliga effekter av ”teknikmognad” men man bör ta hänsyn till dessa i de bedömningar som görs från studiens resultat. Fram till 2030 kan mycket ske i mognadsprocessen. Det finns forskare som studerat det som kallas ”lärprocessen” dvs teknikens utveckling med successivt lägre kostnader och bättre prestanda och det finns även lärprocesser inlagda i liknade modellstudier som den i detta projekt. Det finns dock alltför lite fakta och indata kring lärprocessen för de avfallsbehandlingstekniker som studeras här för att detta ska vara en rimlig ansats.

Det är här samtidigt viktigt att tillägga att vi i studien generellt har varit generösa mot nya tekniska alternativ. Vi har ofta utnyttjat leverantörsdata och ”goda” prestanda även om man kan anta att teknikerna både blir dyrare och mer problematiska än vad som prognostiseras. Vi kan även ha missat/underskattat kringkostnader även om vi hela tiden har strävat att fånga alla relevanta kostnader och fakta. Sist men inte minst så bör man beakta att flera av de tekniker som studerats ändå är tekniker som har utvecklats under en lång tid och som även funnits på marknaden, om än i liten skala i vissa fall. Exempelvis gäller det förgasning, rötning, förbränning med högt ångtryck mm. En fördel med detta generösa synsätt för nya tekniker är att vi tydligare kan dra slutsatsen att de inte är intressanta i de fall där modellresultaten visar detta. Synsättet kompenserar i någon mån för den eventuella bristen på ”teknikmognaden” som nämndes ovan men vi har inte gjort några försök till att kvantitativt visa detta. Om de nya teknikerna med detta generösa synsätt blir intressanta i modellresultaten bör man fundera en gång till över de antaganden som görs. Exempelvis har den nya diskuterade rötningsanläggningen visat sig bli ett intressant alternativ enligt modellresultaten. Detta har också föranlett flera nya modellkörningar och även lett till diskussioner kring valda indata.

Nedan följer en fortsatt diskussion punktvis för ett urval resultat och påverkande faktorer.

Kostnader och intäkter

- Det är viktigt att påpeka att syftet med detta projekt inte är att genomföra en fullständig ekonomisk riskanalys för nyinvesteringar i avfallssystemet. En viktig riskparameter som inte studeras här är tillgången på avfall till behandlingsanläggningarna, och mottagningsavgifterna för avfallet. Här antas istället att anläggningarna erhåller avfall motsvarande kapaciteten, att mottagningsavgiften är densamma oavsett scenario samt att anläggningarna körs utan större driftstopp. Avfallsmarknaden har under en längre tid utvecklats mot en alltmer avreglerad marknad, vilket innebär att de kommunala aktörerna inte på samma sätt kan bestämma över regionens avfallshantering. Detta leder delvis till att osäkerheten ökar med avseende på om behandlingsanläggningarna får tillgång till avfallet eller ej. Samtidigt ger detta en ökad möjlighet för anläggningsägarna i Göteborg att konkurrera om avfall som uppkommer i andra kommuner runt om i regionen. För studiens resultat är det dock inte intressant vem som kommer att äga de nya behandlingsanläggningarna. Oavsett om det blir någon av de ingående organisationerna i projektet eller någon annan part så består de övergripande resultaten.
- En ny teknik som särskilt kan lyftas fram här gäller central matavfallssortering. Denna teknik har historiskt prövats ett flertal gånger utan att ge tillräckligt gott resultat. Vanligen är de fraktioner som kommer ut från sorteringsanläggningen av alltför låg kvalitet. Detta innebär att matavfallsfraktionen kan vara svår att behandla i en rötningsanläggning samt att deponiresten innehåller en alltför hög andel organiskt material för att kunna deponeras. I detta projekt har antagits att den centrala matavfallssorteringen ger ett fullgott resultat. Då framgår att tekniken är intressant ur ekonomisk synvinkel. Här krävs dock att man går vidare och undersöker om det verkligen finns en teknik som fungerar i praktiken, dvs ger tillräckligt rena fraktioner ut från sorteringen för att kunna behandlas på avsett vis.
- Även antagandet om konstant skattesystem är en osäkerhet för de ekonomiska resultaten. I en ekonomisk riskanalys är det mycket viktigt att analysera förändringar i

skattesystemet och möjligen hade det varit intressant även här. För att kunna förstå och tolka de många resultat som tagits fram har vi dock valt att inte studera denna osäkerhet

- Prissättningen av biogasen till fordon från en rötningsanläggning i Göteborg har diskuterats. Situationen på den svenska västkusten är speciell då man här också har tillgång till naturgas, vilket är direkt utbytbar mot biogas till fordon. Därmed kan man diskutera om biogasen bör prissättas mot naturgas. Priset för biogasen som genereras vid en rötningsanläggning skulle i ett sådant fall bli klart lägre än om den, som i detta projekt, prissätts mot bensin och diesel. Den prissättningsmodell som idag diskuteras vid anläggandet av en rötningsanläggning i Göteborg liknar dock mer en prissättning mot bensin och diesel och därför har vi valt att nyttja denna också för våra analyser. En målsättning bör också vara att försäljningen av fordonsgas skall öka samtidigt som andelen biogas i fordonsgasen inte minskar, med andra ord en ökad biogasproduktion skall inte gå ut över försäljningen av naturgasbaserad fordonsgas.

Klimatutsläpp

- Utsläppsnyttan som ges av en viss utvecklingsväg beror av hur aktivt man i omvärlden arbetar för att minska utsläppen. Om stora insatser genomförs i omvärlden minskar paradoxalt nog värdet av att genomföra åtgärder i Göteborg. Omvärldsutvecklingen ”Materials-nål tillväxt” (som innefattar kraftigare klimatåtaganden i omvärlden) ger därför överlag sämre utfall ur klimatsynpunkt för de studerade utvecklingsvägarna
- Även när det gäller resultaten för klimat är antagandet om vad biogasen ersätter viktigt. Ökar gasfordonsparken eller ökar bara andelen biogas i fordonsgasen som säljs? Dvs ersätts diesel och bensin eller ersätts naturgas? Man kan också diskutera om man inte ersätter andra förnybara drivmedel, särskilt i omvärlden ”Materials-nål tillväxt” där man i stort strävar mot en omställning av energisystemet för att ge mindre utsläpp. Till viss del gäller detta troligen i alla omvärldsutvecklingar. Vår uppfattning är dock att alla typer av förnybara drivmedel kommer att behövas för att kunna genomföra en omställning av transportsektorn, merparten av biogasen kommer därmed att ersätta bensin och diesel, vilka för övrigt troligen kommer att vara några av de vanligaste bränslena även år 2030.
- I en känslighetsanalys i studien analyseras konsekvenserna av att bygga en förgasningsanläggning för avfall. Jämfört mot att bygga en avfallspanna-PTP uppvisar förgasningsanläggningen en större reduktion av växthusgaser. Detta beror delvis på att förgasningsanläggningen genererar mer el, men den främsta anledningen är att den också genererar mindre värme. Därigenom nyttjas andra anläggningar i fjärrvärmesystemet mer vilket resulterar i att elproduktionen ökar i fjärrvärmesystemet. Tvärt emot vad man kunnat tro är det alltså bra, ur klimatsynpunkt, om lite värme genereras från det brännbara avfallet då detta ger att andra kraftvärmeverk i fjärrvärmesystemet kan öka sin drift. Detta resultat gäller för omvärldsutvecklingarna ”Referens” och ”Materialintensiv tillväxt” där naturgaskraftvärme är ett ekonomiskt konkurrensmässigt fjärrvärmealternativ. Det gäller dock inte för utvecklingen ”Materials-nål tillväxt” där värmepumpar överlag visar sig vara mer konkurrenskraftiga än naturgaskraftvärme.

Förurning och övergödning

- Resultaten för försurning och övergödning påverkas relativt kraftigt av de beräknade emissionerna från kompostering av slam. Orsaken är att denna behandlingsform beräknas ge betydande emissioner av NH_3 (vilket påverkar såväl de försurande som de övergödande emissionerna). När det gäller emissioner från kompostering, och främst då kompostering av slam råder idag en relativt stor osäkerhet. Detta slår då tillbaka på de resultat som beräknas i projektet.
- Vidare påverkas beräkningarna av vad som sker vid spridning av röt- och avloppsslam på åkermark. Även här finns idag betydande osäkerheter. Vidare finns även en diskussion om hur väl dessa alternativa gödningsmedel ersätter handelsgödsel. I beräkningarna har antagits att biogödsel och avloppsslam ersätter handelsgödsel till en viss andel.
- Försurning och övergödning är till skillnad från klimatfrågan en lokal/regional fråga. Här blir det därmed viktigt var utsläppen sker och hur situationen ser ut i just denna region. Detta försvårar kraftigt analysen av de resultat som tas fram i en systemanalys av detta slag. För att ändå belysa den regionala aspekten har vi i detta projekt även tittat på resultatet med ett annat synsätt, det så kallade MKB-perspektivet (se mer nedan)
- I detta projekts slutskede har vi fått värdefull respons på resultaten. Vi har även ombetts att relatera våra resultat till dem som erhållits i en livscykelanalys av olika slamhanteringsmetoder (Svanström et al, 2004). Vi konstaterar att det är en synnerligen exemplarisk LCA. En av de undersökta metoderna är kompostering och jordtillverkning med system EcoNova. Det undersökta systemet i vår systemanalys är betydligt större och mer omfattande än det produktsystem som denna slam-LCA täcker in. Det betyder också att vi av naturliga skäl inte kunnat vara lika noggranna på detaljnivå. Jordtillverkningen i Göteborg innebär endast en inblandning av sand och torv samt en dieselförbrukning om 1 liter per 5 ton jordprodukt. Vi har inte följt sand och torv till vaggan. Just torven kan ha betydelse men är svår att värdera. Angående jordproduktens värde har vi endast räknat på innehållet av NPK, vi har inte justerat med hänsyn till innehåll av mikronäringsämnen och kol. I vår analys räknar vi på växttillgängligt kväve och för komposten räknar vi generellt med att endast en del av näringsinnehållet ersätter handelsgödsel. I analysen från Svanström et al (2004) är den funktionella enheten 1 ton torrsubstans avloppsslam vilket gör att skillnaderna mellan olika system blir tydligare. För ersatt handelsgödsel använder vi LCI-data (dvs livscykelanalyser som sträcker sig fram till fabriksgrind). Vi har alltså inte räknat på transport ända fram till den åkermark vi använder. I slam-LCA:n sker inblandning med bark i jordprodukten men man tar inte hänsyn till att barken har en alternativ användning i t.ex. en biobränslepanna. Det finns med andra ord ett flertal faktorer som gör det svårt att dra slutsatser om rimligheten i vår systemanalys med hjälp av denna slam-LCA. Till en eventuell fortsättning kan man dock ha glädje av studien eftersom den innehåller såväl data som antaganden av värde för en fördjupad analys.

MKB- och LCA-perspektiv

Det så kallade MKB-perspektivet är ett alternativt sätt att presentera resultaten. I MKB-perspektivet ligger fokus på *var* rent geografiskt som miljöpåverkan sker. Miljöpåverkan är här absoluta utsläpp i ton/år. Med kunskap om markens beskaffenhet, lokala

luftförhållanden, deposition med mera kan man utifrån ett sådant perspektiv *tolka* vilken påverkan det studerade systemet har.

Livscykelanalys utmärker sig för att inte vara platsspecifik, även om det förekommer att mer lokala miljöpåverkansmetoder utvecklas. Syftet med en livscykelanalys är inte sällan att identifiera vilka steg i livscykeln som är kritiska och där insatser behöver göras, därför redovisas ofta miljöpåverkan uppdelat på de olika processerna i systemet. Här är dock miljöpåverkan uttryckt i *potentiella* bidrag till miljöpåverkanskategorier, där hänsyn tas till att olika utsläpp bidrar till ett visst miljöproblem olika mycket. Men den säger inget om den *förmodat verkliga* miljöpåverkan som sker.

I det exempel som valts ut för rapporten visar de två olika perspektiven god överensstämmelse på totalnivå. Det viktade resultatet ligger således nära det oviktade. Att det blir så kan bero på främst två saker: det ena är att det är en typ av emission, t.ex. NO_x som dominerar systemet. Andra utsläpp måste i så fall ha en betydligt högre relativ betydelse för att ge utslag. Den andra orsaken är att den inbördes fördelningen av vikterna mellan olika emissioner inte uppvisar så stora skillnader. Om vi istället hade redovisat bidrag till klimatpåverkan med betydande utsläpp av lustgas, vars relativa betydelse är drygt 300 gånger större än koldioxid, hade det viktade LCA-resultatet och MKB-summeringen skiljt sig åt markant.

Vi ser det här som ett steg i en riktning där man skulle kunna förena fördelarna med de bägge perspektiven i ett redovisningssammanhang. En intressant utveckling vore om karakteriseringsfaktorerna i miljöpåverkansbedömningen kunde justeras med vetskap om ett hanterligt antal parametrar vilka beskriver de lokala förhållandena. Huruvida den geografiska indelning som valts här är lämplig eller ej låter vi vara osagt, men vi tror att en utveckling där båda perspektiven kommer till uttryck är ett sätt att skapa större acceptans och trovärdighet för miljösystemstudier. Här rymms såväl kvalitativa bedömningar av utsläppen som kvantitativa metoder för potentiell miljöpåverkan.

Användning av resultaten

De resultat som redovisas gäller för hela det kollektiv som ingår i studien. Vi har aldrig haft för avsikt att spegla resultatet specifikt för någon av de organisationer som medverkar (detta är heller inte möjligt med det indataunderlag som hittills samlats in). Förhoppningen är att resultaten skall ge de inblandade organisationerna en helhetsbild över det system inom vilket de verkar. Med denna bild för ögonen ökar möjligheterna till samverkan för att nå det bästa resultatet sett till hela systemet, dvs att risken för suboptimeringar inom systemet skall minska. Samarbetet mellan de ingående organisationerna kan idag beskrivas som mycket gott, förhoppningen är resultatet från detta arbete skall uppmuntra till fortsatt och om möjligt ökad samverkan kring planering och drift av systemets olika delar. Som exempel på samverkan som har skett tidigare och som sker idag är att Kretsloppskontoret infört källsortering av hushållsavfall varpå Renova kunnat behandla detta avfall genom kompostering, vidare krävs en samverkan mellan Renova och Göteborg Energi genom att Renova levererar fjärrvärme till det nät som ägs av Göteborg Energi. I studien har studerats ett flertal olika alternativ för att behandla slam från Gryaabs rötningsanläggning och biogödsel från den planerade rötningsanläggningen för organiskt avfall. Detta är ett exempel på två liknande problem som kan komma att uppstå på olika håll i det kollektiv som studeras. En förhoppning är då att de berörda organisationerna kan samverka för att uppnå den bästa lösningen på frågan om hanteringen av slam och rötrest.

Projektet *Systemstudie Avfall – Göteborg* ingår i ett större forskningsprojekt med flera olika mål. Huvudmålet har dock varit att studera de ekonomiska och miljömässiga utvecklingsmöjligheterna för avfallsbehandlingssystemet i Göteborg. I denna rapport har vi valt att presentera resultaten från detta mål, dvs modellresultaten från fallstudien i Göteborg. Men i det övergripande arbetet och även i arbetet med Göteborgs avfallssystem har andra arbetsmoment ingått. Det övergripande projektet presenteras i inledande kapitel. Ytterligare resultat och slutsatser har därför tagits fram i Göteborgsstudien med modellerna och tillsammans med arbetsgruppen i Göteborg men dessa slutsatser presenteras i en separat rapport, *Systemstudie Avfall – Sammanfattning*.

Litteraturreferenser

Abou Najm, M., and El-Fadel, M. (2004) Computer-based interface for an integrated solid waste management optimization model. *Environmental Modelling & Software*, 19: pp. 1151-1164.

Anderson, L.E. (1968) A mathematical model for the optimization of a waste management system. SERL Report No. 68-1, University of California at Berkely, Sanitary Engineering Research Laboratory, USA.

Avfall Sverige (2009) Klimatpåverkan från import av brännbart avfall, Avfall Sverige Utveckling rapport U2009:06

Berger, C., Chauny, F., Langevin, A., Loulou, R., Riopel, C., Savard, G., Waaub, J-P. (1998) EUGENE: An Optimization-based Decision Support System for Long-term Integrated regional Solid Waste Management Planning. In *Proceedings from Systems Engineering Models for Waste Management*, International workshop in Göteborg, Sweden, 25-26 February, AFR-report 229, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm.

Boustead, I. (1993) Polyethylene and Polypropylene, PWMI report 3

Chang, N. B. and Wang, S.F. (1996) Managerial fuzzy optimal planning for solid waste management systems. *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, 122 (7): pp. 649-658.

Chapman, R.E. and Berman, E.B. (1983) The resource recovery planning model: a new tool for solid waste management. Special Publication 657, National Bureau of Standards, USA.

Dalemo, M., Frostell, B., Jönsson, H., Mingarini, K., Nybrant, T., Sonesson, U., Sundqvist, J.-O., Thyselius, L. (1997) ORWARE - A simulation model for organic waste handling systems. Part 1: Model description. *Resources, Conservation and Recycling* 21: pp. 17-37.

D'Antonio, G., Fabbricino, M., Pirozzi, F. (2002) Decisional model for integrated management of municipal solid waste - a case study. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 28 (1): 28-43.

Davies, Haglund, (1999) NPK Western European Average (WEA), SIK-rapport nr 654

Detterfelt, L. och Pettersson, K. (2009) Sammanfattande rapport - Utsläpp av fossil koldioxid från avfallsförbränning, En kol-14-analys av avfallet vid Sävenäs avfallskraftvärmeverk, Renova

Elforsk (2008) *Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion – Modellberäkningar*, Elforsk rapport 08:30

EPIC-CSR (Environment and Plastics Industry Council – Corporations Supporting Recycling) (2000) Integrated Solid Waste Management Tools: User Guide Document. EPIC, Toronto, Canada.

Esmaili, H. (1972) Facility selection and haul optimization model. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 98 (6): pp. 1005-1020.

Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. (2009) Recent developments in Life Cycle Assessment, *Journal of Environmental Management* (2009), doi: 10.1016/j.jenvman.2009.06.018, in press

Gottinger, H. W. (1986) A computational model for solid waste management with applications. *Applied Mathematical Modelling*, 10: pp. 330-338.

Greenberg, M., Caruana, J. and Krugman, B. (1976) Solid waste management: a test of alternative strategies using optimization techniques. *Environ . Planning*, 8: pp. 587-597.

Gryaab (2009) Miljörapport enligt miljöbalken 2008. Gryaab rapport 2009:1

Guinée J.B.(final editor), M. Gorée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk – S. Suh – H. A. Udo de Haes, H. de Bruijn – R. van Duin – M.A.J. Huijbregts, 2001. Life Cycle Assessment An operational guide to the ISO standards, Volume 1, 2 en 3. Centre of Environmental Science Leiden University, Leiden, the Netherlands.

Hasit, Y. and Warner, D.B. (1981) Regional solid waste planning with WRAP. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 107: pp. 511-525.

Heijungs, R., J. Guinée, G. Huppes, R.M. Lankreijer, H.A. Udo de Haes, A. Wegener Sleeswijk, A.M.M. Ansems, P.G. Eggels, R. van Duin, H.P. de Goede, 1992: Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds. Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, Leiden.

Helms, B.P. and Clark, R.M. (1971) Locational models: Solid waste management. *Journal of Urban Planning and Development Division ASCE*, 97: pp. 1-13.

Huang, G. H., Baetz, B.W. and Patry, G.G. (1992) A grey linear programming approach for municipal solid waste management planning under uncertainty. *Civil Engineering Systems*, 9: pp. 319-335.

Huang, G. H., Baetz, B.W. and Patry, G.G. (1994) Grey fuzzy dynamic programming: application to municipal solid waste management planning problems. *Civil Engineering Systems*, 11: pp. 43-73.

Huijbregts, M., 1999: Life cycle impact assessment of acidifying and eutrophying air pollutants. Calculation of equivalency factors with RAINS-LCA. Interfaculty Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, University of Amsterdam, The Netherlands. Forthcoming.

IEA (2009) *World Energy Outlook 2009*

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Jenkins, L., (1982) Parametric mixed integer programming: an application to solid waste management. *Management Science*, 28: pp. 1270-84.

Kaila, J. (1987) Mathematical model for strategy evaluation of municipal solid waste management systems. PhD Thesis, Helsinki University of Technology, Finland.

Kühner, J. and Harrington, J.J.(1975) Mathematical models for developing regional solid waste management policies. *Engineering Optimization*, 1: pp. 237-256.

Ljunggren Söderman, M. (2000) A Systems Engineering Approach to National Waste Management. PhD Thesis. Department of Energy Conversion, Chalmers University of Technology, Göteborg.

Morse, N. and Roth, E.W. (1970) Systems analysis of regional solid waste handling. Public Health Service Publication 2065, US Government Printing Office, Washington D.C., USA.

NEP (2009) *Insights from NEP policy scenario simulations, Draft version*, april 2009. www.nordicenergyperspectives.org

A Nyiri, M Gauss and H Klein (2009) Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM EMEP Data Note MSC-W 1/2009

Perlack, R.D. and Willis, C.E. (1985) Multiobjective decision-making in waste disposal planning. *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, 111: pp. 373-385.

Profu (2009) *Fjärrvärmen i framtiden – behovet*, Svensk Fjärrvärme Rapport 2009:21

SAEFL (BUWAL) (1998). Life Cycle Inventories for packaging, Swiss Agency for the Environment

Schwing, E. (1999) Bewertung der Emissionen der Kombination mechanisch-biologischer und termischer Abfallbehandlungsverfahren in Südhessen. Verein zur Förderung des Institutes WAR, TU Darmstadt, Germany.

Shekdar, A.V., Krishnaswamy, K.N., Tikekar, V.G. and Bhide, A.D. (1991) Long-term planning for solid waste management in India. *Waste Management and Research*, 9: pp. 511-523.

Sköldbberg, H. Unger, T. (2008) Effekter av förändrad elanvändning / produktion, Elforsk rapport 08:30, publicerad april 2008. Rapporten kan laddas ned från www.elforsk.se

Svanström, M., Fröling, M. Johansson, K och Olsson, M (2004) Livscykelanalys av aktuella slamhanteringsmetoder för Stockholm Vatten, R nr 8 – 2004

Sundberg, J. (1993) Generic Modelling of Integrated Material Flows and Energy Systems. PhD Thesis, Department of Energy Conversion, Chalmers University of Technology, Göteborg

Uppenberg, S. and Lindfors, L-G. (1999) *EPD: Produktspecifika utgångspunkter för drivmedel*, SMS-Standard Report PSR:1999:6, Stockholm

Vogt, R., Knappe, F., Giegrich, J. and Detzel, A. (2002) Ökobilanz Bioabfallverwertung. Bd. 52, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin, Germany.

Walker, W., Aquilian, M. and Schur, D. (1974) Development and use of a fixed charge programming model for regional solid waste planning. In Proceedings from 46th joint meeting of the Operation Res. Soc. of Am. and the Inst. of Mgmt. Sci., Puerto Rico.

Weitz, K.A., Nishtala, S. and Thornloe, S. (1999) Using a Life Cycle Approach to Achieve Sustainable Municipal Solid Waste Management Strategies at Local, State and National Levels in the United States. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Air Pollution Prevention and Control Division (MD-63), USA.

White, P., Franke, M. and Hindle, P. (1995) Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory. Blackie Academic and Professional.

A Ett urval tidigare projekt med ORWARE-modellen.

Forskningsprojekt finansierat av Statens Energimyndighet (I)

Systemanalys av energitnyttjande från avfall - utvärdering av energi, miljö och ekonomi, Översiktsrapport. Sundqvist, J.-O., Baky, A., Björklund, A., Carlsson, M., Eriksson, O., Frostell, B. Granath, J. och Thyselius, L., IVL rapport 1379, IVL - Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm, 1999.

Systemanalys av energitnyttjande från avfall - utvärdering av energi, miljö och ekonomi, Fallstudie Uppsala. Sundqvist, J.-O., Baky, A., Björklund, A., Carlsson, M., Eriksson, O., Frostell, B. Granath, J. och Thyselius, L., IVL rapport 1380, IVL - Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm, 1999.

Systemanalys av energitnyttjande från avfall - utvärdering av energi, miljö och ekonomi, Fallstudie Stockholm. Sundqvist, J.-O., Baky, A., Björklund, A., Carlsson, M., Eriksson, O., Frostell, B. Granath, J. och Thyselius, L., IVL rapport 1381, IVL - Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm, 1999.

Systemanalys av energitnyttjande från avfall - utvärdering av energi, miljö och ekonomi, Fallstudie Älvdalen. Sundqvist, J.-O., Baky, A., Björklund, A., Carlsson, M., Eriksson, O., Frostell, B. Granath, J. och Thyselius, L., IVL rapport 1382, IVL - Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm, 1999.

Forskningsprojekt finansierat av Statens Energimyndighet (II)

Hur skall hushållsavfallet tas om hand? Utvärdering av olika behandlingsmetoder. Sundqvist, J.-O., Granath, J., Carlsson Reich, M., Eriksson, O. och Baky, A., IVL rapport B 1462, IVL - Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm, 2002.

Forskningsprojekt finansierat av Statens Energimyndighet (III)

Life Cycle Assessment of Thermal Treatment Technologies. Eriksson, O., Assefa, G., Järås, S., Kusar, H., Industriellt Miljöskydd, KTH, Stockholm, Sweden TRITA-KET-IM 2002:20, 2002.

Uppdrag för Jönköpings kommun

Framtida behandling av lättnedbrytbart organiskt avfall i Jönköpings kommun - En systemstudie av effekter på miljö, energi och ekonomi. Eriksson, O., Svanblom, L. Projektrapport som kan beställas från Jönköpings kommun, Tekniska kontoret att. Fridolf Eskilsson, 2000.

Uppdrag för Rondeco AB

Kompostering eller förbränning av hushållsavfall i Stockholm. Eriksson, O., Assefa, G., Frostell, B., Kuttainen, K., Industriellt Miljöskydd, KTH, Stockholm, 2001.

Uppdrag för Danmarks Miljöstyrelse

Systems Analysis of Organic Household Waste Management in Denmark. Baky, A., Eriksson, O., Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark (Environmental project n:o 822), 2003.

Examensarbeten utförda under de senaste 2 åren

Förbränning eller biologisk behandling? – en miljösystemanalys av olika behandlingsmetoder för det lättnedbrytbara organiska avfallet i Gästrikeregionen. Jönsson, J. Högskolan i Gävle, Gävle, 2005.

Kompostering av organiskt avfall från Gästrikeregionen – miljöpåverkan av olika behandlingsalternativ. Carlström, A. Uppsala universitet och SLU, Uppsala, Sweden UPTEC W 06 005, 2006.

Pågående projekt

Forskningsprogrammet Hållbar avfallshantering, www.hållbaravfallshantering.se

Termisk och biologisk behandling i ett systemperspektiv, ett projekt inom Waste refinery, www.wasterefinery.se

B Centrala indata i avfallssystemet

I bilagan beskrivs centrala indata i avfallssystemet. Uppgifterna rör både befintliga och framtida anläggningar. På grund av att Profu samlat in ekonomisk data för befintliga anläggningar under sekretess kommer sådana uppgifter inte att lämnas ut. I bilagan ges även i samband med respektive anläggning en kort beskrivning om de antaganden som görs samt vilken anläggning som datan avser.

Bränsleberedning

För att få fram ett bränsle som lämpar sig för en avfallspanna-PTP utgår vi här från det bränsle som idag tas fram för förbränning vid Sävenäs avfallskraftvärmeverk. Bränslet till Sävenäs tas fram vid Skräppekärr och Högsbo sorteringsanläggningar. Eftersom Sävenäs är en traditionell avfallspanna som kan ta emot grövre bränsle än en avfallspanna-PTP måste den typ av bränslefraktion som tas fram vid Skräppekärr och Högsbo krossas ytterligare en gång för att kunna användas. Den extra krossningen kommer att medföra mer elförbrukning men samtidigt undviks investeringskostnader i nya maskiner. En osäkerhet finns här om huruvida detta bränsle är av fullgod kvalitet för att nyttjas i en avfallspanna-PTP. Vidare analyser i denna fråga har inte gjorts i detta projekt, men om detta alternativ visar sig vara av intresse bör denna fråga studeras vidare.

Rörliga kostnader (exklusive el): 70,00 SEK/ton avfallsbränsle¹¹

Elanvändning bränsleberedning: 6,16 kWh/ton avfallsbränsle¹²

Avfallsförbränning i Sävenäs avfallskraftvärmeverk

Alla värden är hämtade från den nyaste pannlinjen i Sävenäs avfallskraftvärmeverk (provdrift startar jan 2010). Investeringskostnaden är framtagen under förutsättning att ny kapacitet kan inrymmas inom den befintliga infrastrukturen på Sävenäs.

Specifik investeringskostnad, ny kapacitet: 7 800 SEK/ton¹³

Verkningsgrad: 1,02 MJ nyttig/MJ tillförd¹⁴

Alfavärde: 0,20 MJ el/MJ värme¹⁴

NH₃: 1,69 mg NH₃/MJ bränsle¹⁵

NO_x: 36,02 mg NO₂/MJ bränsle¹⁵

N₂O: 0,69 mg/MJ bränsle¹⁵

S-SO_x: 1,36 % av svavel i bränsle¹⁵

Avfallspanna-PTP

Datan är inte baserad på någon specifik anläggning. Istället har Profu gjort en bedömning utifrån insamlade data i databasen AvfallsAtlas som innehåller information om flera anläggningar där information om de nyaste anläggningarna tillkom under 2009. Vidare

¹¹ Uppskattad som den rörliga kostnaden för att köra färdigt avfallsbränsle (som idag går till Sävenäs AKV) ytterligare en gång genom krossningen.

¹² Uppskattat av Profu ifrån Skräppekärrs miljörapport (Renova 2008b) där den totala elåtgången slagits ut på utgående mängd "Energifraktion". Detta är i överkant eftersom det även går åt el till andra ändamål (belysning etc). Det har därför antagits att 90 % av elåtgången härrör till krossningsanläggningen.

¹³ Profus bedömning utifrån insamlade data i AvfallsAtlas

¹⁴ Baserad på data för nytt avfallskraftvärmeverk vid Sävenäs (Renova 2010)

¹⁵ Beräknat utifrån data i Miljörapport 2007 för Sävenäs AKV (Renova 2008)

gäller uppgifterna för en typisk anläggning med rökgaskondensering. Investeringskostnaden har även justerats mha Renova för att beskriva kostnaden av att integrera denna typ av anläggning i befintlig infrastruktur på Sävenäs

Specifik investeringskostnad, ny kapacitet: 7 000 SEK/ton kapacitet¹³

Verkningsgrad: 0,98 MJ nyttig/MJ tillförd¹³

Alfavärde: 0,40 MJ el/MJ värme¹³

NH₃: 0,00 mg NH₃/MJ bränsle¹³

NO_x: 45,00 mg NO₂/MJ bränsle¹³

N₂O: 6,00 mg/MJ bränsle¹³

S-SO_x: 0,0066 % av svavel i bränsle¹³

Förgasning

Datan är inte baserad på någon specifik anläggning. Istället har Profu gjort en bedömning utifrån insamlade data i databasen AvfallsAtlas och tidigare studier.

Specifik investeringskostnad, ny kapacitet: 31 800 SEK/ton¹³

Verkningsgrad: 0,76 MJ nyttig/MJ tillförd¹⁶

Alfavärde: 0,60 MJ el/MJ värme¹⁶

NH₃: 0,89 mg NH₃/MJ bränsle¹³

NO_x: 31,18 mg NO₂/MJ bränsle¹³

N₂O: 0,00 mg/MJ bränsle¹³

S-SO_x: 8,09 % av svavel i bränsle¹³

Kompostering

Värdena gäller för Renovas befintliga komposteringsanläggning på Marieholm. Processen startar med att icke-komposterbara föremål sorteras bort från det avfall som kommer in till anläggningen. Därefter tillsätts strukturmateriel varpå blandningen är redo att reaktorkomposteras. Reaktorn utgörs här av en stor luft- och temperaturreglerad hall där avfallet får ligga och brytas ner i högar. När komposten är halvklar är den redo att tubkomposteras vilket innebär att den stoppas i stora plastfodral som får ligga utomhus tills komposten är färdig att använda som jordprodukt.

Metanbildning: 0,35 % av bildad CO₂¹⁷

Andel av N_{tot} som blir N₂O: 2,00 % av kvävgasemission¹⁷

Elförbrukning reaktorkompost: 0,28 MJ/ kg vått avfall¹⁸

Rötning

Värdena har samlats in från Renova och Göteborg Energi och gäller för den anläggning som planeras i Göteborg. Anläggningen som planeras kommer under de inledande åren att ha en annan utformning än vad den planeras att när den är fullt utbyggd. Värdena här tar således endast hänsyn till hur anläggningen ser ut när den är fullt utbyggd. Då rötningsanläggningen kombineras med en central matavfallssortering görs avdrag i investeringskostnaderna. Justeringen kommer sig av att man vid en central matavfallssortering inte behöver en inbyggd sorteringsanläggning i rötningsanläggningen

¹⁶ Olofsson et al. (2003)

¹⁷ Default-värde i ORWARE

¹⁸ Beräknat utifrån uppgifter från Renova (2008c)

eftersom den centrala matavfallssorteringen har en tillräckligt bra sortering så att den rötbara delen som kommer ut kan gå direkt in i rötkammaren utan ytterligare bearbetning.

Specifik investeringskostnad, ny kapacitet: 4 500 kr/ton kapacitet¹⁹

Temperatur i reaktorn, termofil: 55 °C²⁰

Uppehållstid i reaktorn, termofil: 20 dygn²⁰

Elförbrukning rötning (pumpning, omrörning): 45 kWh/ton²⁰

Central matavfallssortering

En del av Björnhyttans avfallsanläggning i Ludvika utgörs av en homogeniseringsanläggning med en väldigt bra prestanda varpå den är av intresse att utvärdera i detta projekt. Vid homogeniseringsanläggningen matas hushållsliknande restavfall (det som hushållen slänger i soppåsen efter att de sorterat ut återvinningsmaterial som t.ex. glasburkar, petflaskor och tidningar) in i homogeniseringsstrummar som sönderdelar avfallet. Därefter genomgår materialet flera olika sorteringssteg där metall, glas, plast och andra oönskade material sorteras bort. Efter processen erhålls en råkompost som till exempel kan efterkomposteras till kompost, rötas eller användas för andra ändamål. År 2009 projekterade Danmat en anläggning i Norge för vilken Björnhyttans homogeniseringsanläggning stod modell. I detta arbete används de uppgifter som samlats in från Danmat eftersom dessa är de senaste som finns att tillgå. Vad som är viktigt att notera här är att den centrala matavfallssorteringen har en så pass bra prestanda att den inte behöver kombineras med andra typer av förbehandlingsanläggningar (som finns i röttningsanläggningar). Till följd av anläggningens prestanda behöver hushållen inte heller sortera ut sitt biologiska avfall. Anläggningen klarar nämligen själv av att separera ut sådant avfall från hushållens restavfall. Detta innebär att hämtningen kan ske med en traditionell sopbil som endast har ett fack i stället för flerfacksfordon.

Fast kostnad, underhåll och personal: 25 SEK/ton kapacitet²¹

Rörlig driftskostnad (kemikalier, filter, bränsle, övrigt): 23 SEK/ton behandlat²¹

Specifik investeringkostnad, ny kapacitet: 1 750 SEK/ton kapacitet²¹

Elanvändning: 35,0 kWh/ton avfall in²¹

Slamtork

Datan för slamtorkningsanläggningen har tagits fram av företaget Torkapparater. Systemet innebär att slam torkas genom en bandtork som använder varmvatten från fjärrvärmenätet som energikälla. Systemet finns idag inte någonstans i Sverige. Det är dock av stort intresse för Göteborg att utvärdera denna möjlighet eftersom det under delar av året finns ett stort fjärrvärmeöverskott.

Fast personal- och underhållskostnad: 16,4 SEK/ton kapacitet våtvikt slam²²

Rörlig driftskostnad (pelletering och lagring samt el): 70 SEK/ton våtvikt inkommande slam²²

Specifik investeringskostnad, ny kapacitet: 820 SEK/ton kapacitet våtvikt slam²²

Paketeringskostnad, gödselpellets: 17 SEK/ton våtvikt inkommande slam¹³

¹⁹ Profus uppskattning utifrån planerad anläggning i Göteborg

²⁰ Renova och Göteborg Energi utifrån planerad anläggning i Göteborg (Renova & Göteborg Energi AB 2009)

²¹ Danmat (2009)

²² Torkapparater (2009) samt Profus bearbetning av data

Utgående TS: 0,90 kg TS/kg²²

Elkonsumtion: 60 kWh/ton inkommande våtvikt²²

FV-konsumtion: 780 kWh/ton inkommande våtvikt²²

Avsättning för organiska gödselmedel på bioproduktiv mark

Andel växttillgängligt organiskt kväve under första året i växtföljden: 30 %²³

Andel växttillgängligt organiskt kväve under återstående tid: 23 %

Ammoniakemission som andel av ammoniakinnehållet, flytgödselspridning: 3 %²⁴

Ammoniakemission som andel av ammoniakinnehållet, fastgödselspridning: 10 %²⁴

Lustgasemission som andel av kväveinnehållet: 1,25 %²³

Andel av NPK i kompostjord (från avfall eller avloppsslam) som ersätter konstgödsel: 25 %²⁵

Andel av NPK i hemkompost som ersätter konstgödsel: 50²⁵

Avstånd till spridningsbar mark 30 km²⁶

Kostnader för spridning av organiska gödselmedel ligger utanför systemgränsen vilket implicit innebär att lantbrukare hämtar produkterna fritt vid anläggning.

²³ Default-värde i ORWARE

²⁴ Bästa möjliga förutsättningar enligt default-värde i ORWARE

²⁵ Göteborgs stad et al (2007)

²⁶ Waste Refinery 2010

Referenser till Bilaga B- centrala indata i avfallssystemet

Danmat (2009), Personlig kommunikation med Svensson Peter, 2009-08-19

Göteborgs stad, Gryaab och Urban Water (2007) Systemstudie avlopp – en studie av framtida hållbara system för hantering av avlopp och bioavfall i Göteborgsregionen

Renova (2008) Miljörapport 2007 för avfallskraftvärmeverket och sorteringsanläggningen, inklusive återvinningscentralen Sävenäs

Renova (2008b) Miljörapport 2007 för Skräppekärr sorteringsanläggning

Renova (2008c), Personlig kommunikation med Peter Skruf under år 2008

Renova & Göteborg Energi AB (2009), Personlig kommunikation med Ståleby Ola (Renova) och Jacobsson Emma (Göteborgs Energi) 2009-09-23

Torkapparater (2009), Personlig kommunikation med Lennart Alsén, 2009-09-28

Olofsson, Mattias, Sahlin, Jenny, Unger, Thomas (2003) Will new waste-to-energy technologies enter the Swedish waste management market?, Technical data for the waste to energy, A&WMA 96th Annual Conference and Exhibition, San Diego, California, USA, 22-26 June 2003

Waste refinery (2010) Förädling av rötrest från större biogasanläggningar, pågående projekt inom Waste Refinery

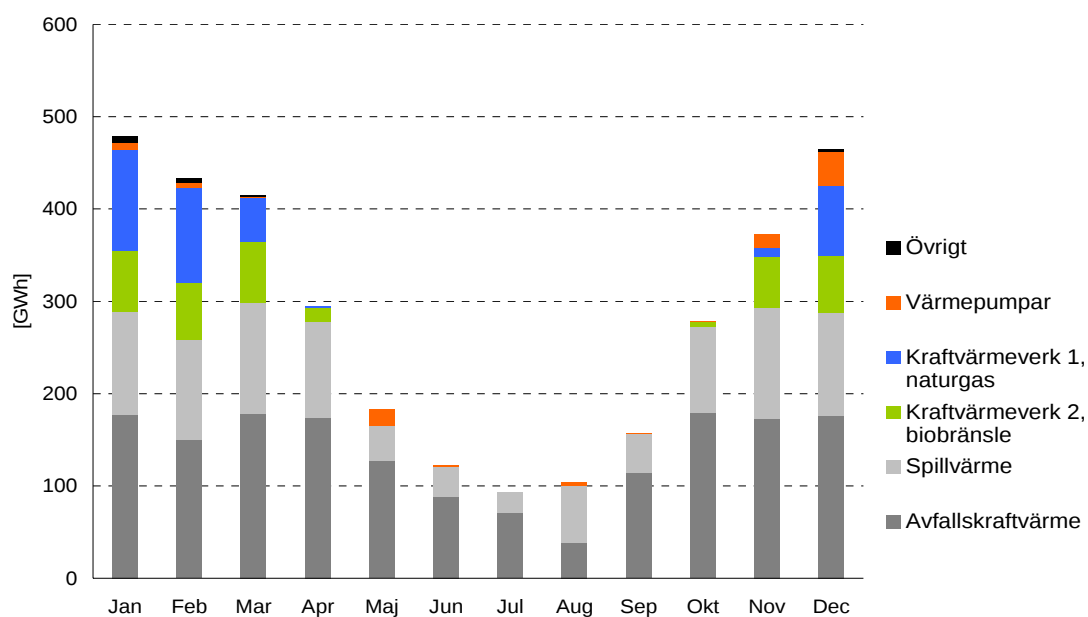


D Centrala indata för fjärrvärmesystemet

De anläggningar som antas återfinnas i fjärrvärmesystemet år 2030 exklusive befintliga och planerade avfallsbränsleeldade anläggningar beskrivs i tabellen nedan

Typ av anläggning	Bränsle	Värmeeffekt (MW)	Eleffekt (MW)
Kraftvärmeverk 1	Naturgas	290	260
Kraftvärmeverk 2	Biobränsle	100	20
Kraftvärmeverk 3	Naturgas	100	40
Kraftvärmeverk 4	Naturgas	10	10
Värmepumpar	El	160	-
Spillvärme	-	180	-
Hetvattenpannor	Biobränsle	100	-
Hetvattenpannor	Rapsolja	210	-
Hetvattenpannor	Olja	510	-

Fjärrvärmeproduktionen år 2030 enligt omvärldsutveckling ”Referens” samt utvecklingsväg ”Business-as-usual” åskådliggörs i figuren nedan





WASTE REFINERY

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