



Göteborgs  
Stad



# **Hantering av matavfall - en systemstudie i Göteborgs stad**

## Innehåll

Sammanfattning.....	2
1 Inledning.....	7
2 Metod.....	8
3 Förutsättningar och antaganden .....	8
4 Systembeskrivning.....	15
Systemalternativ Köksavfallskvarnar.....	15
Systemalternativ Biogasanläggning .....	16
Systemalternativ Förbränning .....	16
Systemalternativ Samrötning .....	16
5 Analyser och resultat .....	18
Analyser och resultat för bassystemet.....	18
Analyser och resultat för det kompensatoriska systemet.....	30
Kostnader.....	34
Osäkerheter och känslighetsanalyser.....	37
6 Diskussion – jämförelser mellan systemalternativen.....	43
7 Slutsatser .....	45
8 Referenser .....	47
9 Figurer och tabeller.....	50
Bilaga 1. Påverkan på andra system .....	53
Bilaga 2. Erfarenheter från andra förbehandlingsanläggningar....	57
Bilaga 3. Exergianvändning inom VA-sektorn .....	64

## Sammanfattning

### Bakgrund

Kretsloppskontoret, Göteborg Vatten och Gryaab har tillsammans med CIT Urban Water Management AB tidigare gjort en omfattande systemstudie på hantering och behandling av avlopp och organiskt hushållsavfall, Systemstudie Avlopp 2007 (Göteborgs stad 2007). Där utreddes 8 olika alternativ för att samla in, behandla och avsätta dessa avfallsströmmar. I en senare utredning behandlades konsekvenserna av att tillåta köksavfallskvarnar i Göteborg (Göteborgs stad 2011).

Efter att studierna avslutats har Renova fattat beslut om att bygga en förbehandlingsanläggning för matavfall ("bruna påsar") vid Marieholm och mala ned detta till en slurry med avsikten att transportera slurryn till Ryaverkets röt-kammare. Detta är följaktligen ett nytt alternativ, *Samrötning*, som inte fanns med i Systemstudie Avlopp.

### Syfte och målsättning

Utredningen syftar till att jämföra tre alternativa sätt att ta hand om organiskt hushållsavfall i Göteborg. Som jämförelse har medtagits ett fjärde systemalternativ där matavfallet inte källsorteras utan bränns tillsammans med det fasta avfallet i Sävenäs.

Systemalternativen är

- Köksavfallskvarnar installeras i hushållen. Matavfallet mals ned och transporteras i avloppsnätet till Ryaverket, där det behandlas tillsammans med avloppsvattnet. Slammet rötas, och producerar biogas och rötrest. Detta systemalternativ kallas **Köksavfallskvarnar**.
- En separat biogasanläggning byggs, dit matavfallet (i "bruna påsar") transporteras med lastbil. Avfallet producerar biogas och rötrest. Detta systemalternativ kallas **Biogasanläggning**. Anläggningen antas ligga i Marieholm.
- Hushållens matavfall källsorteras inte. Allt matavfall transporteras tillsammans med restavfall till Sävenäs för förbränning. Askan läggs på deponi. Systemalternativet kallas **Förbränning**.
- En förbehandlingsanläggning byggs där de bruna påsarna mals ned till en slurry, som sedan transporteras till Ryaverket med lastbil. Slurryn förs direkt in i röt-kammarna, där biogas och rötrest produceras. Systemalternativet kallas **Samrötning**.

Målet är att utredningen ska ge ett underlag för att bedöma alternativ Samrötning ur ett hållbarhetsperspektiv i jämförelse med de övriga systemalternativen.

Fokus läggs på kriterierna energi och näringsåterföring, men kostnader och utsläpp (kadmium och koppar) beaktas också. Studien kan kompletteras med andra hållbarhetsaspekter som behandlar hälsa, hushåll och organisation samt robusthet.

## Metod

Studien avser förhållandena år 2020. Geografisk avgränsning är Göteborgs stad. (Den tidigare mer omfattande studien Systemstudie Avlopp (Göteborgs stad 2007) avsåg år 2050 och hela regionen. Där det finns skillnader mellan studierna beror detta på dels att de avser olika tidshorisonter, dels att det framkommit nyare information och fakta sedan 2007).

Resultaten redovisas i första hand för det s.k. bassystemet, dvs. de fysiska flödena från hushåll via behandling till användning av produkterna och utsläpp i omgivande miljö (mark och vatten). I andra hand redovisas också det s.k. kompensatoriska systemet. Detta innebär att systemalternativen jämföras avseende energi och näringsåterföring (alternativens nyttigheter). Om ett systemalternativ t.ex. tillför mer fosfor till jordbruksmark än de andra alternativen, belastas dessa andra beräkningsmässigt med motsvarande mängder fosfor (som då måste införskaffas som mineralgödsel). Miljöeffekterna och energianvändningen av detta beräknas och läggs till resultaten från bassystemet. Genom att beräkna och inkludera det kompensatoriska systemet blir systemalternativen jämförbara.

Befolkningsprognosen (554 430 personer) baseras på Befolkningsprognos PB2008 (Göteborgs stad 2008).

Mängden biologiskt hushållsavfall per person har antagits vara 93,6 kg/person, år.

Anslutningsgraden till insamling av biologiskt hushållsavfall har tagits från A2020 (Göteborgsregionens kommunalförbund 2010). Målet i A2020 är att 50 % av matavfallet ska tas omhand så att växtnäringen utnyttjas. Dit räknas både hemkompost och rötning. Med 70 % utsorteringsgrad innebär det att fler än 50 % av hushållen ska sortera. 3,5 % av befolkningen antas hemkompostera. Dessa flöden ingår ej i beräkningarna (de är lika i alla systemalternativen).

Organiskt industriavfall ingår ej i beräknade mängder, inte heller matavfall från restauranger, storkök och butiker. Fett från fettavskiljare ingår inte heller (eftersom detta framförallt kommer från restauranger och industrier).

## Resultat

### Energiomsättning i bassystemet

Störst mängd biogas produceras i systemalternativ Biogas, ungefär 1200 kWh per ton insamlat matavfall. I systemalternativen Köksavfallsquvarnar och Samrötning produceras knappt 800 kWh per ton dvs. en tredjedel mindre än i Biogasalternativet. I Förbränningsalternativet produceras ingen biogas, däremot värme och el.

Systemalternativen genererar alltså olika slags energi – biogas, el och värme. För att kunna jämföra alternativen fullt ut används här begreppet exergi, som är ett mått på energins kvalitet (hur mycket mekaniskt arbete som potentiellt kan utvinnas). Begreppet används inom termodynamiken och avser de fysiska egenskaperna hos energislagen. För att bedöma den tekniskt och ekonomiskt tillgängliga exergin måste kompletteringar ske för verkningsgrader mm. Här sker en ständig teknikutveckling, och några antaganden har inte gjorts i denna studie. El och biogas har högre kvalitet än t.ex. värme. Systemalternativ som producerar biogas kommer därför bättre ut i en jämförelse än de

som producerar värme. Exergimässigt är systemalternativ Biogas bäst medan systemalternativ Förbränning kommer sist.

### **Energiomsättning i det totala systemet (bassystem plus kompensatoriskt system)**

Energianvändningen i det kompensatoriska systemet är stor, framförallt för att produktionen av olika energibärare varierar mycket mellan de olika systemalternativen. Störst är det kompensatoriska behovet för Köksavfallskvarnar, där 33 GWh/år värme och biogas måste kompenseras. I alternativ Förbränning måste 29 GWh/år utebliven biogasproduktion kompenseras. Som kompensatorisk energikälla har naturgas antagits för att kompensera för såväl utebliven värme- som biogasproduktion.

### **Växthusgaser**

Utsläppen av växthusgaserna koldioxid, metan och lustgas har beräknats för bassystemet och det totala systemet (bassystemet plus det kompensatoriska systemet). För det totala systemet är växthuseffekten högst för systemalternativ Köksavfallskvarnar, där såväl el som värme och biogas måste ersättas kompensatoriskt. Skillnaderna mellan övriga systemalternativ är små. För alla systemalternativen är det den kompensatoriska användningen av naturgas som svarar för de största utsläppen av koldioxid (60-90 %).

### **Näringsämnen**

#### ***Fosfor***

Nästan all tillgänglig fosfor i systemalternativen Köksavfallskvarnar och Biogas kan nyttiggöras i jordbruk (med reservationer för om användning av avloppsslam i jordbruket accepteras). I Förbränningsalternativet hamnar all fosfor i aska och slagg, och antas här inte kunna användas i jordbruket. I systemalternativ Samrötning kan ca 62 % av fosfor användas i jordbruk (med samma reservation som ovan). Anledningen är att en stor mängd fosfor avskiljs i förbehandlingsanläggningen och går till förbränning. Att märka är att en annan typ av förbehandling har antagits för Biogasalternativet, med lägre förluster. Om samma förbehandling antas som för Samrötningalternativet skulle de båda systemalternativen komma likvärdigt ut avseende fosfor.

#### ***Kväve***

Systemalternativ Biogas kan återföra nästan allt kväve till jordbruksmark (genom att rötresten inte avvattnas). I systemalternativ Köksavfallskvarn och Samrötning förs en stor andel av kvävet till den biologiska behandlingen, varifrån det antingen avgår till luften (genom nitrifikation/denitrifikation) eller leds ut till recipienten. I systemalternativ Förbränning återvinns inget kväve.

#### ***Kalium***

Resultaten är ungefär de samma som för kväve, med den skillnaden att en större mängd kalium släpps ut till vatten, via avloppsreningsverket eller från rökgasreningen efter förbränningen.

#### ***Svavel***

Resultaten för svavel överensstämmer till stor del med resultaten för fosfor. Med gjorda antaganden kan systemalternativen Köksavfallskvarnar och Biogas föra ut mest svavel till jordbruket.

### **Metaller - kadmium och koppar**

Nästan all tillgänglig kadmium och koppar följer rötresten ut till jordbruk i systemalternativen Köksavfallskvarnar och Biogas. I Förbränningsalternativet förs inga metaller till jordbruket. I Samrötningssystemet förs två tredjedelar av tillgängliga metaller till jordbruket.

### **Kostnader**

Med de antaganden som gjorts avseende kostnader för behandling och transporter framstår systemalternativ Köksavfallskvarnar som det i särklass billigaste systemet för staden. Om man medräknar hushållens kostnader för installation och drift av kvarnarna blir alternativet det i särklass dyraste. Årskostnaden för en kvarn är hög i jämförelse med andra kostnader. Av de tre övriga systemen framstår Förbränningsalternativet som det klart billigaste. Man kan också notera att kostnaden för insamling är betydligt högre än kostnaden för behandling, oavsett behandlingsmetod.

Kostnaden för transport av rötrest till jordbruk är låg i jämförelse med andra kostnader. Den högsta transportkostnaden har systemalternativ Biogas, där betydligt större volymer rötrest transporteras.

### **Osäkerheter**

Två av de största osäkerheterna är val av förbehandlingsutrustning och hur matavfallet behandlas i reningsverket. För dessa och ett antal andra osäkerheter har det gjorts känslighetsanalyser. Om inte rötresten från Ryaverket kan användas i jordbruket framstår Biogasalternativet som det enda alternativ som kan återföra näringsämnen i någon större utsträckning. Om förbehandlingsutrustningen i Biogasalternativet har samma prestanda som i Samrötningssystemet skulle de tre alternativen Biogas, Samrötning och Köksavfallskvarn producera ungefär lika mycket biogas.

Om, i det kompensatoriska systemet, fast avfall används för generering av el och värme i stället för naturgas som i grundalternativet, skulle systemalternativen Köksavfallskvarn, Biogas och Samrötning släppa ut mindre växthusgaser än Förbränningsalternativet.

Osäkerheternas betydelse för val av systemalternativ kommer att framgå tydligare vid en multikriterieanalys.

### **Sammanfattande resultat**

*Systemalternativ Köksavfallskvarnar* kan leverera nästan all inkommande fosfor och svavel till jordbruk, men bara en mindre del av kvävet och kaliumet. Metallerna kadmium och koppar hamnar också i jordbruket. Kostnaderna är i jämförelse mycket höga, om man inkluderar hushållens kostnader för att installera och driva kvarnar. Alternativet kan leverera förhållandevis mycket biogas, men inte lika mycket som Biogasalternativet.

*Systemalternativ Biogasanläggning* har möjlighet att leverera nästan alla inkommande näringsämnen (fosfor, kväve, svavel och kalium) till jordbruket. Metallerna kadmium och koppar hamnar då också i jordbruket. Kostnaderna per ton matavfall (kostnader minus intäkter) är i paritet med systemalternativ Samrötning men betydligt högre än alternativen Köksavfallskvarnar (stadens kostnader) och Förbränning. Alternativet kan leverera mest biogas i jämförelsen (beroende på val av förbehandlingsteknik). Om man

tar hänsyn till energins kvalitet (exergi), kan alternativet leverera mest exergi av alternativen (beroende på biogasens höga exergivärde).

*Systemalternativ Förbränning* kan inte leverera näringsämnen till jordbruket (vi har här antagit att askan inte används). Inga metaller förs då heller till jordbruket. Genom förbränningen destrueras också andra oönskade ämnen som organiska miljögifter och medicinrester. Kostnaderna är under häften av de för alternativen Biogas och Samrötning. Alternativet levererar mycket värme och en del el men ingen biogas. Om man tar hänsyn till energins kvalitet (exergi) kommer alternativet sämst ut i en jämförelse.

*Systemalternativ Samrötning* kan leverera ungefär två tredjedelar av inkommande fosfor och svavel till jordbruket, och endast en mindre del kväve och kalium. För metallerna är det också ca två tredjedelar av inkommande som förs till jordbruket. Kostnaderna är i paritet med alternativ Biogas men klart högre än för alternativ Förbränning. Alternativet kan leverera förhållandevis mycket biogas, men inte lika mycket som Biogasalternativet.

# 1 Inledning

## Bakgrund

Kretsloppskontoret, Göteborg Vatten och Gryaab har tillsammans med CIT Urban Water Management AB tidigare gjort en omfattande systemstudie på hantering och behandling av avlopp och organiskt hushållsavfall, Systemstudie Avlopp 2007 (Göteborgs stad 2007). Där utreddes åtta olika alternativ för att samla in, behandla och avsätta dessa avfallsströmmar. Alternativen innefattade insamling av organiskt hushållsavfall i påse eller med köksavfallskvarnar och behandling i första fallet med kompost eller separat röttningsanläggning och i andra fallet i reningsverkets befintliga processer med sedimentering och rötning.

Efter att studien avslutades har Renova fattat beslut om att bygga en förbehandlingsanläggning för matavfall ("bruna påsar") och mala ned detta till en slurry med avsikten att transportera slurryn till Ryaverkets röt-kammare. Detta är följaktligen ett nytt alternativ, *Samrötning*, som inte fanns med i Systemstudie Avlopp.

## Syfte och målsättning

Utredningen syftar till att jämföra tre alternativa sätt att ta hand om organiskt hushållsavfall i Göteborg. Som jämförelse har medtagits ett fjärde systemalternativ där matavfallet inte källsorteras utan bränns tillsammans med det fasta avfallet i Sävenäs. Stadens och regionens målsättning har angivits i dokumentet A2020 Avfallsplan för Göteborgsregionen (Göteborgsregionens kommunalförbund 2010): *"Minst 50 % av matavfallet från hushåll, restauranger, storkök och butiker tas omhand så att växtnäringen utnyttjas. Allt separat insamlat matavfall ska gå till biogasproduktion. Energikvalitet och exergimängd (tillgänglig energi av högsta möjliga energikvalitet - främst el och bio- eller syntesgas) ska öka per avfallsmängd."*

Någon minskning av matavfallet fram till år 2020 har inte antagits i studien.

Systemalternativen är

- Köksavfallskvarnar installeras i hushållen. Matavfallet mals ned och transporteras i avloppsnätet till Ryaverket, där det behandlas tillsammans med avloppsvattnet. Slammet rötas, och producerar biogas och rötrest. Detta systemalternativ kallas **Köksavfallskvarnar**.
- En separat biogasanläggning byggs, dit matavfallet (i "bruna påsar") transporteras med lastbil. Avfallet producerar biogas och rötrest. Detta systemalternativ kallas **Biogasanläggning**. Anläggningen antas ligga i Marieholm, men har en annan förbehandlingsutrustning än den i alternativ Samrötning.
- Hushållens matavfall källsorteras inte. Allt matavfall transporteras tillsammans med restavfall till Sävenäs för förbränning. Askan läggs på deponi. Systemalternativet kallas **Förbränning**.
- En förbehandlingsanläggning byggs där de bruna påsarna mals ned till en slurry, som sedan transporteras till Ryaverket med lastbil. Slurryn förs direkt in i röt-kammarna, där biogas och rötrest produceras. Systemalternativet kallas **Samrötning**.



Systemalternativet Kompostering, som behandlades i Systemstudie Avlopp, beaktas inte. Komposteringsanläggningen i Marieholm är avställd.

Målet är att utredningen ska ge ett underlag för att bedöma alternativ Samrötning ur ett hållbarhetsperspektiv i jämförelse med de övriga systemalternativen för biologisk behandling.

Fokus läggs på kriterierna energi och näringsåterföring, men kostnader och utsläpp (kadmium och koppar) beaktas också. Studien kan kompletteras med andra hållbarhetsaspekter som behandlar hälsa, hushåll och organisation samt robusthet.

## 2 Metod

Studien avser förhållandena år 2020. Geografisk avgränsning är Göteborgs stad. (En tidigare mer omfattande studie, Systemstudie Avlopp (Göteborgs stad 2007) avsåg år 2050 och hela regionen. Där det finns skillnader mellan studierna beror detta på dels att de avser olika tidshorisonter, dels att det framkommit nyare information och fakta sedan 2007).

Flödesberäkningar görs för energi, näringsämnen och utsläpp. Beräkningarna görs på årsbasis. Tillkommande kostnader som berör Göteborgs invånare via taxor eller avgifter beräknas. De fyra systemalternativen jämförs avseende de valda kriterierna. En multi-kriterieanalys kan tillkomma i ett senare skede.

Resultaten redovisas i första hand för det s.k. bassystemet, dvs. flödena från hushåll via behandling till användning av produkterna och utsläpp i omgivande miljö (mark, luft och vatten). I andra hand redovisas också det s.k. kompensatoriska systemet. Detta innebär att systemalternativen jämförs avseende produktion av energibärare (värme, el och biogas) och näringsåterföring (alternativens nyttigheter). Om ett systemalternativ t.ex. tillför mer fosfor till jordbruksmark än de andra alternativen, belastas dessa andra beräkningsmässigt med motsvarande mängder fosfor (som då måste införskaffas som mineralgödsel). Miljöeffekterna och energianvändningen av detta beräknas och läggs till resultaten från bassystemet. Genom att beräkna och inkludera det kompensatoriska systemet blir systemalternativen jämförbara.

Osäkerheter i antaganden, beräkningsunderlag och beräkningar diskuteras samt görs en känslighetsanalys avseende viktiga och osäkra parametrar (Avsnitt 5).

## 3 Förutsättningar och antaganden

Befolkningsprognosen 554 430 personer baseras på Befolkningsprognos PB2008 (Göteborgsstad 2008).

Mängden biologiskt hushållsavfall per person har antagits vara 93,6 kg/person, år. Andra resultat pekar på att mängden kan uppgå till 99 kg/person, år, se Avsnitt 5.

Innehållet av olika substanser i det biologiska hushållsavfallet redovisas i Tabell 1.

**Tabell 1. Innehållet av olika substanser i biologiskt hushållsavfall (beräkningar baserade på: Jöns-son et al. 2005).**

Parameter	g/ kg (våtvikt) biologiskt hushållsavfall
TS	310
VS	263
COD	423
N <sub>tot</sub>	7,1
P <sub>tot</sub>	1,2
S <sub>tot</sub>	0,68
K <sub>tot</sub>	2,9
Cd	4.3*10 <sup>-5</sup>

Anslutningsgraden till insamling av biologiskt hushållsavfall har tagits från A2020 (Göteborgsregionens kommunalförbund 2010). Målet i A2020 är att 50 % av matavfallet ska tas omhand så att växtnäringen utnyttjas. Dit räknas både hemkompost och rötning. Med 70 % utsorteringsgrad innebär det att fler än 50 % av hushållen ska sortera. 3,5 % av befolkningen antas hemkompostera. Dessa flöden ingår ej i beräkningarna (eftersom de är lika i alla systemalternativen).

## Flöden

Total mängd matavfall från hushållen: 51 900 ton/år.

Varav direkt till förbränning (50 %): 25900 ton/år.

Varav hemkompost (3,5 %): 1800 ton/år.

Varav insamlas för behandling (46,5 %): 24100 ton/år (detta flöde beaktas i rapporten).

Dessa flöden används för samtliga systemalternativ.

I de systemalternativ där insamling sker med bruna påsar, ingår inte vikten av dessa i de angivna flödena eller energiberäkningarna. (Påsvikten är försumbar i jämförelse med vikten av matavfallet, omkring 1 %).

Organiskt industriavfall ingår ej i beräknade mängder, inte heller matavfall från restauranger, storkök och butiker. Fett från fettavskiljare ingår inte heller.

All rötrest från reningsverket och den separata biogasanläggningen antas gå till åkermark som gödsel. Detta kan diskuteras för rötrest från avloppsreningen eftersom användningen måste öka från dagens mycket låga andel till 100 % på kort tid.

För transporter av matavfall och andra fraktioner som berörs i denna studie har antagits att 75 % av transporterna sker med fossilfria bränslen (biogas) och 25 % med fossila bränslen (diesel) år 2020.

ORWARE-modellen beräknar energi- och massflöden utifrån elementarsammansättningen på bränslet (på samma sätt som gjordes med URWARE i Systemstudie Avlopp). Elementarsammansättningen för organiskt hushållsavfall och värmevärde per komponent har tagits från Sundqvist et al (2002).

För beräkning av energiinsats för transporter har transportavstånd för år 2050 behållits från Systemstudie Avlopp (Göteborgs stad 2007). Det ger viss överskattning då det geografiska området nu bara utgör Göteborgs stad och inte Gryaabs ägarkommuner. Då

transport är en liten del i resultatet bedöms det ha liten inverkan på helheten. Transportavståndet mellan förbehandling och rötning behandlas i en känslighetsanalys, se Avsnitt 5.

### Antaganden för systemalternativ Köksavfallskvarnar

Rejektandelen (gallerrens) antas vara 5 % av inkommande mängd. Detta rejekt antas gå till förbränning. Av den resterande mängden bioavfall antas 75 % avskiljas som primärslam som går till rötkammare, medan resterande 25 % går till aktivslamsteget. Denna fördelning är osäker och i känslighetsanalys har även antagits fördelningarna 95-5 % respektive 50-50 % (se vidare under 'Antaganden för behandling på Ryaverket' (nedan) samt Avsnitt 5).

Förlusterna i ledningsnät och tunnlar har antagits vara obetydliga (Göteborgs stad 2011).

### Antaganden för systemalternativ Biogasanläggning

Rejektandelen från förbehandlingsanläggningen antas vara 5 % av inkommande mängd TS (som i Systemstudie Avlopp). I en känslighetsanalys undersöks utfallet av att förebehandlingsutrustningen i detta systemalternativ är av samma utformning som i systemalternativ Samrötning, dvs. ger ett rejekt om 38 % av TS. (Se Avsnitt 5).

Gasproduktion, utröttningsgrad och produktion av rötrest har antagits samma som vid rötning på reningsverket. Det finns indikationer i litteratur på att detta inte är korrekt. Exempelvis rapporterar Biogasportalen (2011): *"Samrötning innebär att flera substrat rötas tillsammans i en process, till exempel källsorterat matavfall eller slakteriavfall tillsammans med gödsel och avloppsslam. Samrötning leder oftast till en högre halt av metan i rötgasen jämfört med om enbart slam från ett reningsverk rötas."*

Samrötning med avloppsslam kan alltså vara gynnsamt men sannolikt skulle en separat rötkammare drivas med längre uppehållstid vilket skulle ge mer gas. Nettoeffekten är svår att bedöma.

Rötresten har antagits gå till gödsel användning på åker. Dock antas att rötrest från systemalternativ Biogas till skillnad från alternativet Samrötning och Köksavfallskvarnar inte avvattnas före transport och spridning. Avvattning medför att lösta ämnen följer med vattenfasen istället för att gå till åkermark och måste i så fall renas före utsläpp till recipient.

### Antaganden för systemalternativ Förbränning

De värden som använts i denna studie är framräknade från en ORWARE-modell och bygger på data för förbränning av bioavfall (Tabell 2).

**Tabell 2. Generering och användning av värme och el vid förbränning av bioavfall och rejekt enligt ORWARE.**

	<b>Värme- generering</b> GWh/kton	<b>Värme- användning</b> GWh/kton	<b>El- generering</b> GWh/kton	<b>El- användning</b> GWh/kton
<b>Bioavfall</b>	1,22		0,17	-0,12
<b>Rejekt</b>	1,30		0,19	-0,12

Vid förbränningen vid Sävenäsverket generas värme och el enligt Tabell 3. Omräknade nyckeltal per kton våtvikt anges i tabellen.

**Tabell 3. Generering och användning av värme och el vid förbränning av fast blandat avfall vid Sävenäs (Renova 2011).**

	<b>Värme- generering</b> GWh/kton	<b>Värme- användning</b> GWh/kton	<b>El- generering</b> GWh/kton	<b>El- användning</b> GWh/kton
<b>Blandat avfall</b>	2,67	-0,23	0,41	-0,12

Nyckeltalen för bioavfall i Tabell 2 är grundade på värmevärdena 5,9 MJ/kg för bioavfall och 6,1 MJ/kg för rejekt (Truedsson 2010; Samuelsson 2011), medan värmevärdet för blandat avfall vid Sävenäs är 10,9 MJ/kg (Renova 2011). Denna skillnad i värmevärden är den huvudsakliga förklaringen till skillnaderna mellan nyckeltalen, och användning av ORWARE-modellen för att beräkna energiomsättning vid förbränning i de olika systemalternativen bör därför ge relativt robusta värden.

Substansflödesfördelningen över förbränningen av bioavfall har beräknats i enlighet med ORWARE:s fördelning för de sex ämnena P, N, S, K, Cd, och Cu. Undantag har gjorts för kväveutsläpp till recipient då den mängden antagits vara försumbar i förhållande till helheten och har satts till noll. Beräkningarna har gjorts i enlighet med övriga substansflöden baserat på total mängd till förbränning för respektive alternativ.

Förbränningsanläggningen vid Sävenäs använder 43 olika kemikalier i verksamheten varav den absoluta merparten används i mycket små mängder för underhåll m.m. (Renova 2011). Det har inte ansetts av stor betydelse för denna studie att i detalj göra prognoser för framtiden beträffande förbrukningen av dessa för de olika alternativen.

Vid förbränning hamnar merparten av fosfor i askan. Det har antagits att det i dagsläget inte finns tillgängliga tekniker som kan tillvarata denna fosfor, men forskning pågår och det är inte orimligt att det i framtiden kommer att finnas tekniker för detta.

## Antaganden för systemalternativ Samrötning

Rejektandelen från förbehandlingsanläggningen har antagits till 38 % av TS in till anläggningen. Detta baseras på jämförelser mellan olika fullskaleanläggningar, litteraturuppgifter och information från Samuelsson (2011). Värdet är rimligt för den typ av anläggning som nu har byggts. Jämförelser med andra förbehandlingsanläggningar återfinns i Bilaga 2.

## Antaganden för behandling på Ryaverket

För avloppsreningsverket har det antagits att halterna av olika substanser inte ska öka i utgående vatten. Det gör att en ökad belastning måste reduceras till 100 % vilket uppnås genom ökad kemikalie- och/eller energianvändning.

Kemisk fällning för fosforreduktion: I de fall det biologiska steget belastas med fosfor från bioavfallet så kommer detta att fällas ut genom ökad dosering av järnsulfat.

Kväverening: Då Ryaverket i huvudsak nitrifierar ammoniumkväve i biobäddar antas energiförbrukningen inte öka (flödet är försumbart volymmässigt). Dock är mängden tillkommande kväve inte obetydlig och för att klara antagandet om bibehållen koncentration av totalkväve måste allt tillkommande kväve också denitrifieras vilket åstadkoms med tillsats av extern kolkälla.

Vid rötning på reningsverket kommer den tillkommande rötresten från bioavfallet också att avvattnas.

Andelen organiskt avfall som avskiljs på Ryaverkets galler antas till 5 % och antas ha samma sammansättning som inkommande avfall (Göteborgs stad 2011). Gallerrenset går till förbränning.

Andelen organiskt avfall som avskiljs i försedimenteringen på Ryaverket är mycket svår att bedöma. Inga kända fullskalestudier finns och ingen studie är gjord på Ryaverket. Det antas här att efter galler avskiljs 75 % av matavfallet i försedimenteringen och 25 % går till biosteget. Detta är ett medelvärde av resultat från flera olika studier i bl. a. Stockholm och Göteborg. Studier i Lund (Davidsson et al 2011) ger stöd för att anta en högre avskiljningsgrad i försedimenteringen än baserat på COD-fördelning då uppmätta sjunkhastigheter för matavfall överstiger ytbelastningen vid Ryaverkets försedimenterbassänger. Primärslammet och bioslammet förs båda till röt-kammaren, där de producerar biogas. Verkningsgraderna för de två slamtyperna är dock olika. (Se vidare Avsnitt 5).

VS-halten i organiskt hushållsavfall antas till 89 % av TS och COD-mängden till 1,4 ton COD per ton VS (Göteborgs stad 2007; Göteborgs stad 2011).

Gasproduktionen i röt-kammaren antas till 470 Nm<sup>3</sup>/ton VS eller 336 Nm<sup>3</sup>/ton COD. Andelen COD som blir gas antas till 75 % för det som kommer som primärslam och till 25 % för det som går till biosteget (vilket kommer till röt-kammaren som bioslam).

Rötresten anses väl utrotad, och energiinnehållet i den försummas.

Det antas att all fosfor som tillförs röt-kammaren hamnar i röt-slammet och går till gödning eftersom mängden som går till recipient antas hållas konstant. Detta åstadkoms om nödvändigt med ökad dosering av fällningskemikalier för fosforrening vid Ryaverket.

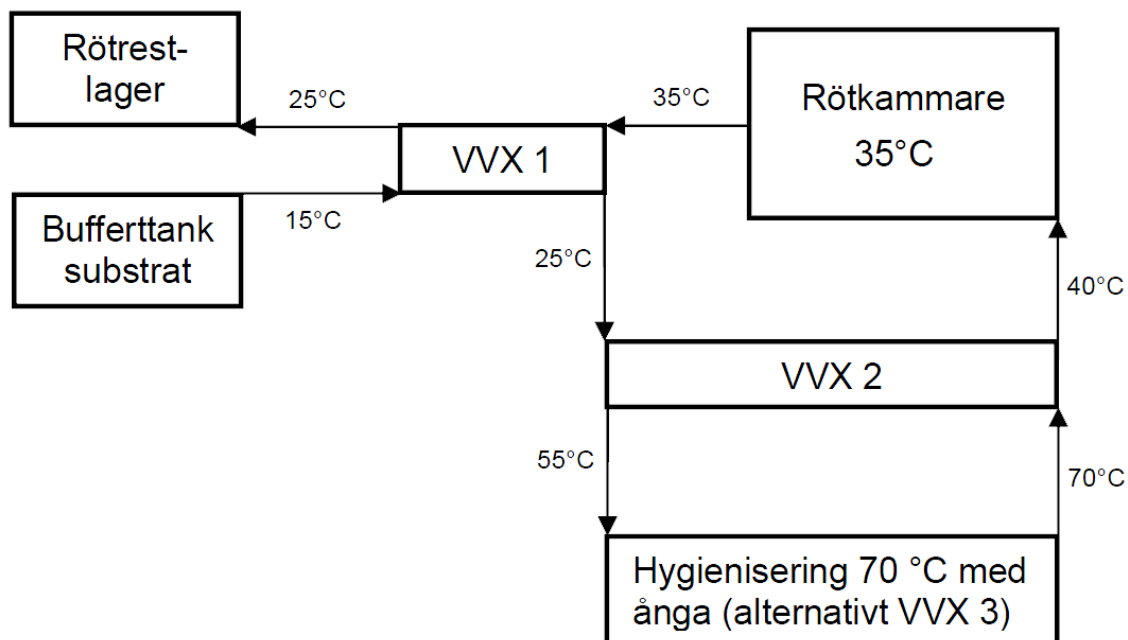
För kväve antas mineraliseringen av kväve i röt-kammaren vara 65 % vilket är lika med utrotningsgraden (Göteborgs stad 2011; Davidsson et al 2011). Kvävet återförs till reningsverkets huvudlinje och nitrifieras och denitrifieras till luftkväve.

Allt svavel som kommer till röt-kammaren antas bindas i rötresten och går till gödning. Detta eftersom Ryaverket använder ett järnsalt för kemisk fällning. Svavlet kommer att bindas som järnsulfid i röt-kammaren. Den biologiska tillgängligheten bedöms mycket hög eftersom sulfiden kommer att oxideras till sulfat på åkern.

För kalium antas mineraliseringen vara 65 % vilket är lika med utrötningsgraden (Göteborgs stad 2011). Det återförs till reningsverkets huvudlinje helt löst och följer med ut i recipienten.

### Antaganden för hygienisering

Enligt en EU-förordning (EU 2006) om bearbetningskrav för biogas- eller komposteringsanläggningar och krav för naturgödsel skall matavfall hygieniseras före användning i jordbruket. Här antas att termisk hygienisering sker i de systemalternativ där biogödsel produceras. Energianvändningen för hygienisering är inkluderad i angivna värden. Då det rör sig om anläggningar som inte finns eller är planerade, har för beräkningarna använts en metod som angivits av Norin (2007). Principen för hygieniseringen återges i Figur 1.



Figur 1. Tillämpad princip för hygienisering (Norin 2007).

För beräkningarna har använts följande värden:

Elanvändning rötkammare: 9,9 kWh/ton våtvikt (Göteborgs stad 2011)

Elanvändning hygienisering: 2 kWh/ton våtvikt (Norin 2007)

Total elanvändning:  $2 + 9,9 = 11,9$  kWh/ton våtvikt

Värmeanvändning hygienisering 70°C: 17,5 kWh/ton våtvikt (Norin 2007) (denna energiinsats räcker även för att hålla rötkammaren vid 35°C)

Värmeförlust: 15 % (antagande)

Total värmeanvändning:  $1,15 * 17,5 = 20,1$  kWh/ton våtvikt



## Antaganden för beräkning av kadmiumflöden

Mängden Cd i organiskt hushållsavfall har beräknats utifrån URWARE:s defaultvärden i Systemstudie Avlopp (Göteborgs stad 2007) vilka ursprungligen kommer från (Jönsson et al 2005). Dessa värden bygger på 10 separata mätningar men utförda med gemensam metod och kvalitetskontroll. Andra senare mätningar (Truedsson 2010) visar att variationen i koncentration av tungmetaller är stor men då dessa källor i sig innehåller få mätningar och är gjorda på olika vis är det inte möjligt att använda dessa för medelvärdesbildning.

Över förbehandling och separationssteg har för samtliga alternativ fördelningen av kadmium antagits följa TS. Inga data har hittats för att belägga detta antagande men då det är väldokumenterat att dessa metaller generellt binder hårt till organiskt material så är det rimligt. All kadmium till röt-kammare antas följa rötresten vid användning på jordbruksmark.

## Antaganden för beräkning av växthusgaser

Utsläpp av koldioxid, metan och lustgas från de olika systemalternativen har beräknats. Växthuseffekten (100 år) uttrycks som koldioxidekvivalenter efter omräkning enligt:

1 kg metan (CH<sub>4</sub>) motsvarar 25 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

1 kg lustgas (N<sub>2</sub>O) motsvarar 298 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Forster et al. 2007).

För transporter har antagits 75 % biogas (inga utsläpp av växthusgaser) och 25 % diesel med koldioxidutsläppen 284 g CO<sub>2</sub>/kWh (Gode et al. 2011).

För elanvändningen har s.k. marginalel antagits. Detta är en rimlig ansats då man avser att studera effekter av förändringar i elsystemet till följd av till exempel ett investeringsbeslut. På detta sätt har man också tydligt isolerat orsak-verkan-sambandet för just den förändring vars effekt man är intresserad av att studera. Beroende på vilka antaganden man gör angående framtida elanvändning/elproduktion blir det relativt stora effekter på koldioxidutsläppen. Sköldberg och Unger (2008) har med modellberäkningar studerat effekterna på elproduktionsmixen och på koldioxidutsläppen i Nordeuropa åren 2009-2037, vid en ökning av elanvändningen i Sverige med 5 TWh och med olika antaganden beträffande omvärldsförutsättningar. Utsläppen i de olika scenarierna varierar mellan 160 och 700 g CO<sub>2</sub>/kWh. Vid beräkningarna i denna studie har 200 g CO<sub>2</sub>/kWh antagits då detta motsvarar utfallet för den omvärldsutveckling som vi i nuläget håller för mest trolig, med bland annat relativt höga priser på utsläpp av koldioxid i framtiden. På grund av de stora variationerna i de beräknade utsläppskoefficienterna för el har också en känslighetsanalys gjorts där 700 g CO<sub>2</sub>/kWh antagits. Detta motsvarar istället en omvärldsutveckling med relativt låga priser på koldioxid framöver. Som jämförelse kan nämnas att nordisk elmix år 2010 gav utsläppen 100 g CO<sub>2</sub>/kWh (Svensk Energi 2011) och att s.k. Göteborgsmix gav utsläppen 143 g CO<sub>2</sub>/kWh (Tumlin 2011). Men det är med ovan nämnda motiv inte lämpligt att använda nuvarande elmix vid systemanalyser som avser förändringar i framtida elanvändning eller i framtida elproduktion. Mer att läsa om miljövärdering av el ur systemperspektiv finns bl.a. i IVL-rapporten B1822 (IVL 2009).

För användning av naturgas i det kompensatoriska systemet har koldioxidutsläppen satts till 224 g CO<sub>2</sub>/kWh (Gode et al. 2011).

Metanutsläppen från rötning har antagits vara 3,8 % av producerad metangas, vilket är det värde som uppmätts vid Ryaverket (Tumlin 2011). Till utsläppen från reningsverket kommer utsläpp i samband med uppgradering av gasen till fordonsgas. Dessa anges för Arendal Biogasanläggning uppgå till 0,12 % av inkommande orenad biogas (Göteborg Energi 2010). Detta värde används vid våra beräkningar. Utsläppen från Ryaverken är högre, medan utsläppen från uppgradering är lägre, än de medianvärden som rapporterats från svenska anläggningar (Avfall Sverige 2009). För rötningsanläggningar vid reningsverk är medianvärdet 2,1 %, medan det för uppgraderingsanläggningar varierar mellan 0,4 och 2,1 % beroende på vilken teknik som används.

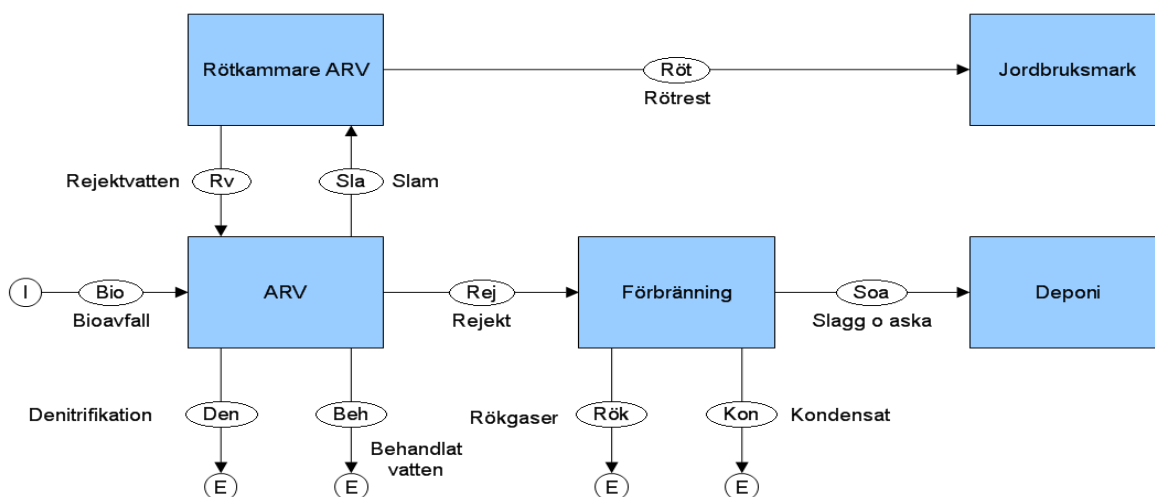
För lustgas har antagits att utsläppen utgör 0,35 % av avskilt kväve. Detta är de sammanlagda uppmätta utsläppen från Ryaverket, inklusive påslag från 3 veckors förvaring i slamhög (Tumlin 2011). Det ska understrykas att dessa värden är mycket osäkra, men detta gäller generellt för lustgasutsläpp. I en litteraturstudie av Westling (2011) rapporterades värden mellan 0,013 och 2,4 %. Det amerikanska schablonvärdet är 0,15 %. I ljuset av dessa värden förefaller det trots osäkerheten rimligt att använda de vid Ryaverket uppmätta värdena.

## 4 Systembeskrivning

Systembilderna nedan (Figur 2-5) är principbilder. Substansflöden för TS och P redovisas i Avsnitt 5.

### Systemalternativ Köksavfallskvvarnar

Köksavfallskvvarnar installeras i hushållen under diskbänken. Det organiska avfallet mals automatiskt ned och transporteras i befintligt avloppsnätet till Ryaverket, där det behandlas tillsammans med avloppsvattnet. Slammet rötas, och producerar biogas och rötrest. Med rejekt avses gallerrens från reningsverket. Från slagg och aska kan man återvinna fosfor, men praktiskt/ekonomiskt tillämpliga tekniker för detta finns inte framme.

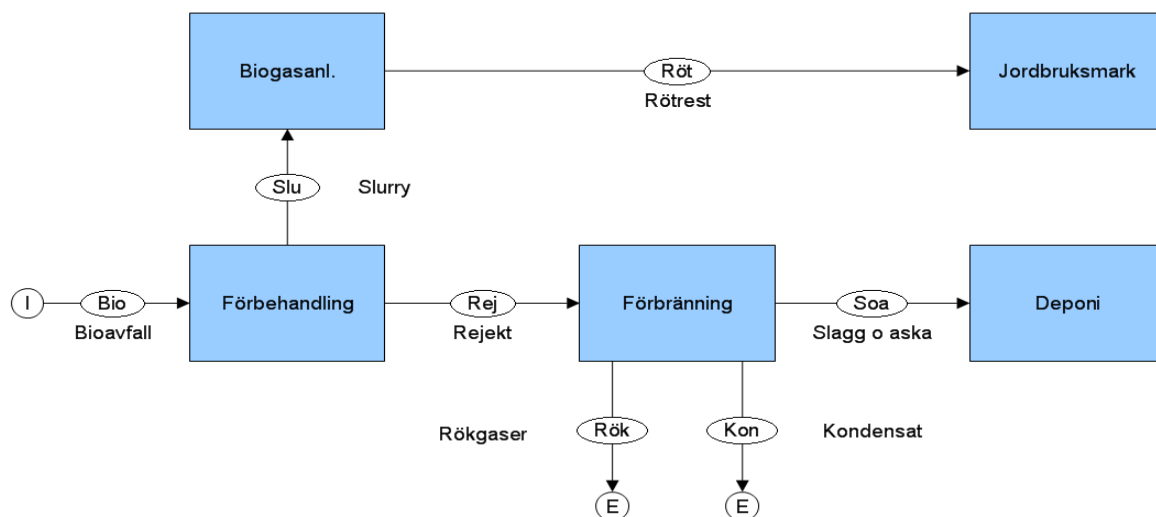


Figur 2. Systemalternativ Köksavfallskvvarnar – flöden som ingår i beräkningarna.



### Systemalternativ Biogasanläggning

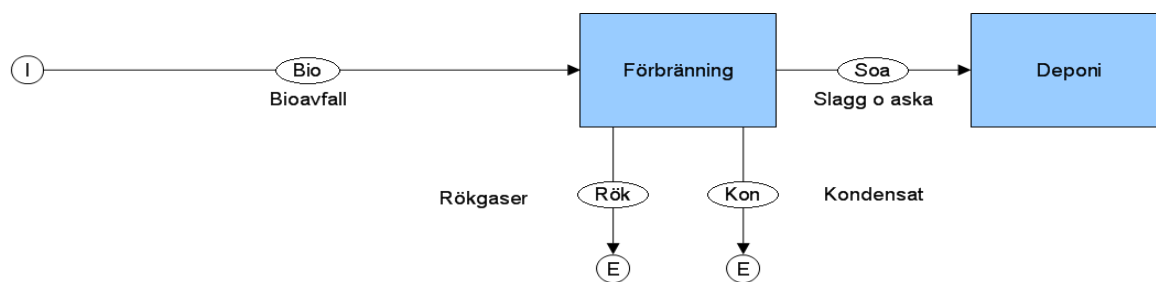
En separat biogasanläggning byggs, dit det organiska hushållsavfallet (i "bruna påsar") transporteras med lastbil. Avfallet producerar biogas och rötrest. Förbehandlingen har en annan teknik än i alternativ Samrötning (se vidare Avsnitt 5).



Figur 3. Systemalternativ Biogas – flöden som ingår i beräkningarna.

### Systemalternativ Förbränning

Hushållens matavfall källsorteras inte. Allt matavfall transporteras tillsammans med restavfall till Sävenäs för förbränning. Askan läggs på deponi. Från slagg och aska kan man återvinna fosfor, men praktiskt/ekonomiskt tillämpliga tekniker för detta finns inte framme. Annan materialåtervinning kan också bli möjlig.



Figur 4. Systemalternativ Förbränning – flöden som ingår i beräkningarna.

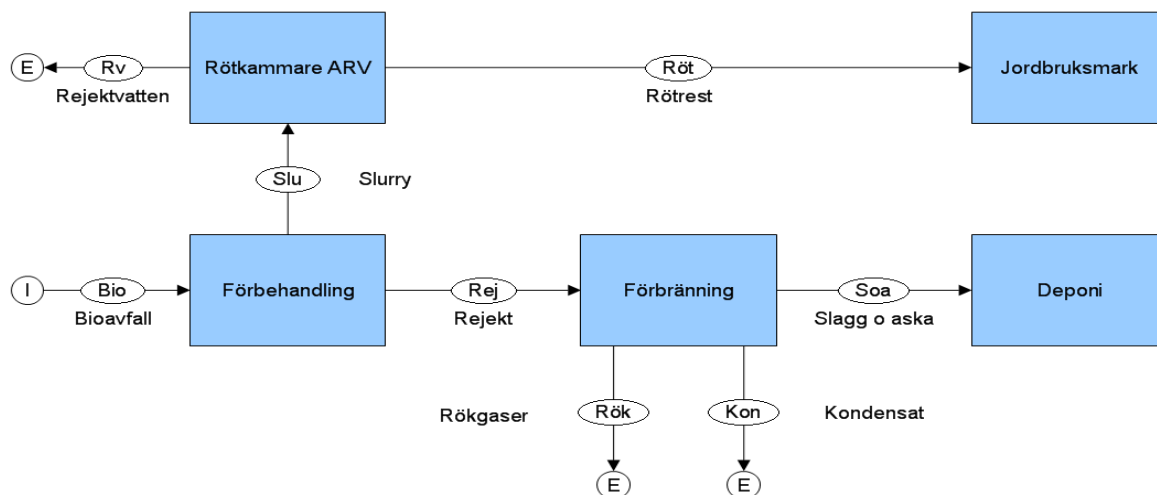
### Systemalternativ Samrötning

I alternativ Samrötning samlas bioavfallet in i "bruna påsar" på samma sätt som idag med målet att avfallet skall rötas. Det överensstämmer därför med alternativ Biogas förutom att avfallet går till rötchamraren vid Ryaverket efter föregående förbehandling. Förbehandlingen har en annan teknik än i alternativ Biogas.

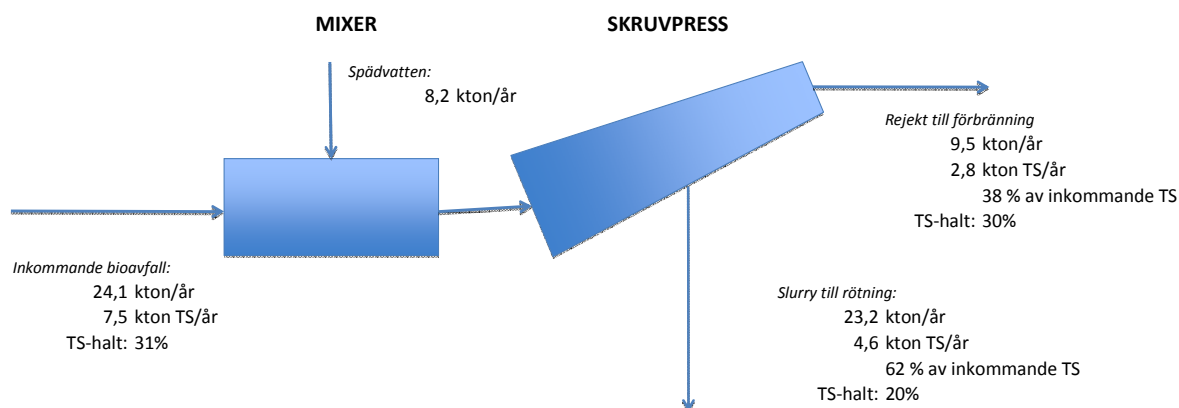
Förbehandlingsanläggningen som använts för analysen i detta alternativ är uppbyggd av 1) en mixer som river upp påsarna och delvis finfördelar materialet och 2) en skruvpress som separerar långa trådiga och hårda fraktioner från den flytande och lättbearbetade slurryn. Fördelningen har antagits till 62 % slurry och 38 % rejekt räknat som torrsbstans, TS. Hur stor del som blir rejekt behandlas nedan i Avsnitt 5.

Schematisk bild med flöden ses i Figur 6. Slurryn mellanlagras i en tank och körs sedan med bulkbil med släp till Ryaverket för inmatning direkt till röttkammaren. Den fasta fraktionen (rejekt) körs till förbränning i Renovas anläggning på Sävenäs.

Denna teknik är beprövad, robust och driftsäker. Det är den av de i Sverige använda förbehandlingsteknikerna som på ett säkert sätt avskiljer material som antingen är svårnedbrytbart och kontaminerar gödseln (plast, cellulosa m.m.) eller som kan orsaka driftstopp och problem vid rötningsanläggningen. Detta sker på bekostnad av mängden organiskt material som går till rötning eftersom rejektandelen är hög jämfört med tekniker som enbart innefattar mekanisk sönderdelning.



Figur 5. Systemalternativ Samrötning – flöden som ingår i beräkningarna.



Figur 6. Principskiss för förbehandlingsanläggningen i systemalternativ Samrötning.

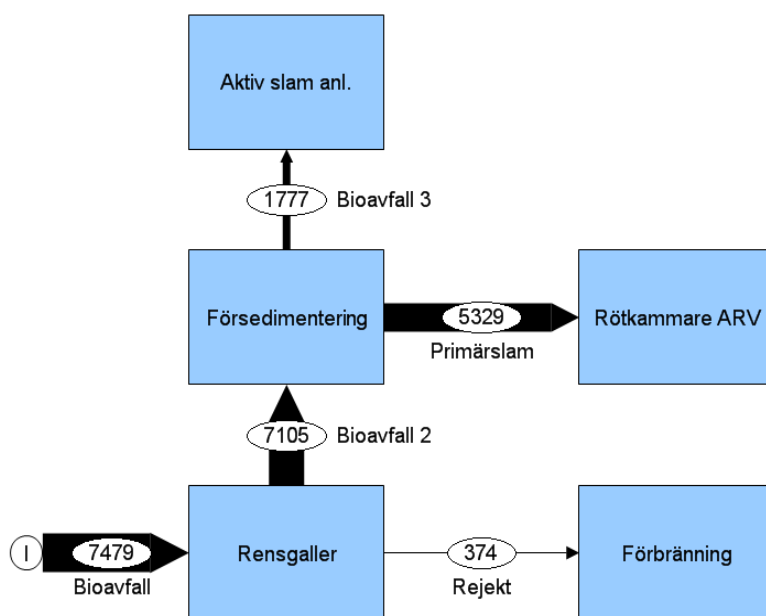
## 5 Analyser och resultat

### Analys och resultat för bassystemet

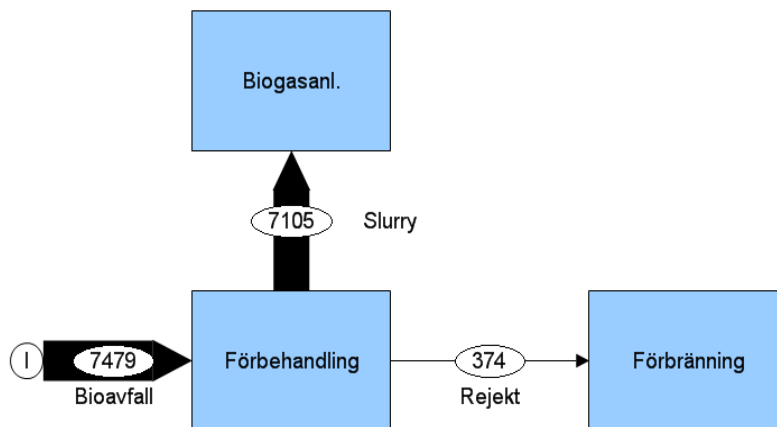
I detta avsnitt redovisas resultaten när endast bassystemet beaktas. Med bassystem menas det fysiska systemet från hushåll till och med transport till jordbruk, deponi eller recipient.

#### Torrsubstansflöden

I Figur 7-10 visas flödena av bioavfall (uttryckt som torrsubstans, TS) till olika behandlingssteg i de fyra systemalternativen. Syftet med figurerna är endast att visa de inkommande flödenas fördelning till olika behandlingssteg, varför inte slutdestinationerna finns med.



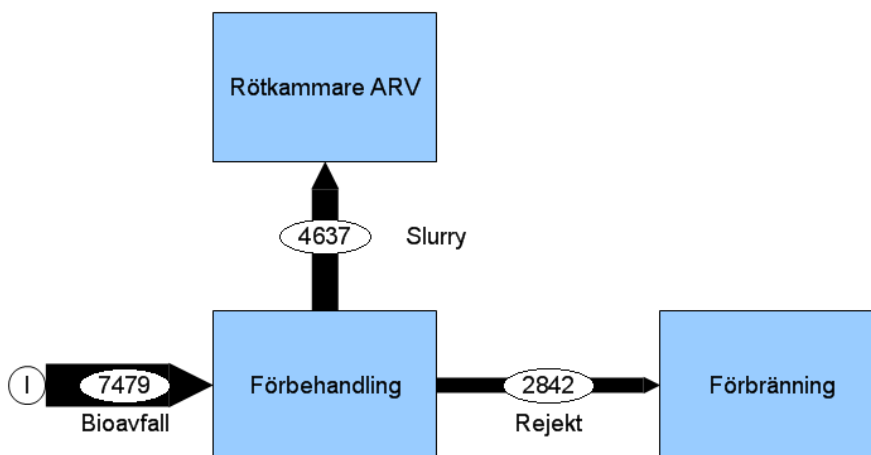
Figur 7. Bioavfallsflöden i systemalternativ Köksavfallsvarnar (ton TS per år).



Figur 8. Bioavfallsflöden i systemalternativ Biogas (ton TS per år) (med 5 % rejekt).



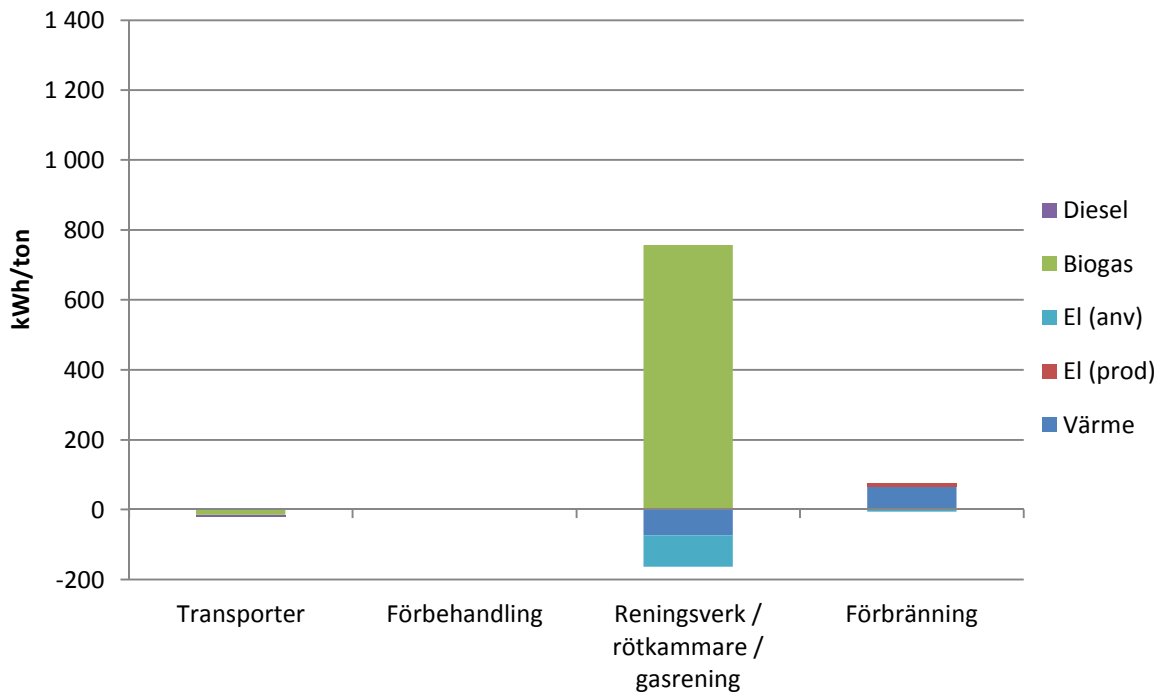
Figur 9. Bioavfallsflöden i systemalternativ Förbränning (ton TS per år).



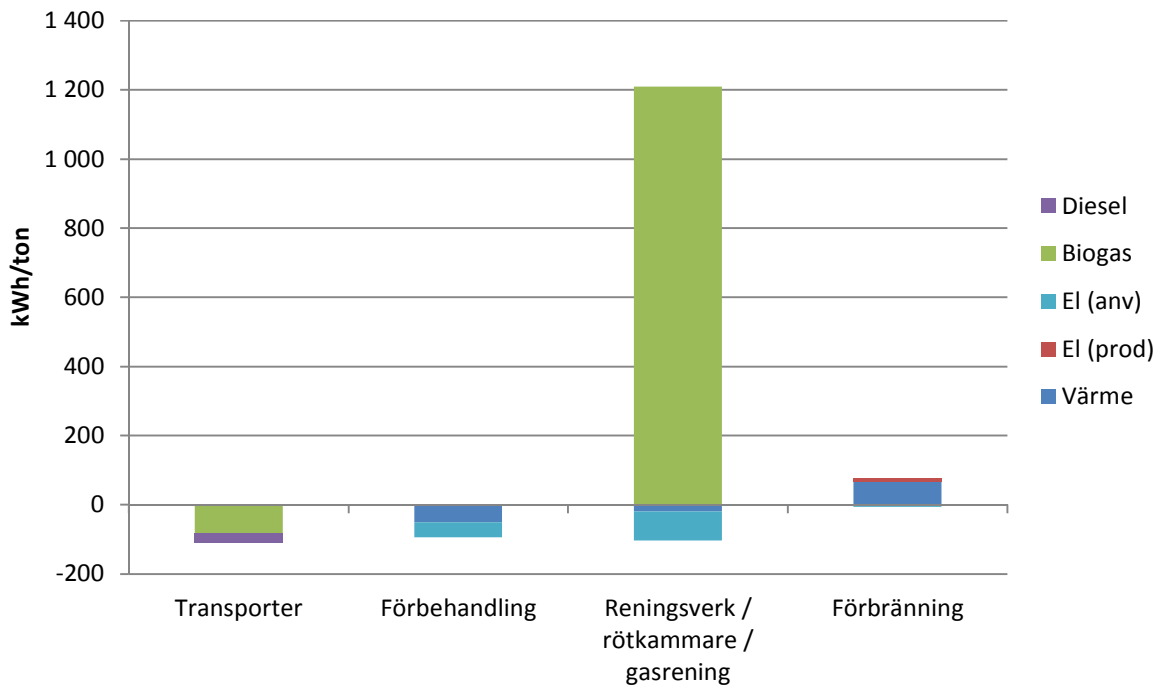
Figur 10. Bioavfallsflöden i systemalternativ Samrötning (ton TS per år).

### Energianvändning och energigenerering

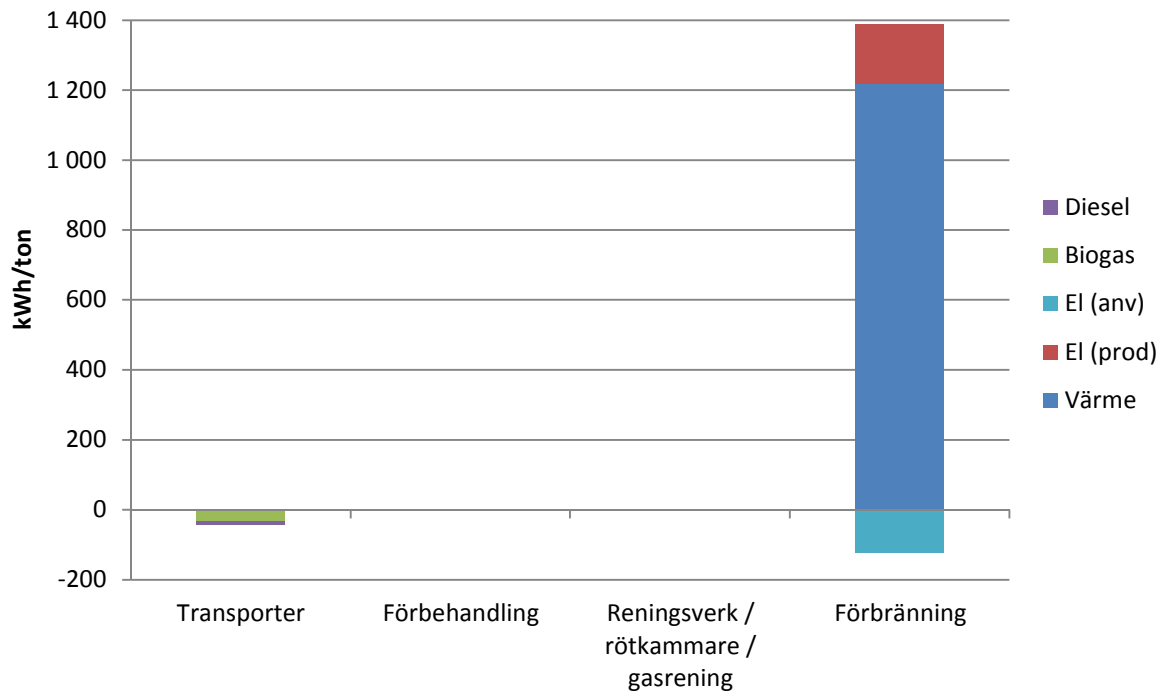
I det följande används begreppen "energigenerering" och "energianvändning" för de energimängder som genereras i de olika systemalternativen respektive används för t.ex. behandling och transporter. Begreppet "energiomsättning" används när såväl energigenerering som energianvändning inbegrips. I diagrammen (Figur 11-16) är positiva staplar energigenerering och negativa staplar energianvändning.



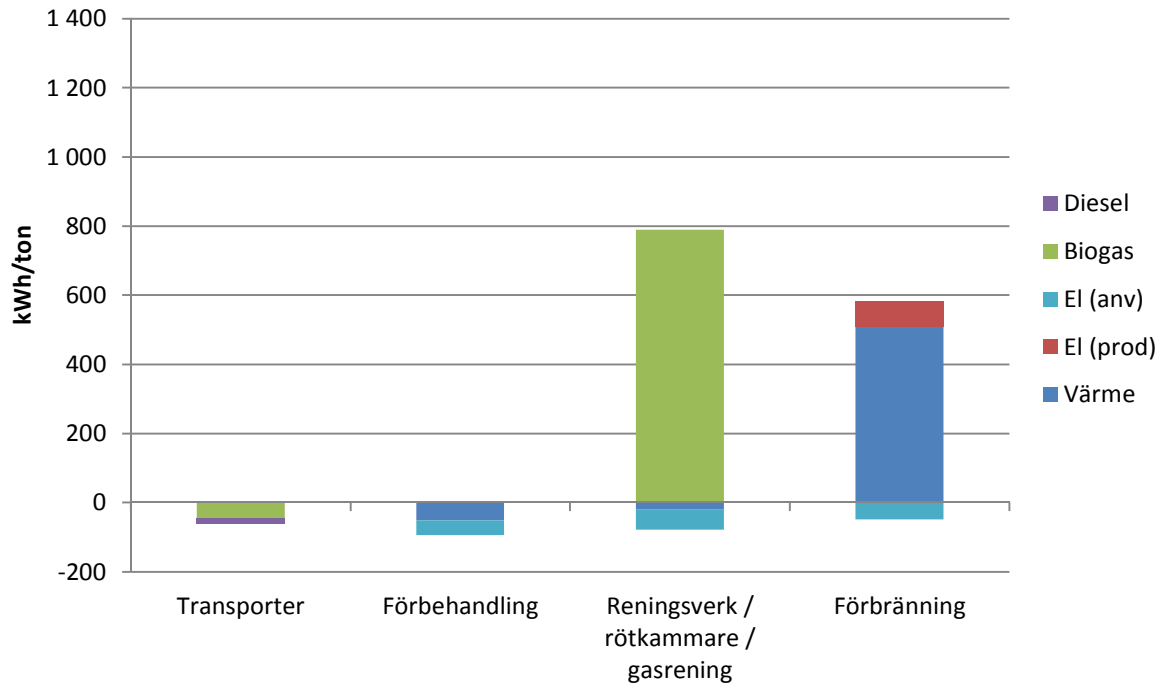
Figur11. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Köksavfallskvarnar (kWh/ton matavfall).



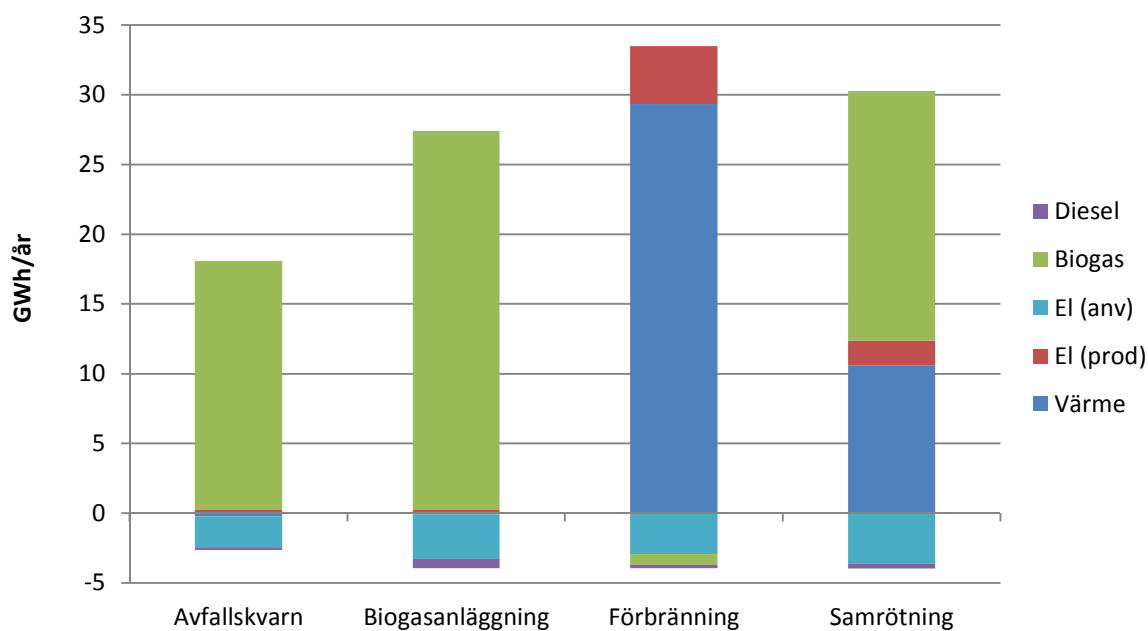
Figur 12. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Biogas (kWh/ton matavfall) (med 5 % rejekt).



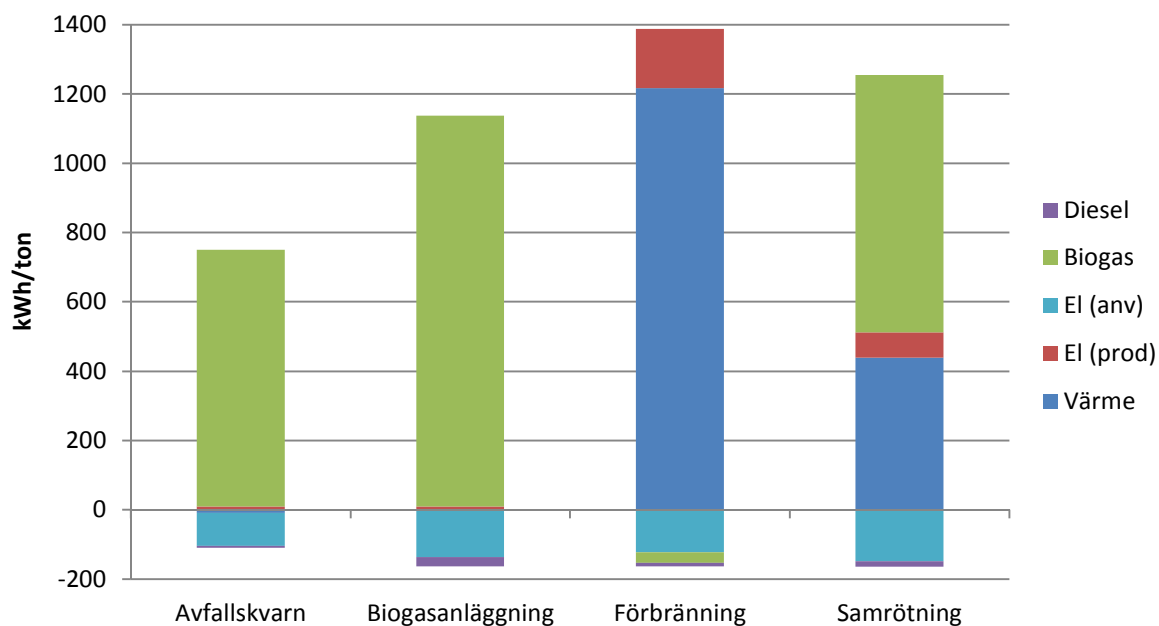
Figur 13. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Förbränning (kWh/ton matavfall).



Figur 14. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Samrötning (kWh/ton matavfall).



Figur 15. Energiomsättning i bassystemet. Jämförelse mellan systemen (GWh/år).



Figur 16. Energiomsättning i bassystemet. Jämförelse mellan systemen (kWh/ton matavfall).

### Exergianvändning

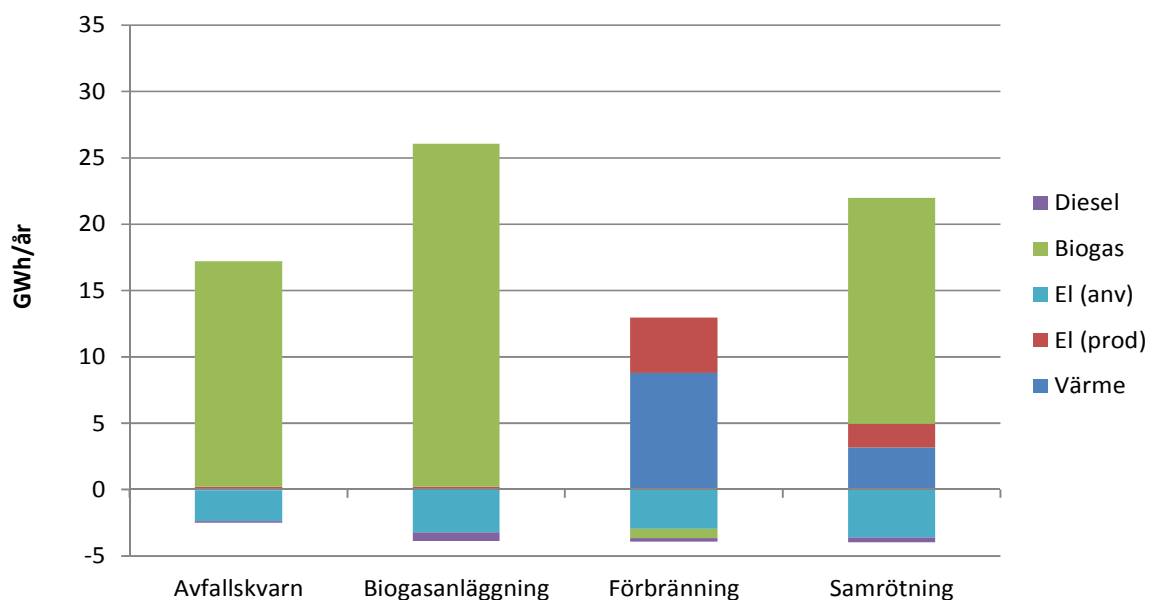
Exergi är den totala mängden *potentiellt* arbete i ett system i en viss omgivning och kan sägas beteckna energikvaliteten. Begreppet används inom termodynamiken och avser de fysiska egenskaperna hos energislagen, dvs. inbegriper inte verkningsgrader hos maskiner etc. För att bedöma den tekniskt och ekonomiskt tillgängliga exergin måste kompletteringar ske för verkningsgrader mm. Här sker en ständig teknikutveckling, och några antaganden har inte gjorts i denna studie.

En beskrivning av hur exergibegreppet används inom VA-sektorn finns i Bilaga 3. Värden och principer för exergiomvandling i avloppsprocesser har också redovisats av D. Hellström (t.ex. 1998 och 2003).

De värden som används för exergiomvandlingen överensstämmer med de som använts i Systemstudie Avlopp (Göteborgs stad 2007).

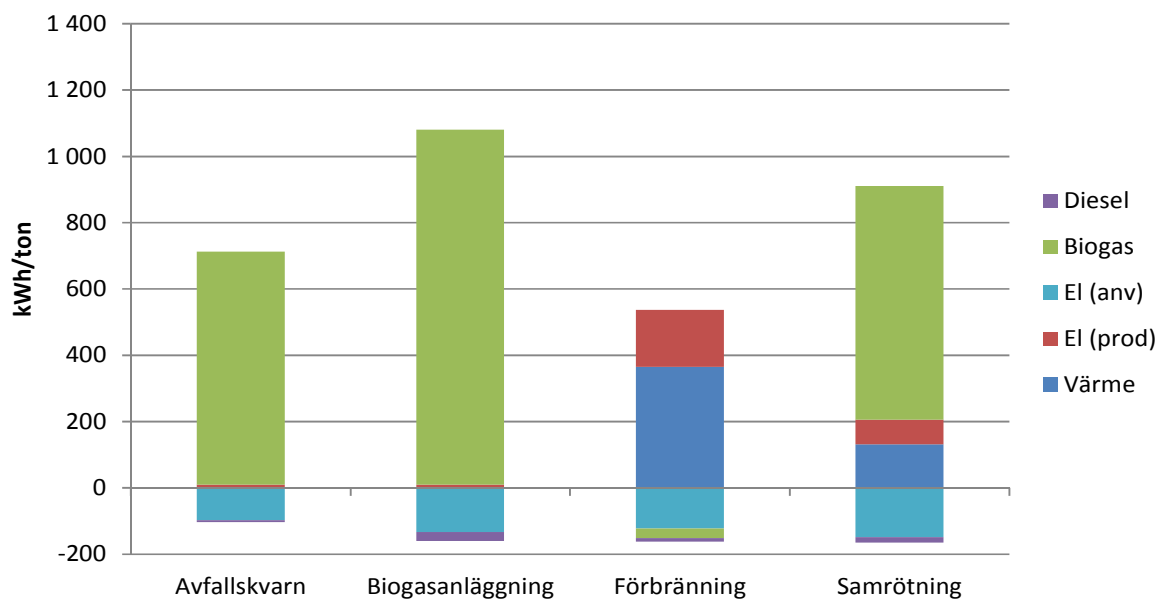
Exergifaktorer:

El	1,00
Kemiskt bunden energi:	0,95 (biogas, naturgas, diesel)
Het ånga	0,60
Fjärrvärme	0,30
Spillvärme	0,05



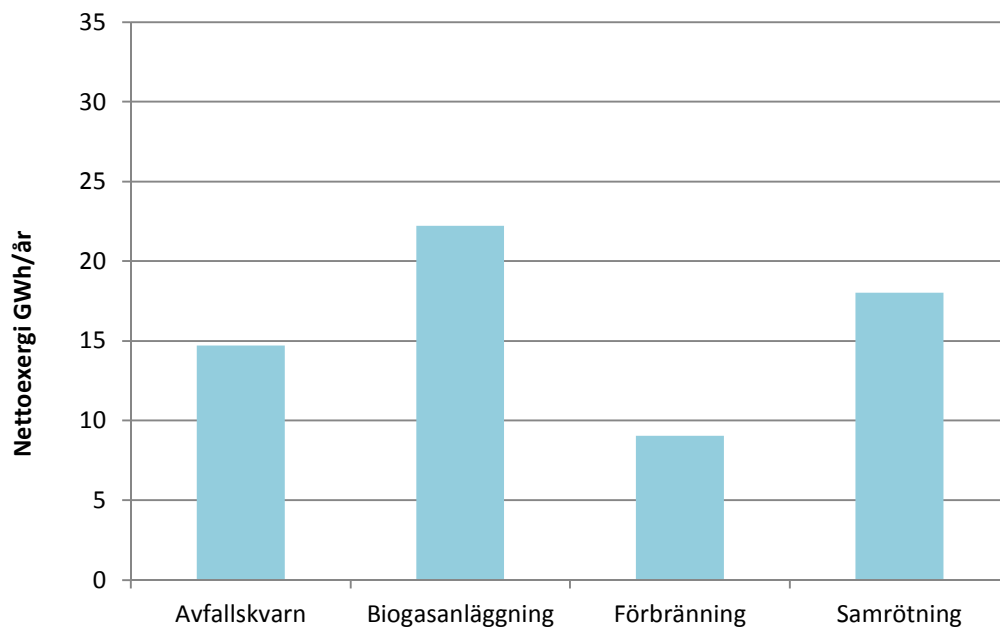
Figur 17. Exergisättning för bassystemen i de fyra systemalternativen (GWh/år).



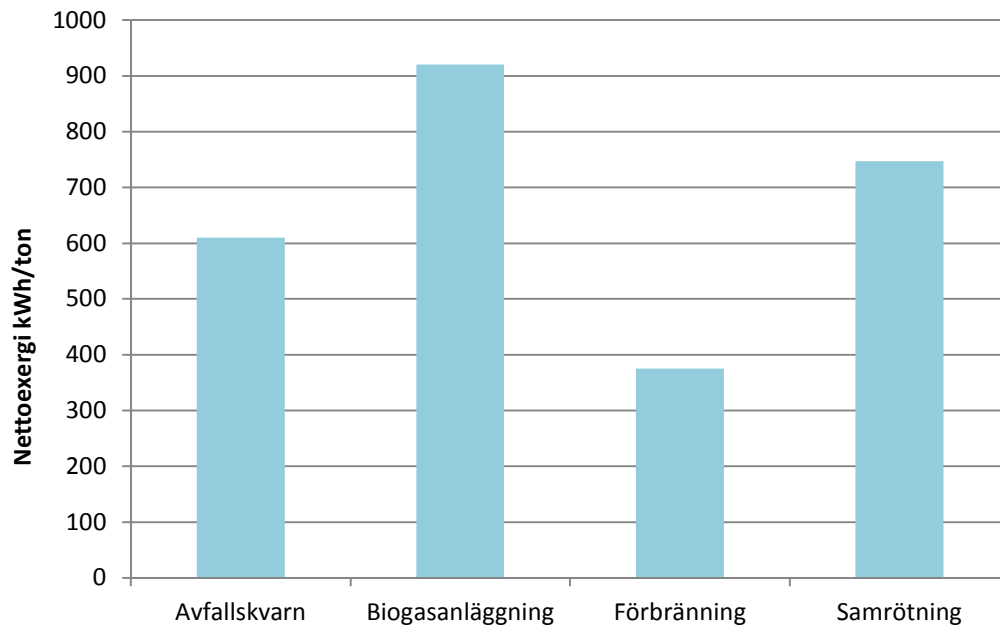


Figur 18. Exergisättning för bassystemen i de fyra systemalternativen (kWh/ton matavfall).

I Figur 19 visas den totala exergisättningen (generering minus användning) för de fyra systemalternativen. System Biogas genererar alltså mest nettoexergi vid en jämförelse. I Figur 20 visas samma resultat per ton matavfall.



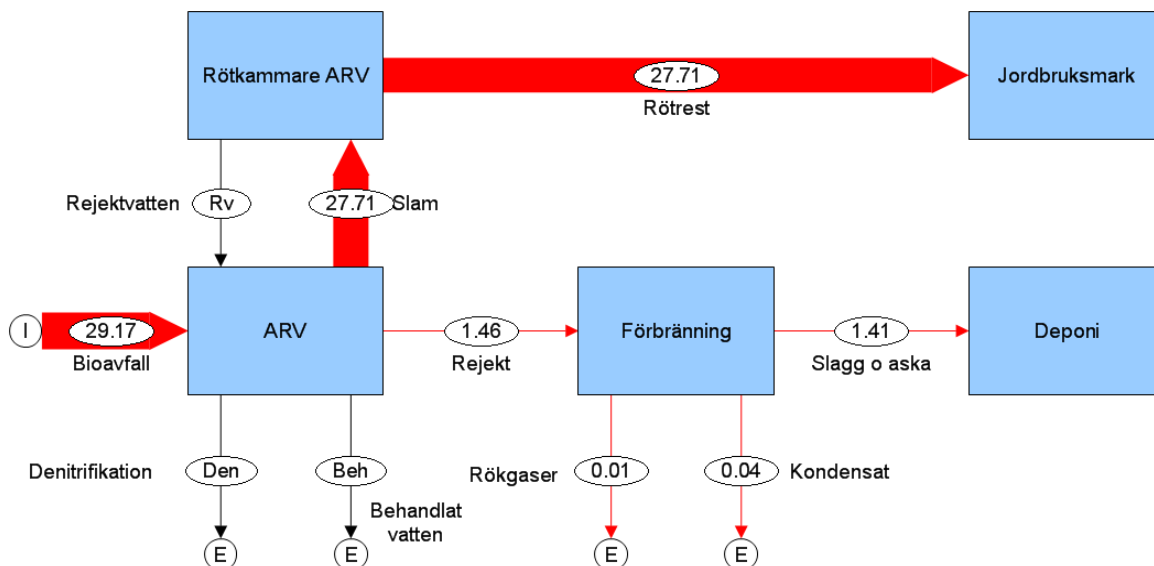
Figur 19. Total nettoexergisättning i bassystemet (GWh/år).



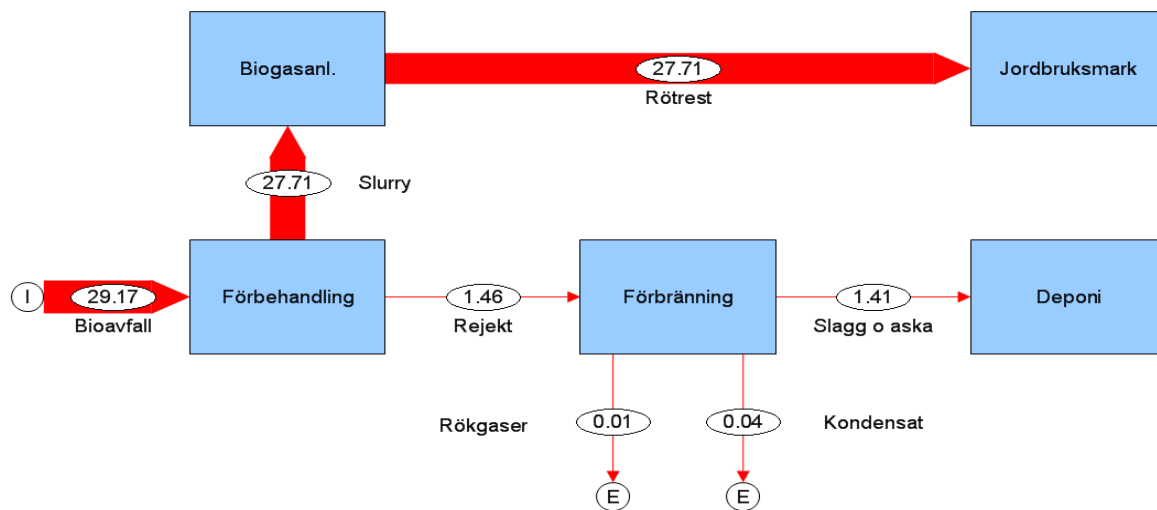
Figur 20. Total nettoexergiomsättning i bassystemet (kWh/ton matavfall).

### Näringsämnen

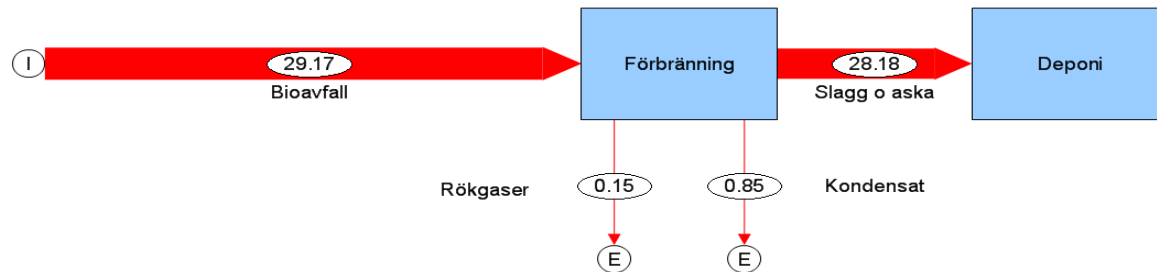
Nedan redovisas flödena av fosfor i de fyra systemalternativen, i Figur 21-24.



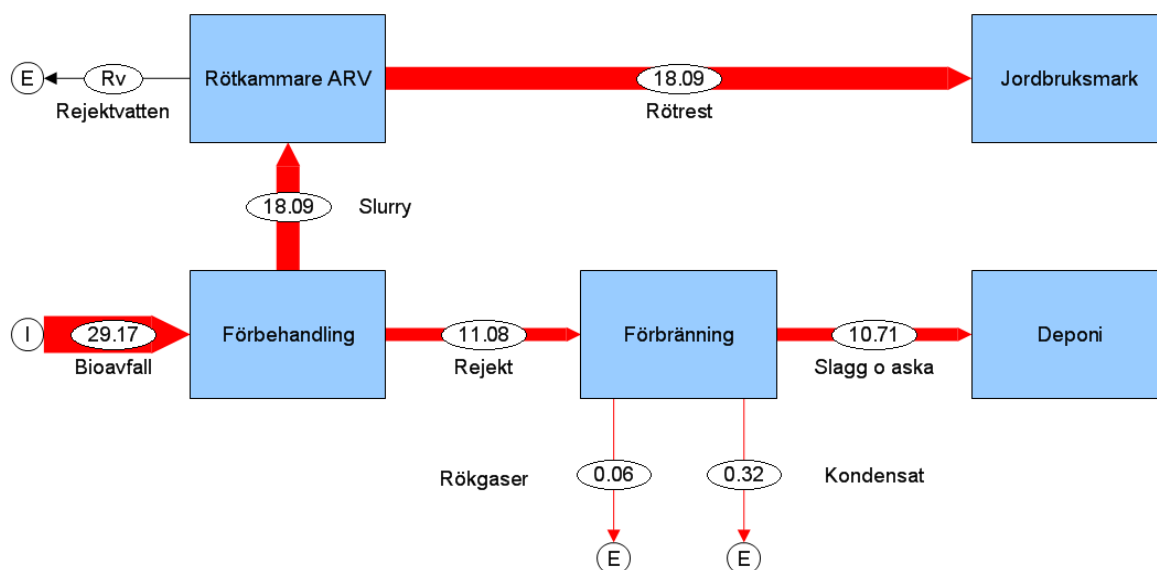
Figur 21. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Köksavfallskvarnar.



Figur 22. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Biogas.

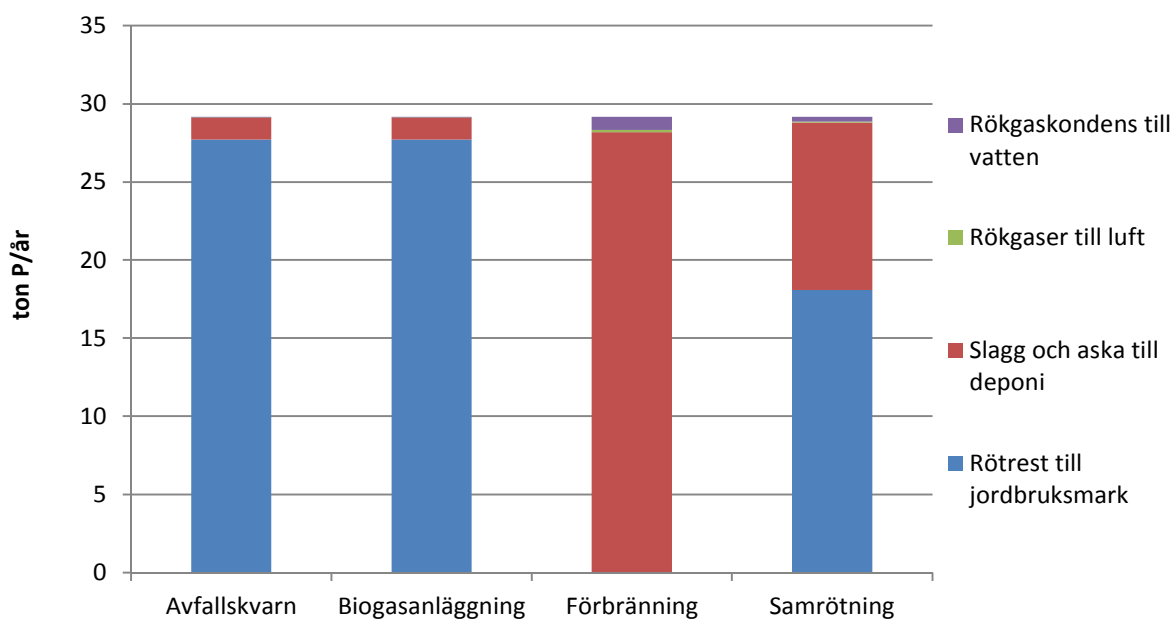


Figur 23. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Förbränning.

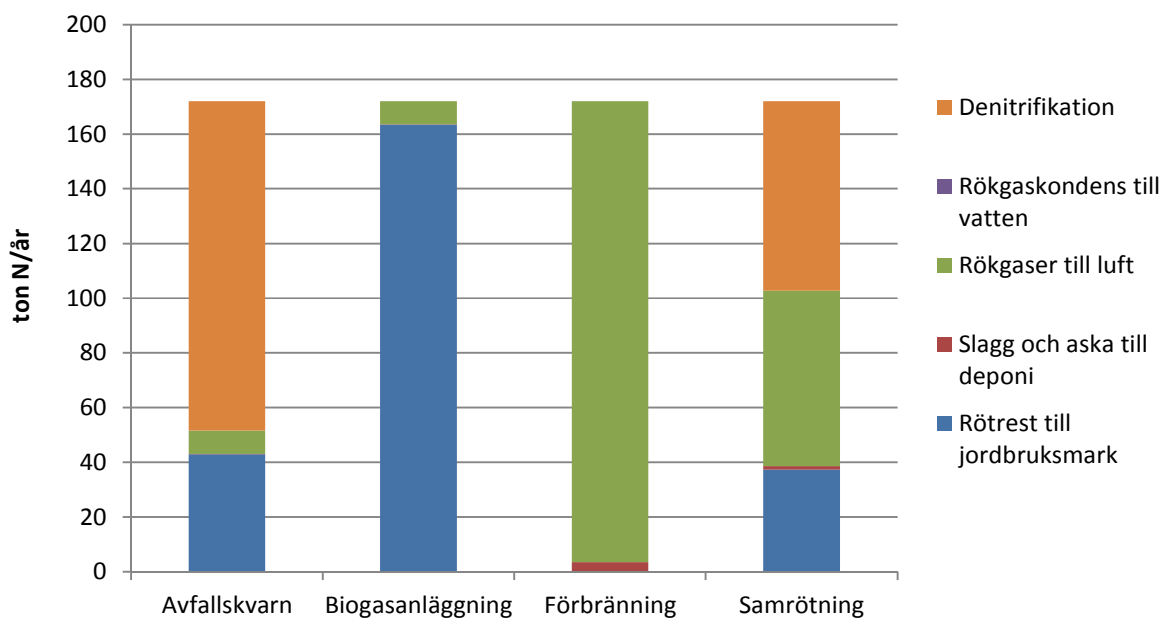


Figur 24. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Samrötning.

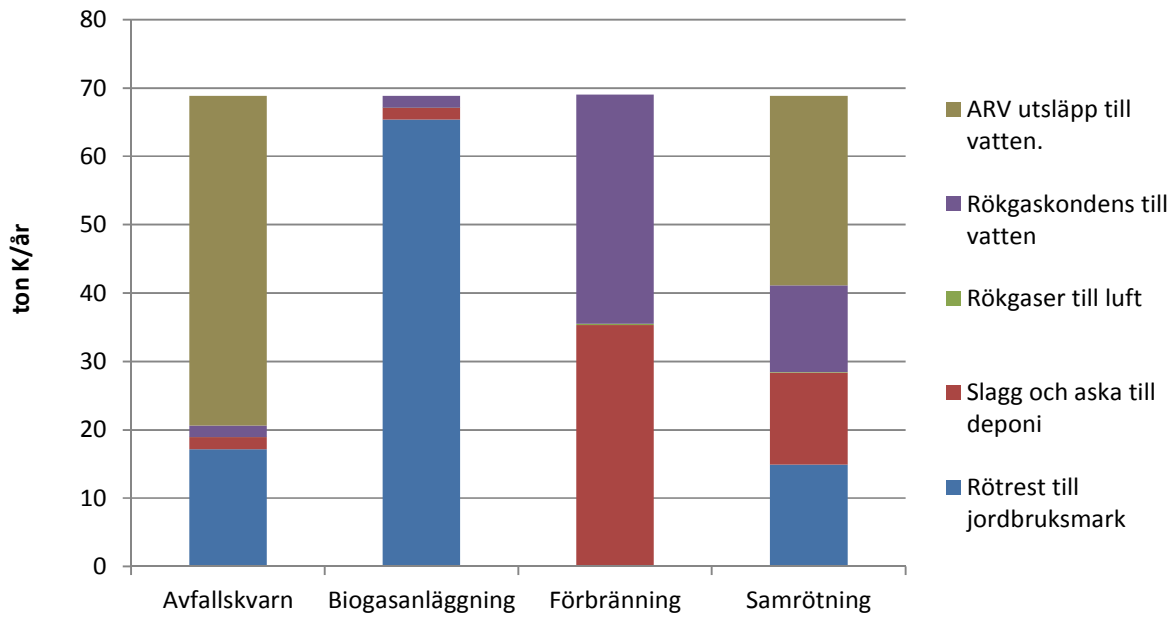
I Figurerna 25-30 visas sänkorna av de studerade substanserna, dvs. var de till slut hamnar: i vatten, luft, slag och aska, eller till jordbruksmark.



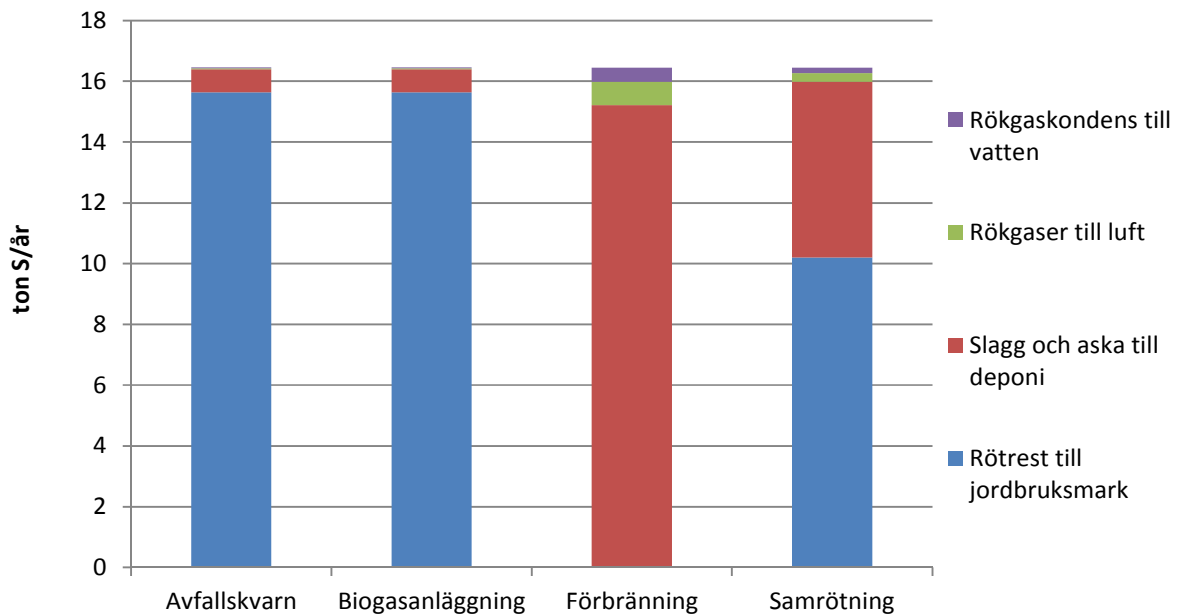
Figur 25. Fosforsänkorna, jämförelse mellan systemen (ton/år).



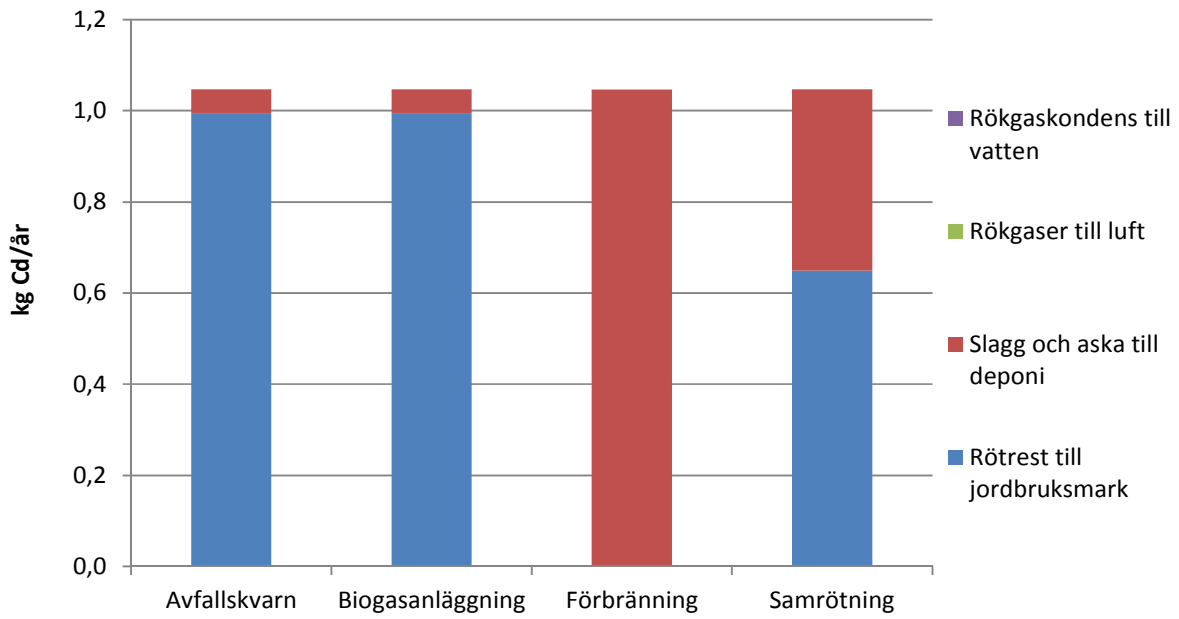
Figur 26. Kvävesänkorna, jämförelse mellan systemen (ton/år).



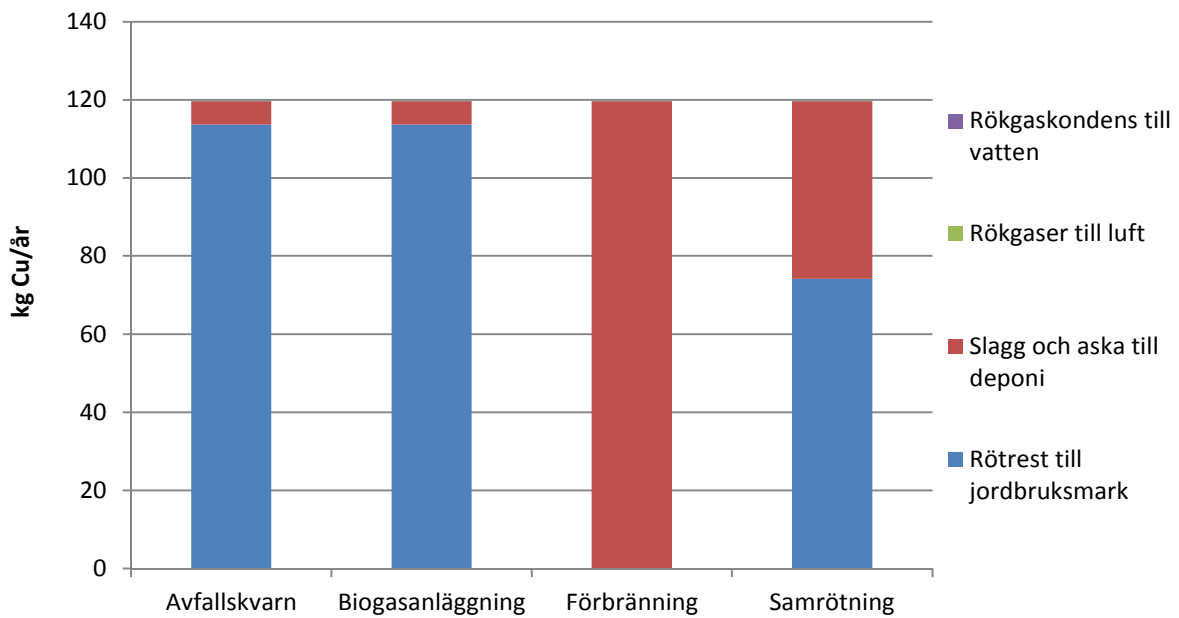
Figur 27. Kaliumsänkor, jämförelse mellan systemen (ton/år).



Figur 28. Svavelsänkor, jämförelse mellan systemen (ton/år).



Figur 29. Kadmiumsänkor, jämförelse mellan systemen (kg/år).



Figur 30. Kopparsänkor, jämförelse mellan systemen (kg/år).

## Analyser och resultat för det kompensatoriska systemet

De fyra systemalternativen producerar olika nyttigheter, dels i form av näringsämnen i rötrest som tillförs jordbruksmark, dels i form av energibärarna värme, el och biogas.

Då produktionen av dessa nyttigheter inte är densamma i de olika alternativen är de inte direkt jämförbara. Därför konstrueras så kallade kompensatoriska system, vars uppgift är att producera nyttigheter så att systemalternativen blir jämförbara.

Genom att utgå från de systemalternativ som producerar mest av respektive nyttighet erhålles behovet av kompensatorisk produktion.

### *Beräkningsgång och antaganden:*

Elanvändningen i det kompensatoriska systemet liksom i bassystemet antas vara marginalel (se Avsnitt 3).

All värme produceras med naturgas, t.ex. vid Rya gaskombiverk.

Kompensatorisk fosfor ersätts av mineralfosfor. Energin för att producera denna fosfor utgörs av el och fossilt bränsle (naturgas).

Kompensatorisk biogas utgörs av naturgas.

## Energi

I Tabell 4 visas den totala energigenereringen, fördelad på olika energibärare, för de fyra systemalternativen. Tabell 5 visar kompensationsbehovet (där nollorna visar det systemalternativ som producerar mest nyttighet). Tabell 6 visar hur mycket naturgasproducerad energi som behöver användas för kompensatorisk produktion av värme och gas. För den kompensatoriska produktionen av el har använts marginalel.

**Tabell 4. Bruttoproduktion av energibärare ("nyttigheter") i de fyra systemalternativen.**

	<b>Enhet</b>	<b>Värme</b>	<b>El</b>	<b>Biogas</b>
Köksavfallskvarn	GWh/år	1,6	0,2	18,2
Biogasanläggning	GWh/år	1,6	0,2	29,2
Förbränning	GWh/år	29,3	4,2	0,0
Samrötning	GWh/år	12,3	1,8	19,0

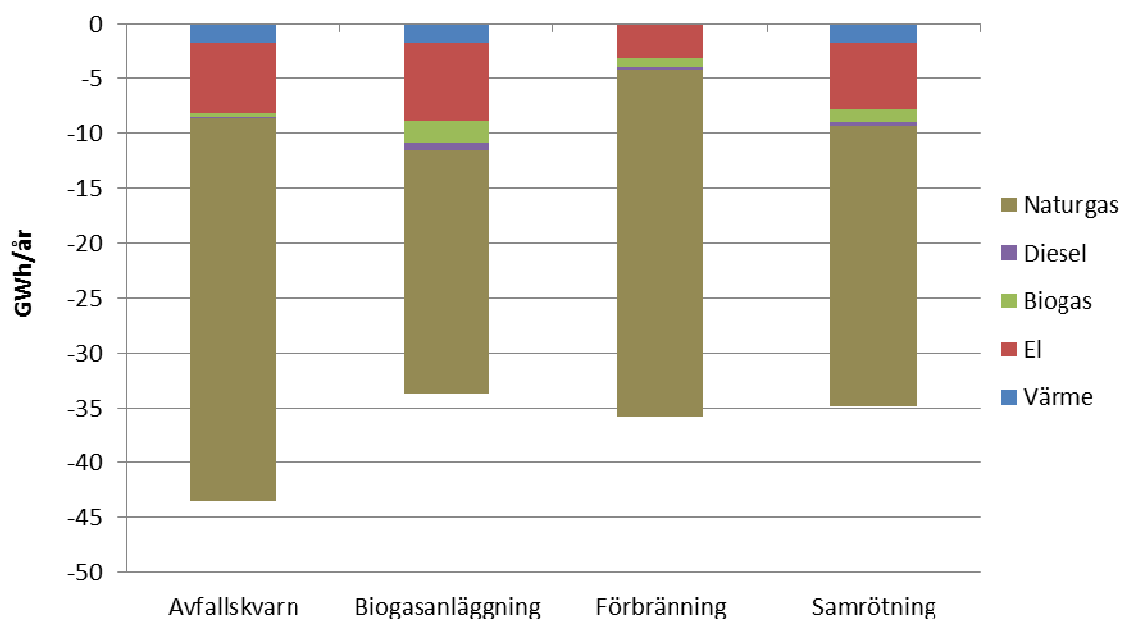
**Tabell 5. Kompensationsbehov av energibärare i de fyra systemalternativen.**

	Enhet	Värme	El	Biogas
Köksavfallskvarn	GWh/år	-27,8	-3,9	-10,9
Biogasanläggning	GWh/år	-27,7	-3,9	0,0
Förbränning	GWh/år	0,0	0,0	-29,2
Samrötning	GWh/år)	-17,1	-2,4	-10,1

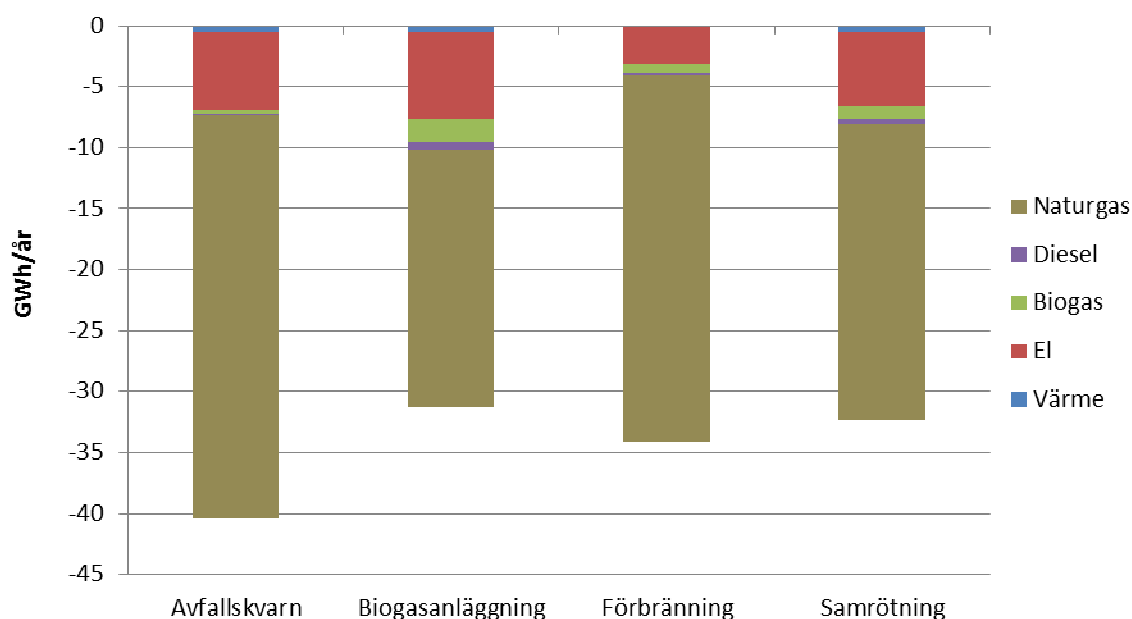
**Tabell 6. Energianvändning för kompensatorisk produktion av energibärare från naturgas.**

	Enhet	Naturgas (Värme)	Naturgas (Biogas)	Summa Naturgas
Köksavfallskvarn	GWh/år	-22,2	-10,9	-33,2
Biogasanläggning	GWh/år	-22,2	0,0	-22,2
Förbränning	GWh/år	0,0	-29,2	-29,2
Samrötning	GWh/år	-13,6	-10,1	-23,8

I Figur 31 presenteras den summerade energianvändningen i bas- plus kompensatoriskt system för de fyra systemalternativen, och i Figur 32 och 33 motsvarande exergianvändning. I samtliga dessa figurer ingår även energianvändningen för framställning av kompensatorisk fosfor och kväve, vilken redovisas separat i Tabell 10.

**Figur 31. Summerad energianvändning, (GWh/år) basystem plus kompensatoriskt system (inklusive energianvändningen för framställning av fosfor och kväve)**





Figur 32. Summerad exergianvändning (GWh/år), bassystem plus kompensatoriskt system (inklusive energianvändningen för framställning av fosfor och kväve)

### Näringsämnen – fosfor och kväve

I Tabell 7 redovisas innehållet av fosfor och kväve som tillförs jordbruksmark via rötrest i de olika systemalternativen. I Tabell 8 visas behovet av kompensatorisk produktion av handelsgödsel fosfor respektive kväve. Energibehovet för produktion av handelsgödsel redovisas i Tabell 9. I Tabell 10 visas energibehovet för framställning av handelsgödsel (P och N) i de kompensatoriska systemen, beräknade från Tabell 8 och 9.

Tabell 7. Fosfor och kväve som tillförs jordbruksmark via rötrest i de olika systemalternativen.

	Enhet	Köksavfalls- kvarn	Biogas- anläggning	Förbränning	Sam- rötning
P i rötrest till jord- bruksmark	ton/år	28	28	0	18
N i rötrest till jord- bruksmark	ton/år	43	163	0	37

**Tabell 8. Behovet av kompensatorisk produktion av handelsgödsel.**

	Enhet	Köksavfalls- kvarn	Biogas- anläggning	Förbränning	Samrötning
P	ton/år	0	0	28	10
N	ton/år	121	0	163	126

**Tabell 9. Energianvändning för produktion av handelsgödsel.**

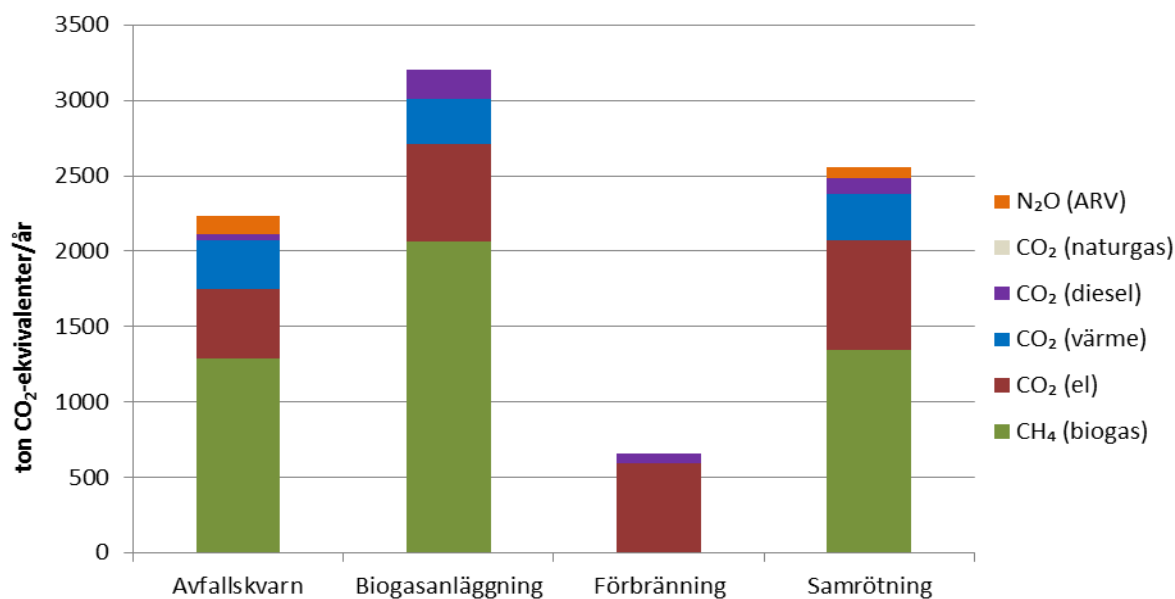
	Enhet	El	Fossil
P	kWh/(kg P)	-2,3	-6,2
N	kWh/(kg N)	-0,9	-13,8

**Tabell 10. Energianvändning för framställning av handelsgödsel i de kompensatoriska systemen.**

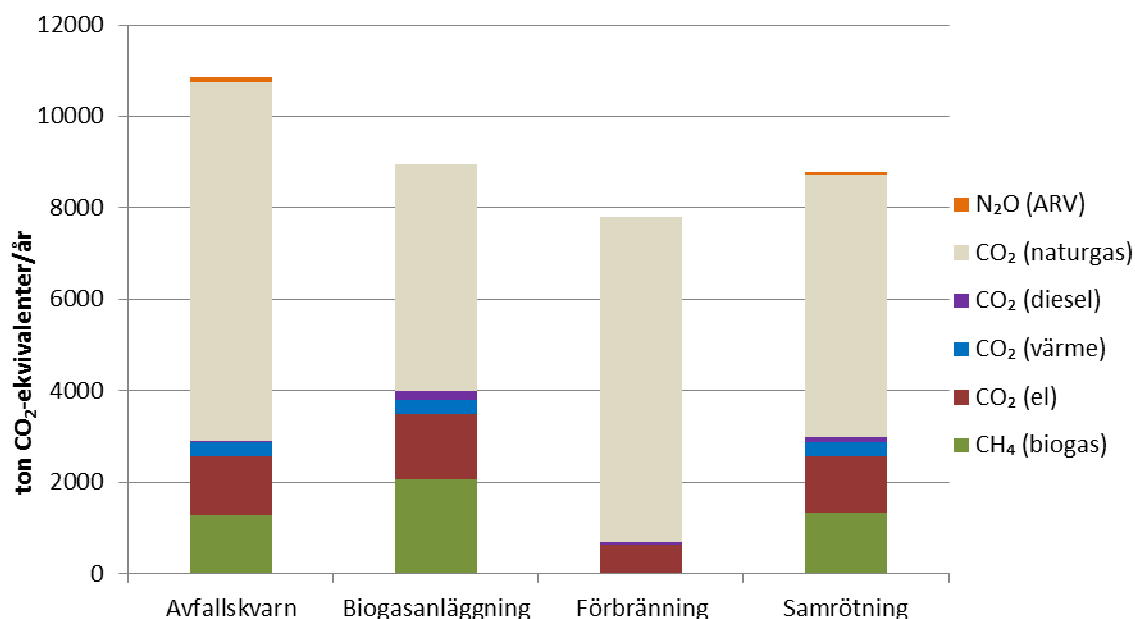
	Enhet	Köksavfalls- kvarn	Biogas- anläggning	Förbränning	Samrötning
El	GWh/år	-0,1	0	-0,2	-0,1
Fossil	GWh/år	-1,7	0	-2,4	-1,8

### Utsläpp av växthusgaser

I figurerna nedan redovisas utsläpp av växthusgaser i bassystemet (Figur 33) och det totala systemet (bassystemet plus det kompensatoriska systemet) (Figur 34). Den kompensatoriska användningen av naturgas svarar för merparten av utsläppen från det totala systemet.



Figur 33. Totala utsläpp av växthusgaser (ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/år), bassystem.



Figur 34. Totala utsläpp av växthusgaser (ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/år), bassystem plus kompensatoriskt system.

## Kostnader

Kostnadsberäkningarna baseras på de substansflöden som beräknats för de fyra systemalternativen.

Beräkningarna avser insamling och transport till rötningsanläggning eller förbränningsanläggning, behandling (rötning inklusive eventuell förbehandling) samt transport till jordbruk eller deponi.

Kostnaderna för fastigheterna avser installation och drift av avfallskvarnar, vilken tidigare beräknats till 850 kr/år, hushåll (kapitalkostnader och driftkostnader)(Göteborgs stad 2011). Installation av avfallskvarnar ger en total årskostnad på 78 Mkr.

För alternativ Biogas och Samrötning tillkommer kostnader för bl.a. separat hantering av bioavfall inom fastigheten. Denna kostnad har inte beräknats.

Insamling och transport till behandlingsanläggning har beräknats av Kretsloppskontoret, Göteborg till en kostnad på 2 800 kr/ton, för hämtning av matavfall varje vecka. I förbränningsalternativet antas hämtningen av det blandade avfallet ske var fjortonde dag till en total kostnad av 510 kr/ton. I förbränningsalternativet har behandlingkostnaden för hushållsavfall angetts till 685 kr/ton. I samrötningensalternativet förbränns rejektet till samma kostnad 685 kr/ton (Göteborgs stad 2011, muntlig kontakt).

För rötning har den totala årliga driftskostnaden beräknats till 600 kr ton inklusive förbehandling. I systemalternativ Köksavfallskvarnar är kostnaden för rötningen lite lägre, 500 kr/ton.

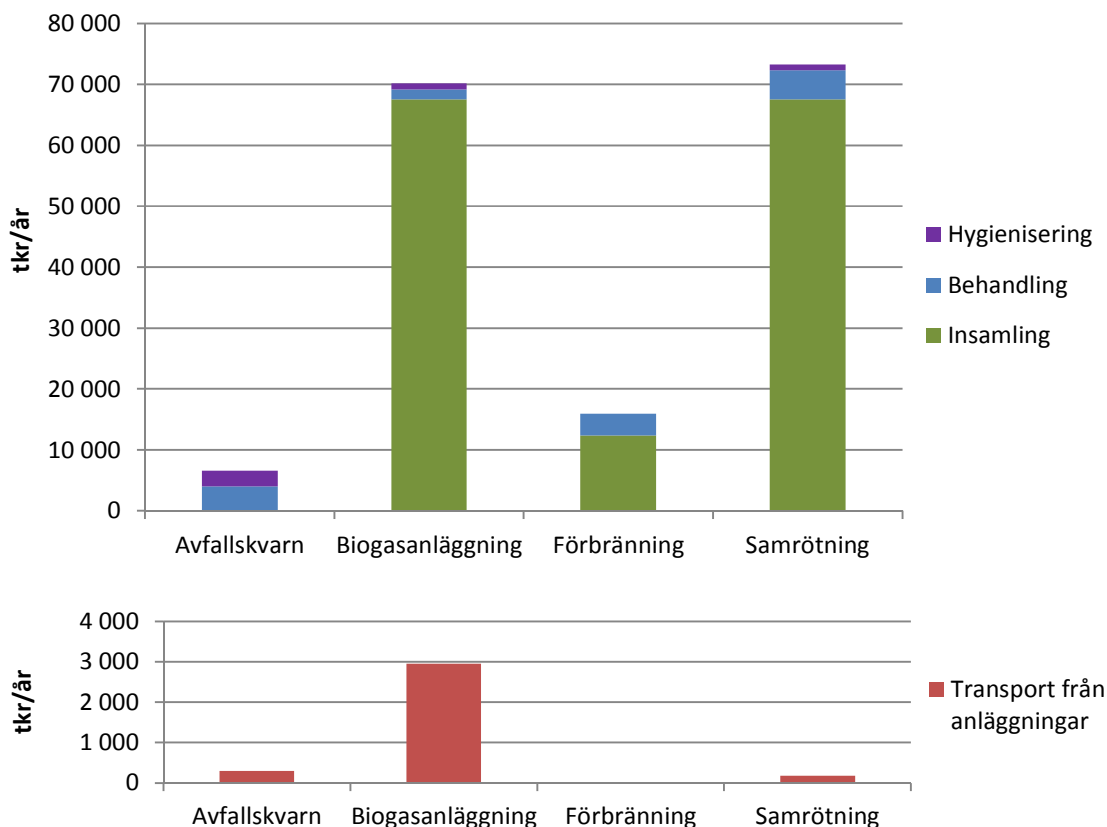
Behandlingskostnaden har reducerats med intäkten från producerad biogas som värderats till 0,44 kr/kWh (SÖRAB 2009b). Producerad värme har värderats på samma sätt och intäkten reducerar behandlingkostnaden. Transportkostnaderna är små jämfört med övriga kostnader.

Indata till kostnadsberäkningarna redovisas i Tabell 11.

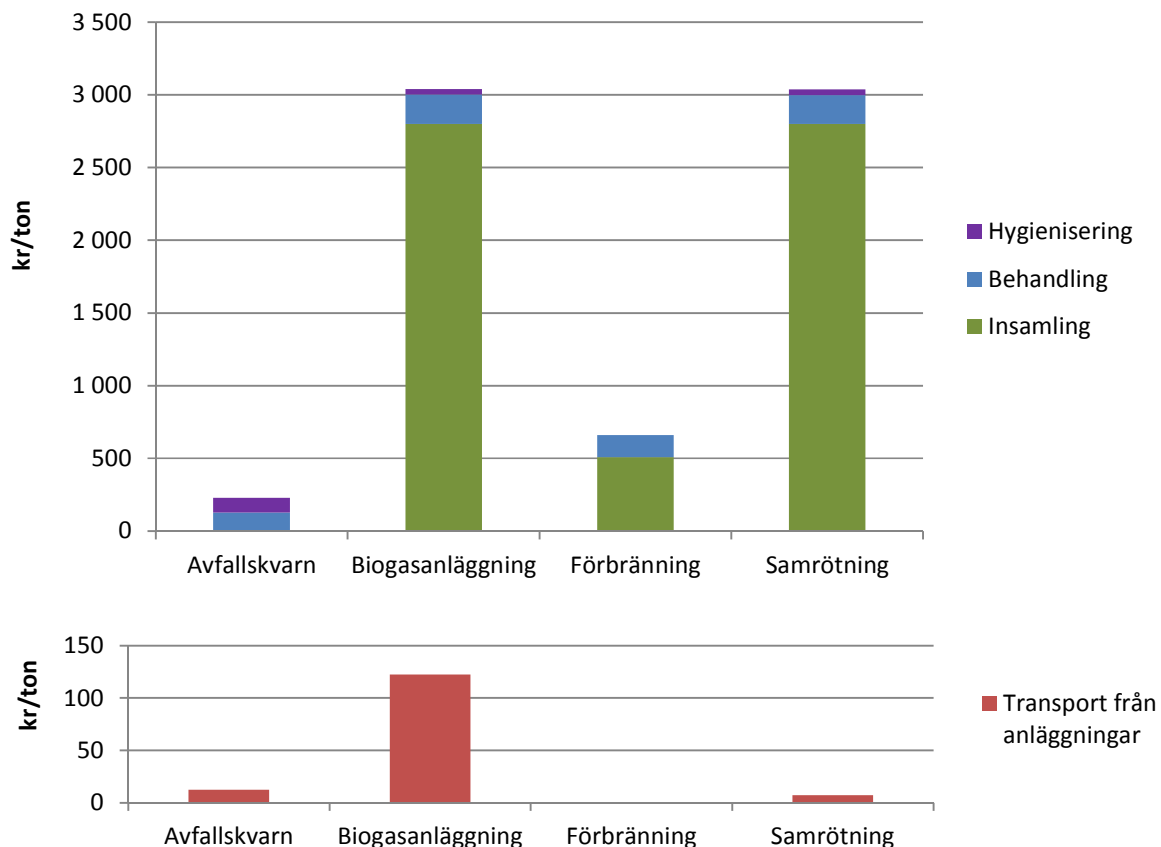
**Tabell 11. Kostnadsindata som använts för beräkningarna.**

<b>Komponent</b>	<b>kr/ton</b>	<b>kr/st, år</b>
Förbränning av hushållsavfall	685	
Samrötning av bioavfall på Ryaverket	500	
Separat bioavfallsrötning	600	
Hygienisering investering	112	
Hygienisering drift	20	
Insamling & transport av blandat avfall, 2 veckor	510	
Insamling & transport av bioavfall, 1 veckas intervall, inkl bruna påsar	2800	
Transport till åkermark 210 km	40	
Köksavfallskvarnar		850

Årskostnaden för systemalternativen redovisas i Figur 35 och årskostnaden per ton matavfall redovisas i Figur 36. Årskostnaderna för behandling av matavfallet antingen genom rötning eller genom förbränning är reducerade med intäkten från den energi som produceras. Intäkten varierar mellan 8 och 14 miljoner kr per år. Transportkostnaderna särredovisas då de är små i sammanhanget.



Figur 35. Årskostnad (tkr/år) för hanteringen av det organiska matavfallet. Transportkostnaden avser transport till åkermark.



Figur 36. Årskostnad (kr/ton) för hanteringen av det organiska matavfallet.

## Kommentarer

Kostnadsberäkningarna är baserade på dagens kostnader och framtida mängder. Kostnaderna för att hantera bioavfallet är den upphandlade kostnad som Göteborgs kommun erlägger till de företag som hanterar bioavfallet. Detta innebär att kostnaden är en nettokostnad för kommunen och att den sett ur företagets synpunkt innehåller både kostnader och intäkter. Till exempel har företagen kostnader för att samla in bioavfall, röta och producera biogas men också intäkter från försäljning av biogas.

Insamlingen av bioavfallet har förutsatts ske varje vecka som också är dagens tömningsintervall. En övergång till 14-dagars tömning skulle minska kostnaderna avsevärt, men genom att dagens kostnad är en nettokostnad och inte uppdelad på de olika momenten, är det svårt att säga hur mycket kostnaderna skulle minska. Den del av hanteringskostnaden som avser hämtning borde kunna minska med upp till 50%.

## Osäkerheter och känslighetsanalyser

### Hur mycket bioavfall samlas in?

Mängden biologiskt hushållsavfall per person har tagits från Göteborgs avfallsplan A2020 (Göteborgsregionens kommunalförbund 2010). Där anges en specifik mängd bioavfall per person och år till 93,6 kg/p, år (ursprungligen från Vukicevic et al 2001). Andra källor anger något annorlunda värden. I en studie, baserad på plockanalyser av hushållsavfall (RVF 2005) anges resultaten: *"En person i ett genomsnittligt hushåll genererar 4,5 kg avfall per vecka. Av detta är 1,4 kg producentansvarsmaterial, 1,9 kg matavfall och 1,2 kg resterande avfall som består mest av blöjor, trädgårdsavfall och övrigt."* För matavfallet blir detta 99 kg/person, år (RVF Utveckling, 2005).

Ett antagande om något större mängd insamlat matavfall påverkar de absoluta värdena för energi och substanser, men knappast jämförelsen mellan systemalternativen.

### Hur påverkas resultaten av val av förbehandlingsteknik?

I Tabell 12 visas förändringen för systemalternativ Biogas avseende återföring av näringsämnen, produktion av energibärare samt energianvändning för det fall att förbehandlingsanläggningen ger 38 % rejekt, dvs. samma som för alternativ Samrötning. I grundantagandena har ett rejekt om 5 % antagits. Rimligheten i antagandena diskuteras i Bilaga 2.

**Tabell 12. Förändringar för systemalternativ Biogas om förbehandlingen ger 38 % rejekt i stället för grundantagandet 5 %.**

	Enhet	5 %	38 %
<b>Rötrest till jordbruksmark</b>			
P	ton/år	28	18
N	ton/år	163	107
<b>Produktion av energibärare</b>			
Värme	GWh/år	1,6	12,3
El	GWh/år	0,2	1,8
Biogas	GWh/år	29	19
<b>Energianvändning</b>			
Värme	GWh/år	-1,7	-1,5
El	GWh/år	-3,2	-3,5
Biogas	GWh/år	-2,0	-1,7
Diesel	GWh/år	-0,7	-0,6
<b>Utsläpp av koldioxid</b>			
Utsläpp av koldioxid	ton/år	3201	2484

Biogassystemet producerar energibärare ungefär som system Samrötning. Återföring av fosfor blir också densamma. Största skillnaden blir återföringen av kväve där Biogassystemet återför mest (beroende på att rötresten inte avvattnas).

### Hur är matavfallet sammansatt?

Enligt en dansk undersökning (Lund Hansen et al 2007) har rejektet från en skruvpress väsentligt högre fosforinnehåll än den fraktion som går till rötning (se Bilaga 2). Enligt denna undersökning innehåller rejektet hela 59 % av inkommande fosfor. Detta kan ha flera förklaringar – en av dem kan vara att köttben som innehåller mer fosfor än övriga fraktioner sorteras bort i förbehandlingen. Större köttben och vissa andra organiska produkter kan inte malas ned i en köksavfallsquvarn, men skulle kunna hamna i de bruna påsarna.

Det har i studien antagits att försumbara mängder större köttben läggs i de bruna påsarna, och att de inkommande fosforflödena till de studerade behandlingsanläggningarna kan jämföras. För detta antagande talar:

- att utbudet av kött i butikerna till största delen är halvfabrikat eller utskurna köttprodukter, och att andelen ben i matavfallet torde vara låg;
- att större köttben troligen inte läggs i den bruna påsen utan i blandat avfall. I flera kommuner är det inte tillåtet (rekommenderat) att lägga köttben i den bruna påsen.

I denna rapport har antagits att rejektet och acceptet har samma fosforhalter. Om de danska resultaten skulle tillämpas skulle systemalternativ Samrötning leverera 20 %

mindre fosfor till jordbruket än vad som angivits i resultatavsnittet (samt något mindre kväve och kalium).

### Val av marginalet?

För elanvändningen har s.k. marginalet antagits (se Avsnitt 3 'Antaganden för beräkning av växthusgaser'). Detta är en rimlig ansats då man avser att studera effekter av förändringar i elsystemet till följd av till exempel ett investeringsbeslut. På detta sätt har man också tydligt isolerat orsak-verkan-sambandet för just den förändring vars effekt man är intresserad av att studera. Beroende på vilka antaganden man gör angående framtida elanvändning/elproduktion blir det relativt stora effekter på koldioxidutsläppen. Vid våra beräkningar har 200 g CO<sub>2</sub>/kWh antagits då detta motsvarar utfallet för den omvärldsutveckling som vi i nuläget håller för mest trolig, med bland annat relativt höga priser på utsläpp av koldioxid i framtiden. Men på grund av de stora variationerna i de beräknade utsläppskoefficienterna för el har också en känslighetsanalys gjorts där 700 g CO<sub>2</sub>/kWh antagits. Detta motsvarar istället en omvärldsutveckling med relativt låga priser på koldioxid framöver. I Tabell 13 framgår skillnaden mellan de två antagandena beträffande de totala utsläppen av växthusgaser från de olika systemalternativen (d.v.s., även metan- och lustgasutsläpp ingår, men ökningen beror endast av skillnaden i koldioxidutsläpp mellan de två olika antagandena beträffande marginalet).

**Tabell 13. Utsläpp av växthusgaser med grundantagandet för marginalet (200 g CO<sub>2</sub>/kWh) respektive det alternativa antagandet (700 g CO<sub>2</sub>/kWh).**

	Enhet	KAK	Biogas	Förbrän.	Samrötn.
200 g CO <sub>2</sub> /kWh	ton/år	2235	3201	661	2555
700 g CO <sub>2</sub> /kWh	ton/år	3386	4803	2137	4358
Ökning	ton/år	1152	1603	1476	1803

Ökningarna av utsläppen av växthusgaser vid ett antagande om annan marginaletsammansättning är betydande för samtliga systemalternativ. I absoluta tal är ökningen störst för systemalternativ Samrötning, medan den procentuella ökningen är störst för systemalternativ Förbränning.

### Hur stor andel av matavfallet går vidare till biologisk behandling vid Ryaverket?

Stor osäkerhet föreligger i fördelningen av det organiska materialet på reningsverket i systemalternativ Köksavfallsquvarnar, vilket påverkar resultatet. Skulle en större andel gå till biosteget så minskar inte bara biogasproduktionen. Energianvändning och kapacitetsutnyttjande i vattenlinjen på reningsverket ökar också.

Grundantagandet är att 25 % av inkommande flöde av matavfall, efter galler, går vidare till den biologiska behandlingen. I känslighetsanalysen har även antagandena 5 respektive 50 % undersökts (Tabell 14).



**Tabell 14. Förändringar för systemalternativ Köksavfallskvarn om 5 % eller 50 % av matavfallet går vidare till den biologiska behandlingen i stället för grundantagandet 25 %.**

	Enhet	5 %	25 %	50 %
<b>Rötrest till jordbruksmark</b>				
P	ton/år	28	28	28
N	ton/år	54	43	29
<b>Produktion av energibärare</b>				
Värme	GWh/år	1,6	1,6	1,6
El	GWh/år	0,2	0,2	0,2
Biogas	GWh/år	21	18	15
<b>Energianvändning</b>				
Värme	GWh/år	-2,3	-1,8	-1,2
El	GWh/år	-2,8	-2,3	-1,7
Biogas	GWh/år	-0,4	-0,4	-0,3
Diesel	GWh/år	-0,1	-0,1	-0,1
<b>Utsläpp av växthusgaser</b>				
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	ton/år	2609	2235	1767

Resultaten visar ökad återföring av kväve till jordbruksmark samt ökad biogasproduktion när mindre andel (5 %) går vidare till biologisk behandling. Samtidigt är energianvändningen liksom utsläppen av växthusgaser något högre.

### Hur mycket rötrest kommer att återföras till jordbruket?

Bland förutsättningarna för studien finns att rötresten från Ryaverket kan användas i jordbruket. Så är inte fallet idag. Problematiken diskuteras i Bilaga 2. Om rötresten från Ryaverket inte förs till jordbruk, innebär detta att Biogasalternativet framstår som det enda systemalternativ som har möjlighet att återföra näringsämnen till jordbruket.

### Hur påverkar transportavståndet till rötningsanläggning i Samrötningsalternativet?

Det är i dagsläget inte klarlagt att slurryn från förbehandlingsanläggningen vid Marieholm kommer att transporteras till Ryaverket. Om slurryn i stället transporteras 200 km till annan rötningsanläggning ökar energiåtgången för transporterarna enligt Tabell 15.

**Tabell 15. Förändringar för systemalternativ Samrötning om transportavståndet från förbehandling till rötningsanläggning är 200 km istället för 12 km.**

	Enhet	12 km	200 km
<b>Energianvändning</b>			
Värme	GWh/år	-1,7	-1,7
El	GWh/år	-3,6	-3,6
Biogas	GWh/år	-1,1	-1,9
Diesel	GWh/år	-0,4	-0,6
<b>Utsläpp av växthusgaser</b>			
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	ton/år	2555	2625

Resultaten visar att energianvändningen för transporter är liten i förhållande till andra användningar och att transportavstånden alltså har liten betydelse för val av system.

### **Blandat avfall istället för naturgas vid produktion av värme?**

Grundantagandet är att värme, i såväl bas- som kompensatoriskt system, produceras med naturgas, t.ex. vid Rya gaskombiverk. Ett alternativ är att värme produceras med blandat avfall, t.ex. vid Sävenäs avfallskraftvärmeverk.

Med antagande att värmeverdet för blandat avfall är 10,9 MJ/kg (Renova, 2011) har behovet av blandat avfall i de olika systemalternativen beräknats med ORWARE-modellen (på motsvarande sätt som vid förbränning av bioavfall). Vidare har det antagits att utsläppen av koldioxid med fossilt ursprung uppgår till 34 kg/GJ vid förbränning av blandat avfall (Avfall Sverige, 2012, Appendix V - medelvärde av prover från Renova).

Som framgår av Tabell 16 leder utbytet i sig inte till några väsentliga förändringar av utsläppen av växthusgaser, vilket förklaras av att värmeverkningsgraden antas vara 0,75 vid avfallskraftvärmeverket, jämfört med 1,25 vid gaskombiverket. Om man däremot även tar hänsyn till undvikna utsläpp av växthusgaser, på grund av att avfallet förbränns istället för att läggas på deponi, blir effekten påtaglig - större ju större behovet av kompensatorisk värmeproduktion är, d.v.s. störst för systemalternativen 'KAK' och 'Biogas'.

Undvikna utsläpp är beräknade med ORWARE-modellens deponimodul till 0,24 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/ton blandat avfall som inte deponeras (Mattias Bisaillon, muntlig kontakt). Deponiprestanda antas motsvara en förhållandevis bra deponi i europeiskt perspektiv:

- 70 % insamlingsgrad för metan (av genererad metanmängd). Av detta facklas 40 % medan 60 % förbränns för elproduktion (nyttan av detta inräknat i ovanstående siffra).
- 30 % av icke-insamlad metan oxideras i deponins täckskikt.

**Tabell 16. Utsläpp av växthusgaser (ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/år) från de fyra systemalternativen med antaganden om att värmebehovet tillgodoses antingen genom förbränning av fossil naturgas (grundantagande - se även Figur 34), eller förbränning av blandat avfall. För det senare fallet visas utsläppen både med och utan hänsynstagande till undvikna utsläpp från deponi på grund av att blandat avfall förbränns istället för att läggas på deponi.**

	KAK	Biogas	Förbrän.	Samrötn.
Naturgas (grundantagande)	10 856	8 962	7 797	8 796
Blandat avfall - <u>utan</u> undvikna utsläpp från deponi medräknade	10 375	8 483	7 797	8 491
Blandat avfall - <u>med</u> undvikna utsläpp från deponi medräknade	7 424	5 537	7 797	6 679

### Kommentarer till känslighetsanalyserna

- Hur mycket bioavfall som samlas in påverkar inte nämnvärt jämförelserna mellan systemen.
- Valet av förbehandlingsteknik har stor inverkan på energigenereringen i alternativ Biogas. Om förbehandlingen vore av samma typ som i alternativ Samrötning skulle produktionen av biogas sjunka från 29 till 19 GWh/år (medan produktionen av el och värme skulle öka).
- Matavfallets sammansättning har ingen stor betydelse för jämförelserna. Om däremot rejektet från förbehandlingen skulle innehålla mer fosfor än som antagits, skulle alternativ Samrötning leverera 20 % mindre fosfor till jordbruket.
- Om större koldioxidutsläpp från produktion av marginalet antas (700 i stället för 200 g CO<sub>2</sub>/kWh), ökar koldioxidutsläppen mest i systemalternativ Samrötning (högst elanvändning) och minst i Köksavfallskvagnar (lägst elanvändning). Den procentuella ökningen är störst för systemalternativ Förbränning.
- Hur matavfallet behandlas i Ryaverket har betydelse i systemalternativ Köksavfallskvagnar. Om 5 % av inkommande matavfall går vidare till biologisk behandling istället för 25 % som antagits, skulle energianvändningen vid verket öka från 4,9 GWh/år till 5,8 GWh/år. Biogasproduktionen skulle öka från 18 till 21 GWh/år. Om i stället 50 % av inkommande matavfall går vidare till den biologiska behandlingen, skulle energianvändningen minska till 3,6 kWh/år. Biogasproduktionen skulle minska till 15 GWh/år. Vid 5% vidaregående flöde blir rangordningen för biogasproduktionen Biogasalternativet (högst biogasproduktion) > Köksavfallskvagn > Samrötning > Förbränning (ingen biogasproduktion). Vid 50% vidaregående flöde blir rangordningen Biogasanläggning > Samrötning > Köksavfallskvagn > Förbränning.
- Nyttiggörandet av näringsämnen förutsätter att rötresten verkligen kommer till användning i jordbruket. Om så inte är fallet utan rötresten används till anläggningsjord, kan man tillgodoräkna sig 10 % av näringen som ersättning för mineralgödsel (Göteborgs stad 2007).
- Transportavståndet från förbehandlingsanläggning till rötningsanläggning påverkar endast marginellt genom ökad användning av diesel.

- Om, i det kompensatoriska systemet, fast avfall används för generering av el och värme i stället för naturgas, skulle betydelsen av undvikna utsläpp av växthusgaser från europeiska deponier blir stor. Systemalternativet Köksavfallsquarn skulle släppa ut 32% mindre växthusgaser (som CO<sub>2</sub>-ekvivalenter), Biogasalternativet 38% mindre och Samrötningsalternativet 24% mindre, i det kompensatoriska systemet.

## 6 Diskussion – jämförelser mellan systemalternativen

### Energiomsättning i bassystemet

Störst mängd biogas produceras i systemalternativ Biogas, ungefär 1200 kWh per ton insamlat matavfall. I systemalternativen Avfallsquarn och Samrötning produceras knappt 800 kWh per ton, dvs. en tredjedel mindre än i Biogasalternativet, beroende på att en del av det organiska materialet (COD) går förlorad i avloppsreningen. I Förbränningsalternativet produceras ingen biogas, däremot värme och el. Nettoproduktionen av el är ganska liten beroende på att det också åtgår el i processen.

Systemalternativen genererar alltså olika slags energi – biogas, el och värme. För att kunna jämföra alternativen fullt ut används här begreppet exergi, som är ett mått på energins kvalitet (hur mycket mekaniskt arbete som potentiellt kan utvinnas). El och biogas har högre kvalitet än t.ex. värme. Systemalternativ som producerar biogas kommer därför bättre ut i en jämförelse än de som producerar värme. Exergimässigt är systemalternativ Biogas bäst medan systemalternativ Förbränning kommer sist.

### Energiomsättning i det totala systemet (bassystem plus kompensatoriskt system)

Energianvändningen i det kompensatoriska systemet är stor för alla systemalternativen. Störst är det kompensatoriska behovet för systemalternativ Köksavfallsquarnar, där 35 GWh/år värme och biogas måste produceras respektive ersättas med naturgas. I alternativ Förbränning måste utebliven biogasproduktion ersättas med naturgas (32 GWh/år).

### Växthusgaser

Utsläppen av växthusgaser har beräknats för bassystemet och det totala systemet (bassystemet plus det kompensatoriska systemet). I det totala systemet svarar användningen av naturgas i det kompensatoriska systemet för 60-90% av utsläppen av växthusgaser. Utsläppen är högst för systemalternativ Köksavfallsquarnar, där såväl el som värme och biogas måste ersättas kompensatoriskt. Skillnaderna mellan övriga tre systemalternativ är små.

Om, i det kompensatoriska systemet, fast avfall används för generering av el och värme i stället för naturgas, skulle systemalternativen Köksavfallsquarn, Biogas och Samrötning komma betydligt bättre ut jämfört med Förbränningsalternativet.

## Näringsämnen

### Fosfor

Nästan all tillgänglig fosfor i systemalternativen Köksavfallsquarnar och Biogas kan nyttiggöras i jordbruk (med reservationer för om användning av avloppsclam i jordbruket accepteras). Endast en mindre del blir aska och slagg. I Förbränningsalternativet hamnar all fosfor i aska och slagg, och antas här inte kunna användas i jordbruket. I systemalternativ Samrötning kan ca 62 % av fosfor användas i jordbruk (med samma reservation som ovan). Anledningen är att en stor mängd fosfor avskiljs i förbehandlingsanläggningen och går till förbränning. Att märka är att en annan typ av förbehandling har antagits för Biogasalternativet, med lägre förluster. Om samma förbehandling antas som för Samrötningalternativet, skulle de båda systemalternativen komma likvärdigt ut avseende fosfor (se Avsnitt 5).

### Kväve

Systemalternativ Biogas kan återföra nästan allt kväve till jordbruksmark genom att rötresten inte avvattnas. I systemalternativ Köksavfallsquarnar och Samrötning förs en stor andel av kvävet till den biologiska behandlingen, varifrån det antingen avgår till luften (genom nitrifikation/denitrifikation) eller leds ut till recipienten. I systemalternativ Förbränning återvinns inget kväve.

### Kalium

Resultaten är ungefär de samma som för kväve, med den skillnaden att en större mängd kalium släpps ut till vatten via avloppsreningsverket eller via rökgasreningen efter förbränningen.

### Svavel

Resultaten för svavel överensstämmer till stor del med resultaten för fosfor. Med gjorda antaganden kan systemalternativen Köksavfallsquarnar och Biogas föra ut mest svavel till jordbruket.

## Oönskade ämnen

### Kadmium och koppar

Nästan all tillgänglig kadmium och koppar följer rötresten ut till jordbruk i systemalternativen Köksavfallsquarnar och Biogas. I Förbränningsalternativet förs inga metaller till jordbruket. I Samrötningalternativet förs två tredjedelar av tillgängliga metaller till jordbruket.

## Övriga ämnen

Utöver de studerade metallerna finns en mängd oönskade ämnen i framförallt avloppsslam men också i matavfall – andra metaller, organiska föreningar, smittämnen samt medicinrester. Beroende på bl.a. vattenlöslighet når en del av dessa ämnen recipienten medan andra når jordbruket via rötresten. Systemalternativ Förbränning ger i detta avseende ett överlägset skydd genom att alla ämnen förbränns. Smittskyddet tillgodoses i de tre andra alternativen genom hygienisering.

## Kostnader

Med de antaganden som gjorts avseende kostnader för behandling och transporter framstår systemalternativ Köksavfallskvarnar som det i särklass dyraste systemet för de hushåll som installerar kvarnar. Årskostnaden för en kvarn är hög i jämförelse med andra kostnader. Om man enbart jämför stadens kostnader kommer däremot systemalternativ Köksavfallskvarnar ut som det i särklass billigaste alternativet. Av de tre övriga systemen framstår Förbränningsalternativet som det klart billigaste. Man kan också notera att kostnaden för insamling är betydligt högre än kostnaden för behandling, oavsett behandlingsmetod.

Kostnaden för transport av rötresten till jordbruk är låg i jämförelse med andra kostnader. Den högsta transportkostnaden har systemalternativ Biogas, där betydligt större volymer rötrest transporteras.

## 7 Slutsatser

*Systemalternativ Köksavfallskvarnar* kan leverera nästan all inkommande fosfor och svavel till jordbruk, men bara en mindre del av kvävet och kaliumet. Metallerna kadmium och koppar hamnar också i jordbruket. Kostnaderna är i jämförelse mycket höga, om man inkluderar hushållens kostnader för att installera och driva kvarnar. Alternativet kan leverera förhållandevis mycket biogas, men inte lika mycket som Biogasalternativet.

*Systemalternativ Biogas* har möjlighet att leverera nästan alla inkommande näringsämnen (fosfor, kväve, svavel och kalium) till jordbruket. Metallerna kadmium och koppar hamnar då också i jordbruket. Kostnaderna per ton matavfall (kostnader minus intäkter) är i paritet med systemalternativ Samrötning men betydligt högre än alternativen Köksavfallskvarnar (stadens kostnader) och Förbränning. Alternativet kan leverera mest biogas i jämförelsen (beroende på val av förbehandlingsteknik). Om man tar hänsyn till energins kvalitet (exergi), kan alternativet leverera mest exergi av alternativen (beroende på biogasens höga exergivärde).

*Systemalternativ Förbränning* kan inte leverera näringsämnen till jordbruket (vi har här antagit att askan inte används). Inga metaller förs då heller till jordbruket. Genom förbränningen destrueras också andra oönskade ämnen som organiska miljögifter och medicinrester. Kostnaderna är under en fjärdedel av de för alternativen Biogas och Samrötning. Alternativet levererar mycket värme och en del el men ingen biogas. Om man tar hänsyn till energins kvalitet (exergi) kommer alternativet sämst ut i en jämförelse.

*Systemalternativ Samrötning* kan leverera ungefär två tredjedelar av inkommande fosfor och svavel till jordbruket, och endast en mindre del kväve och kalium. För metallerna är

det också ca två tredjedelar av inkommande som förs till jordbruket. Kostnaderna är i paritet med alternativ Biogas men klart högre än för alternativ Förbränning. Alternativet kan leverera förhållandevis mycket biogas, men inte lika mycket som Biogasalternativet.



## 8 Referenser

### Litteratur

- Avfall Sverige, 2009. *Frivilligt åtagande - Kartläggning av metanförluster från biogasanläggningar 2007-2008*. Avfall Sverige.
- Avfall Sverige, 2010. *Utvärdering och optimering av metod för förbehandling av källsorterat hushållsavfall till biogasproduktion B2010:01*. Avfall Sverige.
- Avfall Sverige, 2012. *Bestämning av andel fossilt kol i avfall som förbränns i Sverige*. Rapport U2012:02. Avfall Sverige.
- Balmér, P. och D. Hellström, 2011. *Nyckeltal för reningsverk – verktyg för effektivare energianvändning*. Svenskt Vatten Rapport 2011-15.
- Biogasportalen, 2011. *BiogASFakta*. Tillgänglig: <http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/VadArBiogas/BiogASFakta>
- Bohn, I., 2010. *Utvärdering och optimering av metod för förbehandling av källsorterat hushållsavfall till biogasproduktion*, Rapport SGC 216 Svenskt Gastekniskt Center, 2010.
- Davidsson, Å., F. Pettersson och A. Bernstad, 2011. *Förstudie av olika system för matavfallsutsortering med avfallskvarnar*. Rapport SGC 231, Svenskt Gastekniskt Center.
- Eriksson, Y. och D. Holmström, 2010. *Förbehandling av matavfall med skruvpress. Utvärdering av effektiviteten i förbehandlingsanläggningen på NSR i Helsingborg*. Lunds Universitet, Vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Examensarbetet 2010-04.
- EU, 2006. Kommissionens förordning (EG) nr 2008/2006 av den 7 februari 2006 om ändring av bilagorna VI och VIII till Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1774/2002 när det gäller bearbetningskrav för biogas- och komposteringsanläggningar och krav för naturgödsel. Europeiska unionens officiella tidning.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *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.
- Gode, J., F. Martinsson, L. Hagberg, A. Öman, J. Höglund och D. Palm, 2011. *Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Anläggnings- och förbränningsteknik 1183, Värmeforsk
- Göteborgs stad, 2007. *Systemstudie Avlopp*. Kretsloppskontoret, Göteborgs Stad.
- Göteborgs stad, 2008. *Befolkningsprognos PR2008 - Kommunprognos för Göteborg 2008-2025*. Perspektiv Göteborg 3-2008, Göteborgs Stad.
- Göteborgs stad, 2011. *Köksavfallskvarnar i Göteborg - Konsekvenser av införande*. Kretsloppskontoret, Göteborgs Stad.
- Göteborgsregionens kommunalförbund, 2010. *A2020 - Avfallsplan för Göteborgsregionen*.



Hanæus J., A. Hedström, D. Hellström och M. Bäckström, 2003. *Exergianalys som verktyg inom VA-tekniken*. VA-Forsk rapport 2003-20

Hellström, D., 1998. *Exergy analyses: A comparison of various treatment alternatives for nutrient removal*. I: *Chemical Water and Wastewater Treatment*, Springer, Berlin, s. 313-324.

Hellström, D., 2003. *Exergy analysis of nutrient recovery processes*. *Water Science and Technology*, Vol. 48, s. 27-36.

IVL, 2009. *Miljövärdering av el ur systemperspektiv*. IVL Rapport B1822, IVL - Svenska Miljöinstitutet.

Jönsson, H., A. Baky, U. Jeppsson, D. Hellström och E. Kärrman, 2005. *Composition of urine, faeces, greywater and bio-waste for utilisation in the URWARE model*. Urban Water rapport 2005:6, Chalmers, Göteborg.

Lund Hansen, T., J. la Cour Jansen, Å. Davidsson och T. Højlund Christensen, 2007. *Effects of pre-treatment technologies on quantity and quality of source-sorted municipal organic waste for biogas recovery*. *Waste Management*, Vol. 27, s. 398-405.

Norin, E., 2007. *Alternativa hygieniseringsmetoder*. Rapport SGC 179, Svenskt Gastekniskt Center.

Renova, 2011. *Miljörapport 2010 för avfallsvärmeverket och sorteringsanläggningen inklusive återvinningscentralen vid Sävenäs*. Renova AB.

RVF Utveckling, 2005. *Trender och variationer i hushållsavfallet sammansättning*. RVF Utveckling 2005:05, RVF, Malmö.

Samuelsson, G., 2011. *Matavfallets klimatpåverkan vid energiutvinning - En systemstudie om matavfallets klimatpåverkan ur lokalt och globalt perspektiv i Göteborg*. Examensarbete, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet.

Sköldberg, H. och T. Unger, 2008. *Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion - Modellberäkningar*. Elforsk rapport 08:30, Elforsk AB.

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

Svensk Energi, 2011. *Vägledning angående ursprungsmärkning av el (2011-08-29)*.

SÖRAB, 2009a. *Biologisk behandling av organiskt matavfall med hjälp av avfallskvarnar (BOA) – Delrapport Transporter*. Käppalaförbundet och SÖRAB.

SÖRAB, 2009b. *Biologisk behandling av organiskt matavfall med hjälp av avfallskvarnar (BOA) – Delrapport Behandling*. Käppalaförbundet och SÖRAB.

Truedsson, C., 2010. *Utvärdering av förbehandlingsanläggning för matavfall*. Examensarbete, Biologiska institutionen, Lunds universitet.

Tumlin, S., 2011. *Carbon Footprint för Ryaverket 2010*. Gryab rapport 2011:9, Gryab.

Vukicevic, S., L. Retzner, T. Törner och T. Olsson, 2001. *Karakterisering av avfallsflödet från svenska hushåll*. Reforsk FoU 155, Stockholm/Helsingborg.

Wall G. 1993. *Exergilära – handledning för självstudier*, egen utgivning.

Westling, K., 2011. *Lustgasemissioner från avloppsreningsverk - en litteraturstudie*. Rapport B1977, IVL - Svenska Miljöinstitutet.

### **Muntliga kontakter**

Bisaillon Mattias, Profu, 2012. Intervjuad av Hans Bertil Wittgren.

Detterfelt, Lia, Renova, 2011. Intervjuad av Magnus Arnell.

Fredriksson, Ola, Gryaab, 2011. Intervjuad av Magnus Arnell.

Hagskuld, Gunnar, Uppsala Vatten, 2011. Intervjuad av Jennifer McConville.

Jönsson, Catarina, Driftledare Biotec, SYSAV, Malmö, 2011. Intervjuad av Jennifer McConville.

Leksell, Niklas, driftchef Växtkraft Västerås, 2011. Intervjuad av Frida Pettersson.

Göteborgs Stad. Kretsloppskontoret, 2011.

Samuelsson, Göran, 2011. Examensarbetare på Renova. Intervjuad av Magnus Arnell.

Sigurdsson, Tore, Kristianstad Biogas, 2011. Intervjuad av Jennifer McConville.

Till, Camilla, Borås Energi och Miljö, 2011. Intervjuad av Jennifer McConville.

(några av kontakterna är tagna vid flera tillfällen och inte specifikt refererade till i texten).

## Figurer och tabeller

### Figurer

Figur 1. Tillämpad princip för hygienisering enligt Norin (2007).

Figur 2. Systemalternativ Köksavfallsquvarnar – flöden som ingår i beräkningarna.

Figur 3. Systemalternativ Biogas – flöden som ingår i beräkningarna.

Figur 4. Systemalternativ Förbränning – flöden som ingår i beräkningarna.

Figur 5. Systemalternativ Samrötning – flöden som ingår i beräkningarna.

Figur 6. Principskiss för förbehandlingsanläggningen i systemalternativ Samrötning.

Figur 7. Bioavfallsflöden i systemalternativ Köksavfallsquvarn (ton TS per år).

Figur 8. Bioavfallsflöden i systemalternativ Biogas (ton TS per år) (med 5 % rejekt).

Figur 9. Bioavfallsflöden i systemalternativ Förbränning (ton TS per år).

Figur 10. Bioavfallsflöden i systemalternativ Samrötning (ton TS per år).

Figur 11. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Köksavfallsquvarn (kWh/ton matavfall).

Figur 12. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Biogas (kWh/ton matavfall) (med 5 % rejekt).

Figur 13. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Förbränning (kWh/ton matavfall).

Figur 14. Energiomsättning i bassystemet för systemalternativ Samrötning (kWh/ton matavfall).

Figur 15. Energiomsättning i bassystemet. Jämförelse mellan systemen (GWh/år).

Figur 16. Energiomsättning i bassystemet. Jämförelse mellan systemen (kWh/ton matavfall).

Figur 17. Exergiomsättning för bassystemen i de fyra systemalternativen (GWh/år).

Figur 18. Exergiomsättning för bassystemen i de fyra systemalternativen (kWh/ton matavfall).

Figur 19. Total nettoexergiomsättning i bassystemet (GWh/år).

Figur 20. Total nettoexergiomsättning i bassystemet (kWh/ton matavfall).

Figur 21. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Köksavfallsquvarnar.

Figur 22. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Biogas.

Figur 23. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Förbränning.

Figur 24. Fosforflöden (ton/år) i systemalternativ Samrötning.

Figur 25. Fosforsänkor, jämförelse mellan systemen (ton/år).

Figur 26. Kvävesänkor, jämförelse mellan systemen (ton/år).

Figur 27. Kaliumsänkor, jämförelse mellan systemen (ton/år).

Figur 28. Svavelsänkor, jämförelse mellan systemen (ton/år).

Figur 29. Kadmiumsänkor, jämförelse mellan systemen (kg/år).

Figur 30. Kopparsänkor, jämförelse mellan systemen (kg/år).

Figur 31. Summerad energianvändning (GWh/år), bassystem plus kompensatoriskt system.

Figur 32. Summerad exergianvändning (GWh/år), bassystem plus kompensatoriskt system.

Figur 33. Totala utsläpp av växthusgaser (ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/år), bassystem.

Figur 34. Totala utsläpp av växthusgaser (ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/år), bassystem plus kompensatoriskt system.

Figur 35. Årskostnad (tkr/år) för hanteringen av det organiska matavfallet.

Figur 36. Årskostnad (kr/ton) för hanteringen av det organiska matavfallet.

Figur 1:1 Kadmium/fosfor-kvoter (mg Cd/kg P) från olika undersökningar.

Figur 2:1. Rejektandel från provtagningar i Uppsala.

Figur 3:1. Några energi- och exergiflöden (kWh/pe, år) för ett tänkt reningsverk.

Figur 3:2. Några energi- och exergiflöden (som % av den totala summan för energi- respektive exergiflöde som ingår i exemplet) för ett tänkt reningsverk.

## Tabeller

Tabell 1. Innehållet av olika substanser i biologiskt hushållsavfall (beräkningar baserade på: Jönsson et al. 2005).

Tabell 2. Generering och användning av värme och el vid förbränning av bioavfall enligt ORWARE.

Tabell 3. Generering och användning av värme och el vid förbränning av fast blandat avfall vid Sävenäs (Renova 2011).

Tabell 4. Bruttoproduktion av energibärare ("nyttigheter").

Tabell 5. Kompensationsbehov av energibärare i de fyra systemalternativen.

Tabell 6. Energianvändning för kompensatorisk produktion av energibärare från naturgas.

Tabell 7. Fosfor och kväve som tillförs jordbruksmark via rötrest i de olika systemalternativen.

Tabell 8. Behovet av kompensatorisk produktion av handelsgödsel.

Tabell 9. Energibehovet för produktion av handelsgödsel.

Tabell 10. Energibehovet för framställning av handelsgödsel i de kompensatoriska systemen.

Tabell 11. Kostnadsindata som använts för beräkningarna.

Tabell 12. Förändringar för systemalternativ Biogas om förbehandlingen ger 38 % rejekt i stället för grundantagandet 5 %.

Tabell 13. Utsläpp av växthusgaser med grundantagandet för marginalel (200 g CO<sub>2</sub>/kWh) respektive det alternativa antagandet (700 g CO<sub>2</sub>/kWh).

Tabell 14. Förändringar för systemalternativ Köksavfallsquarn om 5 % eller 50 % av matavfallet går vidare till den biologiska behandlingen i stället för grundantagandet 25 %.

Tabell 15. Förändringar för systemalternativ Samrötning om transportavståndet från förbehandling till röttningsanläggning är 200 km istället för 12 km

Tabell 16. Utsläpp av växthusgaser (ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/år) från de fyra systemalternativen med antaganden om att värmebehovet tillgodoses antingen genom förbränning av fossil naturgas (grundantagande - se även Figur 34), eller förbränning av blandat avfall. För det senare fallet visas utsläppen både med och utan hänsynstagande till undvikna utsläpp från deponi på grund av att blandat avfall förbränns istället för att läggas på deponi.

Tabell 1:1. Uppskattade utsläppsmängder fosfor och kväve med bräddvatten vid införande av 20 respektive 50 % KAK (från Göteborgs stad 2011).

Tabell 2:1. Rejekt från jämförbara förbehandlingsanläggningar. (ww=våtvikt. TS=torrsubstans).

Tabell 2:2. Andelen av olika fraktioner som hamnar i rejektet från danska skruvpressanläggningar.

Tabell 3:1. Olika energiformers kvalitet (Wall 1993).

## Bilaga 1. Påverkan på andra system

### Påverkan på processer

#### Alternativ Köksavfallskvarn

Knappt 7 ton **fosfor** går vidare till biosteget vid separationen på reningsverket. Med en kemikaliedosering på 2 g Fe/g P ger det en ökad järnsulfatdosering med 38 ton/år. Det är ca 1 % av 2010 års förbrukning vilken dessutom kommer att ha ökat till 2020.

Drygt 160 ton extra **kväve** belastar reningsverket med avfallskvarnar. 65 % av detta kommer att mineraliseras och måste denitrifieras, för det åtgår 480 ton COD/år. Antagandet att 25 % av COD:n till försedimenteringen går vidare till biosteget ger vid handen 2200 ton COD/år. Om 50 % av det antas tillgängligt för denitrifikation så finns det gott och väl tillräckligt för den tillkommande kvävemängden och det medger även en besparing på 420 ton metanol för övrig denitrifikation. Det är ca 30 % av dagens förbrukning (vilken kommer att öka till 2020). Båda antagandena om 25 % COD till biosteget och 50 % tillgänglighet är behäftade med stor osäkerhet och förändringar skulle slå mycket på dessa uppskattningar.

Med en ökad slammängd på 2250 ton TS/år och en polymerförbrukning (förtjockning och slutavvattning) på 12 kg/ton TS ger det ett ökat polymerbehov på 27 ton/år vilket motsvarar 15 % av dagens förbrukning (vilken i sig kommer att öka till 2020).

#### Alternativ Biogas

Kemikalieförbrukningar. Då inget material förs till Ryaverket kommer förbrukningarna där inte att påverkas av hanteringen av bioavfallet. En separat biogasanläggning kommer med all säkerhet att ha behov av vissa kemikaliedoseringar. Vilka kemikalier som kan komma i fråga går inte att säga innan en närmare analys har gjorts på substratblandning, rötningsteknik m.m. Exempel på kemikalier som används i liknande sammanhang är, järnklorid, skumdämpare och KMB1.

Transporter. Då denna anläggning antas sakna avvattning av rötresten är mängden rötrest nästan 74 000 ton/år (jfr alt Samrötning med 4 400 ton/år) vilket ökar energiåtgången för transport till åkern från 78 MWh/år till 1,3 GWh/år dvs. drygt 16 gånger mer. Dessutom ökar energiåtgången för spridning av gödseln proportionellt lika mycket (ej med i beräkningarna). Detta ligger utanför de systemgränser som valts.

#### Alternativ Förbränning

Enligt ovan har inga detaljerade uppskattningar av förändrade förbrukningar av material eller energi gjorts. Klart är ändå att användningen av flera processrelaterade mängdberoende kemikalier som ammoniak för NO<sub>x</sub>-reduktion kommer att öka.

#### Alternativ Samrötning

Fosfor – då allt inkommande bioavfall till Ryaverket går direkt till röt-kammaren och antas följa med rötresten kommer ingen ytterligare fällningskemikalie att behövas.

Kväve – knappt 120 ton kväve per år kommer att tillföras Ryaverkets röt-kammare. Av det kommer 65 % att mineraliseras och behöva denitrifieras i vattenlinjen. Då ingen

COD återgår till vattenlinjen måste extern kolkälla i form av metanol användas. 230 ton metanol per år krävs vilket motsvarar ca 20 % av dagens förbrukning (vilken kommer att öka till 2020).

Avvattning av rötrest – produktionen ökar med ca 1400 ton TS/år. Då inkommande slurry matas direkt till röt-kammaren belastar det inte förtjockningen utan endast slut-avvattningen där polymerförbrukningen är 6 kg/ton TS. Det ger en ökad förbrukning med 8,6 ton polymer/år motsvarande under 10 % av dagens förbrukning (vilken kommer att öka till 2020).

## Påverkan på recipienterna

*Bräddning på ledningsnätet.* Från (Göteborgs stad 2011) hämtas: "Om KAK införs förväntas ingen nämnvärd ökning av brädd- och nödavlledningsvolymerna. Kväve- och fosformängderna i bräddvattnet förväntas dock öka med 1,4 respektive 1,8 % för 20 % KAK, och med 3,6 respektive 4,5 % för 50 % KAK. Tabell 1:1 visar uppskattade utsläppsmängder vid införande av KAK. Beräkningarna tar inte hänsyn till den nya styrningen vid Kodammarnas pumpstation."

**Tabell 1:1. Uppskattade utsläppsmängder fosfor och kväve med bräddvattnet vid införande av 20 respektive 50 % KAK (från Göteborgs stad 2011).**

Parameter	Årsmedelut- släpp (ton)	Utsläpp		Ökning	
		20 % KAK (ton)	50 % KAK (ton)	20 % KAK (ton)	50 % KAK (ton)
<b>Fosfor</b>	2,3	2,34	2,4	0,04	0,1
<b>Kväve</b>	16	16,2	16,6	0,2	0,6

## Påverkan på jordbruket

Påverkan på jordbruket främst avseende Cd/P-kvoter, kommenteras vidare nedan.

Röt-slammet har för alla tre alternativ med rötning antagits gå till gödselanvändning på åker.

Att sprida röt-slam från avloppsslam är omdiskuterat och sker idag endast i mycket liten omfattning vid Ryaverket. Att nå 100 % spridning till år 2020 kräver alltså en stor förändring utifrån dagens situation. Detta torde dock inte vara orimligt då Gryaab idag gör mycket stora ansträngningar för att få ut rötresten som gödning bl.a. har man certifierat röt-slammet enl. REVAQ. I flera andra kommuner t.ex. Linköping går röt-slammet till nära 100 % på åkermark.

Intervjuer visar att biogasanläggningar för matavfall som har en förbehandling som endast består av mekanisk finfördelning utan press och avskiljningssteg före rötning kräver ett sil/avskiljningssteg av rötresten för t.ex. plast efter rötningen istället. Detta ger upphov till totalt sett mindre rejekt-mängder men kräver att rötresten är mycket finfördelad. Detta är möjligt på separata rötning-anläggningar där man kan styra inkommande substrat. Vid rötning av reningsverksslam kommer röt-slammet att innehålla rest av



fibrösa material som cellulosa och hår vilket sannolikt försvårar silning alternativt ökar rejektmängderna. Det finns inga konkreta exempel på detta men enbart sönderdelande förbehandlingstekniker lämpar sig troligen sämre vid samrötning med avloppsslam.

### Kadmium-fosfor-kvoter

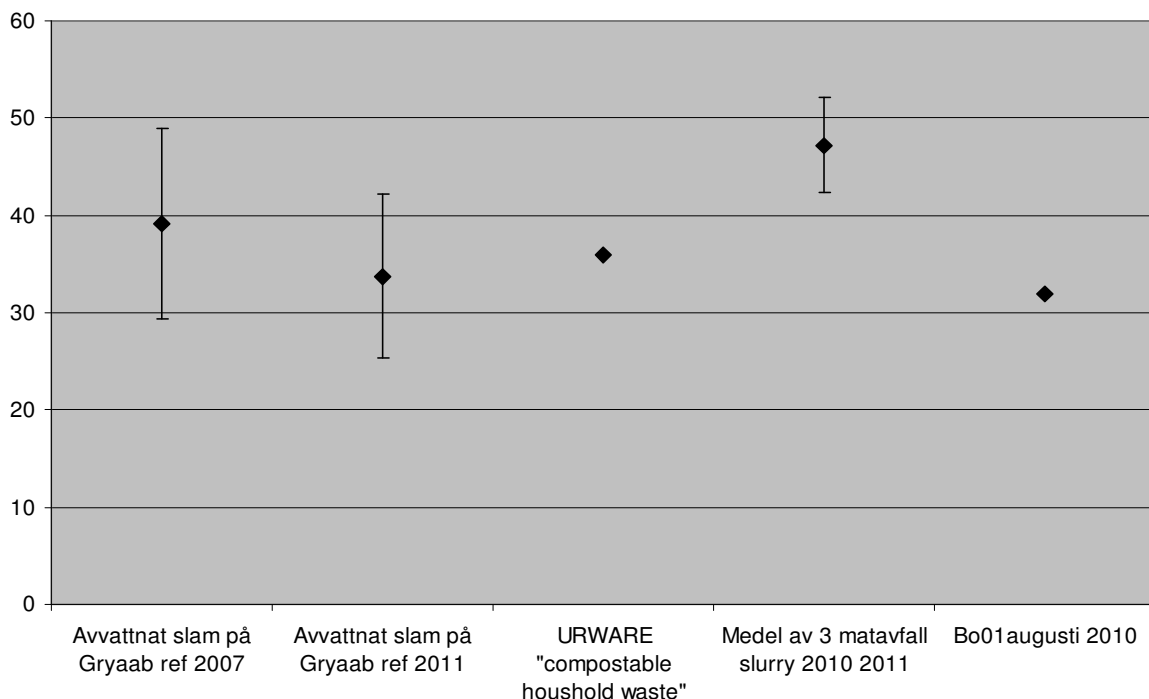
Det finns få undersökningar av tungmetallinnehållet i matavfall. Det mest använda nyckeltalet för slamkvalitet är kvoten kadmium/fosfor. Relativt samstämmiga uppgifter visar att Cd/P kvoten är ungefär densamma (med stora spridningar) för behandlat matavfall som för avloppsslam, trots att kadmiuminnehållet i matavfall är lågt. Detta beror på att även fosforinnehållet är lågt jämfört med avloppsslam.

Från KAK-projektet (Göteborgs stad 2011), hämtas följande information:

#### **"Påverkan på slamkvaliteten**

*Gryaab har certifierat sig inom REVAQ för att öka förtroendet för att använda den värdefulla resursen fosfor som finns i avvattnat avloppsslam. Kvoten av Cd/P är då viktig att ta hänsyn till. Kvoten beskriver hur mycket förorening som följer med varje kg fosfor som läggs på åkermarken. Ett förhållningssätt är att inget material som har sämre Cd/P-kvot än dagens slam bör tas emot. Det försämrar då kvalitén med avseende på kadmium på det avvattnade slammet. Att jämföra ett orötat material med ett utrötat avvattnat slam är tillbörligt eftersom förhållandet mellan kadmium och fosfor inte förändras i någon nämnvärd omfattning i slambehandlingsprocessen.*

*Generellt brukar det anses att matavfall är av bättre kvalitet än avvattnat avloppsslam. Nedan jämförelse visar dock att Cd/P-kvoten är i paritet med det avvattnade avloppsslammet.*



**Figur 1:1 Kadmium/fosfor-kvoter (mg Cd/kg P) från olika undersökningar.**

*Kommentarer till diagram: Skillnaden mellan de olika referenserna på Gryaabs slam här rör till stor del från den skillnad som råder mellan laboratoriers olika sätt att analysera*



*fosfor och kadmium. Denna osäkerhet för P och Cd analyser råder även på analyser av annat material. URWARE-uppgifterna kommer från (Jönsson m fl, 2005) och är en sammanvägning av 10 olika referenser. Matavfallsslurry tillverkas genom att matavfall mals ner och pressas genom en skruvpress. Värdena kommer från analyser som gjorts på en slurry tillverkad av Renovas matavfall. Denna slurry hade 10 gånger mindre fosfor per kg TS än avvattnat avloppsslam vilket påverkar kvoten trots att kadmiuminnehållet är mycket lågt.*

*Ur detta kan sammanfattas att nedmalt matavfall har en kvalitet vad avser Cd/P-kvot, som är i paritet med Gryaabs avvattnade avloppsslam.”*

I en studie på Lunds universitet (Davidsson et al 2011) har kvarnat matavfall från tre olika tankanläggningar i tre bostadsområden analyserats. I rapporten kommenteras resultaten:

*”Resultaten visar att halterna i vissa fall varierar stort mellan olika områden. Högre halter av kadmium hittades i restaurangavfall än i hushållsavfall.”*

*”De analyserade provernas innehåll av kadmium och fosfor visar att det kan bli svårt att klara gränsvärdena där kadmiumhalten relateras till mängden fosfor som bör tillföras per hektar. Detta beror till viss del på att fosforinnehållet är lågt.”*

## Bilaga 2. Erfarenheter från andra förbehandlingsanläggningar

Förbehandlingsanläggningar finns i drift på ett flertal anläggningar i Sverige och utomlands. I Tabell 2:1 återfinns resultat från några relevanta rapporter.

**Tabell 2:1. Rejekt från jämförbara förbehandlingsanläggningar. (ww=våtvikt. TS=torrsubstans).**

Anläggning	Rejekt	Referens
NSR	21,8 % ww	Bohn I., Utvärdering och optimering av metod för förbehandling av källsorterat hushållsavfall till biogasproduktion, RAPPORT SGC 216 Svenskt Gastekniskt Center, 2010
NSR	37,1 % TS	Bohn I., Utvärdering och optimering av metod för förbehandling av källsorterat hushållsavfall till biogasproduktion, RAPPORT SGC 216 Svenskt Gastekniskt Center, 2010
Borås	30 – 35 % (ospec. Sannolikt ww)	Bohn I., Utvärdering och optimering av metod för förbehandling av källsorterat hushållsavfall till biogasproduktion, RAPPORT SGC 216 Svenskt Gastekniskt Center, 2010
SYSAV	30 – 35 % (ospec. Sannolikt ww)	Bohn I., Utvärdering och optimering av metod för förbehandling av källsorterat hushållsavfall till biogasproduktion, RAPPORT SGC 216 Svenskt Gastekniskt Center, 2010
SYSAV	26 % ww	Truedsson C., Utvärdering av förbehandlingsanläggning för matavfall, Examensarbete, Lunds Universitet, 2010
SYSAV	38 % TS	Truedsson C., Utvärdering av förbehandlingsanläggning för matavfall, Examensarbete, Lunds Universitet, 2010
4 anlägg. i Danmark	36,7 – 44,5 % ww	Lund Hansen, Trine, la Cour Jansen, Jes, Davidsson, Åsa, Hojlund Christensen, Thomas: Effects of pre-treatment technologies on quantity and quality of source-sorted municipal organic waste for biogas recovery , <i>Waste Management</i> , <b>27</b> , 398-405, 2007
4 anlägg. i Danmark	41(23-55) % ww 50(26-70) % TS	Lund Hansen, Trine, muntlig information

### Näringsinnehåll i rejektströmmen

Vid intervju med Trine Lund Neidel, Solid Waste Management, COWI A/S (2011) (en av medförfattarna till (Lund Hansen et al 2007), erhöles följande uppgifter:

Rejekt och accept från olika skruvpressanläggningar i Danmark analyserades bl.a. avseende VS- och TS-halt och fosforinnehåll. Tabell 2:1 visar andelen av respektive substans som hamnade i rejektet, som medelvärden. För fosfor (Tot P) var spridningen 33–78 %.

**Tabell 2:2. Andelen av olika fraktioner som hamnar i rejektet från danska skruvpressanläggningar.**

Fördelning, %	Våtvikt	TS	VS	K	Tot P	Tot N
Andel av inkommande i rejekt	41%	50%	49%	44%	59%	47%

I denna rapport har dock antagits samma fosforhalt i rejekt och accept från förbehandlingen.

### Erfarenheter av olika förbehandlingsanläggningar

I landet används olika typer av förbehandlingsanläggningar för matavfall. Skruvpressar som förbehandling används i Borås, Malmö, Helsingborg och Södertälje. Rejektet ligger på omkring 25-50% i dessa anläggningar. Lägst rejekt mängd verkar man ha i Boden där förbehandlingsanläggningen är ett hemmabygge med 1 % rejekt.

Från en tysk modell, Haarslev, som kommer att tas i drift i Stockholm, kan man förvänta en förlust av organiskt material nära noll, däremot släpper den troligen igenom en större andel plast, något som ju kan åtgärdas genom val av påsar. Ett norskt företag Ecopro har installerat en bioseparator där man förväntar en rejekt på 10 % eller lägre.

#### Borås

*Referent: Camilla Till, Borås Energi och Miljö. Tel 033358100.  
camilla.till@borasenergimiljo.se*

I Borås produceras biogas på Sobackens avfallsanläggning från matavfall från hushåll tillsammans med biologiskt avfall från företag. Matavfallet insamlas i svarta plastpåsar.

Förbehandlingen görs med en "Bioseparator" som är en blandarvagn och skruvpress.

Anläggningen har varit i drift 2,5 år (utöver ca 1 års uppstart).

De har driftproblem när matavfallet är felaktigt sorterat, särskilt om det är metall i påsen. Någon gång per månad brukar de ha driftstopp. Svårt att sortera när allt kommer in i en påse. En förbättring vore att påsarna rivs upp eller öppnas och att en magnetavskiljare installeras.

Mätningar och plockanalyser har gjorts. Rejektet ligger runt 40 % (troligen våtvikt) med 15-18 %TS. De har inte analyserat fosfor och kväve – de antar att fördelningen blir samma som för TS. De tillsätter vatten till slurryn.

Biogasutbyte kalkyleras med hjälp av standardvärden från litteraturen.

Rötresten har god kvalitet - inga stora partiklar, plastbitar eller skräp. Rötresten innehåller ca 3 % TS. Rötresten hade kadmium/fosforkvoten 17, 13 resp. 2 mgCd/kgP vid tre analyser 2011.

Rötresten används som gödsel i jordbruk (okänt hur eller var).

## Malmö

*Referent: Catarina Jönsson, Driftsledare Biotec, SYSAV, Malmö. Tel: 040 635 2081*

Hushållsavfallet insamlas i papperspåsar. Förbehandlingen av insamlat matavfall görs med en kross och en skruvpress.

Anläggningen har varit i drift 2,5 år. Den fungerar bra, inga driftavbrott. För mycket plast i matavfallet kan sätta igen hålen i skruvpressen, men problemen kan enkelt bemästras.

Slurryn håller hög kvalitet. Innehållet av plast och andra synliga föroreningar såväl som tungmetaller är lågt. Provtagningar görs på slurryn var vecka och skickas för analys en gång per kvartal. Rejektprover tas sällan.

Rejektflödet varierar med årstiden. Under vinterhalvåret blir det mer rejekt. Sommartid ligger rejektandelen på 25-35% av TS. Butiksavfall ger mer rejekt (konsumentförpackningar), hushållsavfallet mindre.

Näringsinnehållet i slurryn är 4,7 kg kväve varav 0,7 kg ammoniumkväve, 0,7 kg fosfor och 2,1 kg kalium per ton (Truedsson 2010).

Man har också en andra behandlingslinje med enbart flytande förpackat material.

## Helsingborg

Uppgifter har också inhämtats från NSRs (Nordvästra Skånes Renhållnings AB) biogas-anläggning i Helsingborg. Råvaran till biogasanläggningen är matavfall (36 %), avfall från livsmedelsindustrin och gödsel. Rötresten ("biogödsel") är kvalitetscertifierad sedan 2003. Medelvärde av kadmiuminnehållet under perioden juni 2009 – juni 2010 var 20 mg Cd/kg P.

En studie från Lunds Universitet (Eriksson Ylva och Holmström David, 2010 samt Avfall Sverige, 2010) visar att 63 % av det organiska materialet som går in i skruvpressen separeras till pressvätskan, 37 % separeras till rejektet. Mängden metan som kan utvinnas ur pressvätskan uppgår till ungefär 65 % av mängden metan som kan utvinnas ur råslurryn. En analys av sammansättningen visade att pressvätskan innehåller en högre andel lättnedbrytbart material i form av fett och protein än vad rejektet gör. I inkommande material och i rejektet finns synliga bitar av plast och stora fibrer, i pressvätskan finns inga synliga oönskade partiklar.

## Kristianstad

*Referent: Produktionschef Tore Sigurdsson, Kristianstad Biogas, 0733-134893.*

På biogasanläggningen i Karpalund rötas källsorterat hushållsavfall (5 %), slakteriavfall och flytgödsel i två rötammare, och blir till biogas och certifierat biogödsel. Kadmiuminnehållet var perioden nov 2010 – jan 2011 24 mg Cd/kg P.

Förbehandlingen görs i en "finkvarn" följt av en homogeniseringstank.

De har en pilotreaktor och följer substrathandboken. (85 % VS (rötbar substans) av TS). Rötresten har bra kvalitet, förutom att plastbitar ibland hamnar på åkern. Rötresten används i jordbruket till gödning. (Certifierat biogödsel (STCR/120SP)).

([http://swentec.se/en/Start/find\\_cleantech/Plantscontainer/Karpalund-biogas-plant-in-Kristianstad/](http://swentec.se/en/Start/find_cleantech/Plantscontainer/Karpalund-biogas-plant-in-Kristianstad/)) och <http://biogas-kristianstad.se/>

## Uppsala Vatten

Referent: Driftingenjör Gunnar Hagskuld, Tel: 070 821 6055 samt Peter Malmros.

<http://www.uppsalavatten.se/sv/omoss/Anlaggningar/Avfallsanlaggningar/Biogasanlaggning>

Råvaran är 2011 90 % matavfall men tidigare var det mycket slakteriavfall och processen såg annorlunda ut.

Förbehandlingen består av påsrivning - roterande tunna – blöttningsanläggning - dispergeringsmaskin (använd sen 2006) – silgaller – hygienisering.

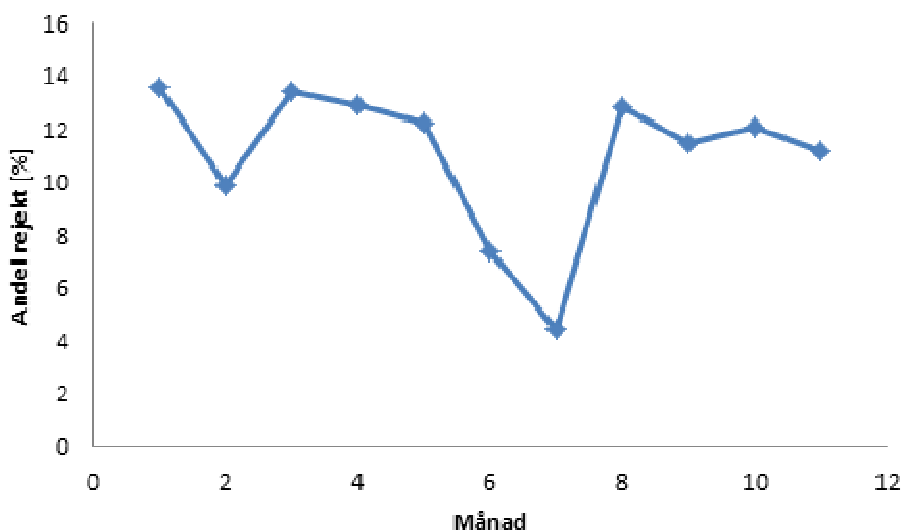
Problemen kommer från mycket rejekt och plastrest i påse, samt sand, järn, bestick, mm som kommer in. Detta betyder mycket driftåtgärder, mycket tömning etc. Driftkostnaderna ligger runt 4-5% av investering (högre än för avloppsreningsverket).

Analys av flödenas sammansättning har inte gjorts. Stor variation i matavfallets sammansättning.

På hemsidan finns uppgiften "Under 2008 togs 7000 ton organiskt avfall (matavfall och livsmedelsavfall) emot vid biogasanläggningen. Ca 16 500 ton biogödsel levererades till lantbruket". TS-halter okända.

Rötresten har hög kvalitet genom det installerade silgallret. De har haft spår av plast i några prover men inte mycket.

Rötresten används på åkermark (stort lantbruk i närheten) där de odlar livsmedel. De har följt upp rejektmängderna och sammanställt resultaten i ett diagram (Fig 2:1). (Peter Malmros 111206). Rejektmängden ligger mellan 10-15 %, om man bortser från juni och juli. Mindre justeringar har gjorts. De anser att de med befintlig utrustning troligtvis inte kan komma under 10 % rejekt utan att riskera att plast följer med in i processen. De har planer på att investera i ny utrustning som gör att de kan få ner rejektmängden ytterligare. Metoden bygger på att avvattna rejektet på ett effektivare sätt.



Figur 2:1. Rejektandel från provtagningar i Uppsala.

## Västerås – Svensk Växtkraft

*Referent Niklas Leksell, Driftchef, tel: 021-399240 samt information från <http://www.svenskvaxtkraft.se>*

I Västerås har de en förbehandlingsanläggning för matavfall som varit i drift sedan 2005 och de tar årligen emot ca 15 000-16 000 ton matavfall. Förbehandlingen av matavfall ger tre rejekt: först krossas materialet och siktas i en mottagningsanläggning vilket ger ett rejekt på ca 6-7 % av totala inkommande materialet. Detta rejekt är i huvudsak påsar (både papper och plast). Därefter tillsätts vatten (återanvändning av processvatten) till substraten innan flödet leds till en våtsikt vilket ger ett rejekt på ca 6-7 % av totala inkommande materialet. I detta rejekt kan metall återfinnas. Slutligen avvattnas substratet genom ett sandfilter vilket ger ett rejekt på ca 1 %. Här kan också metallföremål återfinnas i rejektet. Detta ger ett totalt rejekt i förbehandlingsanläggningen på ca 15 % av totala inkommande materialet (våtvikt). Kan variera mellan 12-20 %.

Flödet som går vidare till röt-kammaren blandas däri med vallgrödor (ca 22 %). Rötresten är KRAV-godkänd biogödsel och används på åkermark.

## Södertälje

*Referent: Anette Vestlund, chef på biogas behandling, Telge återvinning. Tel: 0855022497.*

Hos Telge återvinning produceras slurry som körs till Himmelfjärdsverket för rötning tillsammans med annat avfall. Insamling av matavfall sker i plastpåsar och själva slurryn tas fram med en skruvpress av märket DopStat. Anläggningen har varit i drift sedan juni 2010.

Driftproblem som erfarits är att luckorna som ska öppnas så att skruvpressen ska få tag i materialet har behövt justeras eftersom det annars inte skedde någon transport upp i pressen.

Rejektmängden är ca 30-50 % av inkommande. Att matavfallet samlas in i plastpåsar ger en större rejektmängd.

Slurryn rötas i Himmelfjärdsverket (SYVAB).

*Referent: Jannike Örnmark, SYVAB, Tel: 0841077635:*

Av inkommande material till röt-kammaren är ca 20-25 % matavfall. Fosforhalterna i rötresten har gått ner sedan man började blanda i slurry från matavfall. Det är dock osäkert om anledningen är matavfallet eftersom man även infört restriktionen på tvättmedel mm.

## Falköping

*Referent: Stig Säll, driftschef, Hulesjöns avloppsreningsverk. Tel: 0515885277*

[stig.sall@falkoping.se](mailto:stig.sall@falkoping.se), [www.falkoping.se](http://www.falkoping.se) (2011-11-16)

I Falköpings biogasanläggning på Hulesjöns ARV använder man en "pulper" för förbehandling av hushållsavfall från Falköpings tätort. Pulperen är ursprungligen byggd för avfallshantering på kryssningsfartyg. Insamling av matavfall från hushåll sker i papperspåsar och körs till avfallsanläggningen för invägning, och lastas sedan om till en mixervagn. Livsmedelsbutiker kan också lämna utsorterat matavfall. Avfallet mixas och späds utanför anläggningen innan det går ner i en tippficka, varifrån det skruvtransporteras upp till kvarnen (pulperkvarnen). Därifrån sker ytterligare spädning och malning automatiskt i kvarnen till en TS-halt på 8 %. Hårda föremål som ben, persikokärnor och liknande avskiljs till en container och körs sen till förbränning. Från pulperkvarnen pumpas matavfallet lite i taget vidare till en mellanlagringstank för omblandning. Hit kommer också flytande organiskt avfall från livsmedelsindustrin, till exempel mjölkprodukter.

Från homogeniseringstanken pumpas sedan matavfallet vidare till röt-kammaren. Detta sker kontinuerligt med ett litet flöde för att belastningen på röt-kammaren ska vara så jämn som möjligt.

Anläggningen har varit igång sedan 2002. Anläggningen fungerar bra för att vara en liten anläggning. Man har inte sett någon anledning att byta ut denna. Rejektmängd ca 6-8% av inkommande TS.

Rejektet innehåller textilier, plast, större ben och blandat skrot.

Rötresten efterkomposteras till jordfraktion som används till jordförbättring i jordbruket. Det har varit tal om att använda detta även i växthus, men det har ännu inte blivit av.

## Boden

*Referent: Urban Jansson, Produktionsingenjör, Svedjans avloppsreningsverk.*

*Tel: 0921-55126*

Förbehandlingsanläggningen i Svedjans avloppsreningsverk är ett hemmabygge. Insamlade påsar (olika material majs eller papper, man har testat olika typer av påsar för insamling av matavfall och håller nu på att gå över till majsstärkelsepåsar, dvs nedbrytbara påsar) mixas till en gröt med avloppsslam. Rejekt separeras i en kvarn som består av skärknivar som separerar 8 mm partiklar. "Hemmabygget" planeras att ersättas med bioseparator. Den norska bioseparatorn bygger på en silmekanism där man hela tiden tvättar ur rejektet och på så sätt kan använda nästan allt organiskt material.

Anläggningen har varit i drift sedan omkring 2003-2004.

Driftsstörningar är främst relaterade till textilier (kläder) samt bestick och dylikt. Eftersom de har en så låg rejekt, följer en del med in i röt-kammaren. De har haft problem med sedimentering i röt-kammaren. De funderar på att byta till en Biocep .

Rejekt på ca 1 % av matavfallet. Viss andel plast kommer med och orsakar problem i rötningsanläggningen. Rejektet består av plast och metallförpackningar, ben, bestick och



annat. Rötresten innehåller "sand" från metall och glas samt ibland plastrester. Rötresten används till matjord och vid odling av energigrödor.

Ur 1 matavfallspåse (på ca 2 kg) beräknar de att de får ut 500 l rågas eller 250 l ren metangas.

Uppföljning sker i samarbete med Luleå tekniska universitet.

## **Stockholm**

*Referent: Åsa Rennsvik, Sofielunds avfallsanläggning (SAA). Tel: 08-52223799*

Sofielunds avfallsanläggning håller på att sätta upp sin utrustning för förbehandling av matavfall som ska invigas i mitten av 2012. Läckby Water Group har gjort tekniska valet Haarslev som enligt Åsa ska vara mycket effektivare i separation av organiskt material jämfört med skruvpress. Ev. nackdel med denna kan vara att man får för stora partiklar, varför man på SAA eventuellt kommer att ansluta en macerator som ett steg mellan Haarslevanläggningen och biogasreaktorn för att garantera partiklar < 12 mm.

## **Läckby Water Group**

*Referent Olof Pettersson, tel 048038120/0704288550.*

Läckby har stor erfarenhet av olika system och tillgång till testresultat (egna och andras). De har gjort flera tester på skruvpressar där de bästa mätningarna låg på ca 30 % rejekt. Ca 25 procentenheter av dessa är organiskt material. Troligtvis är rejektandelen ganska låg eftersom att de har en bra mixning av påsarna före skruvpressen. Man kan få upp till 50 % rejekt om man inte har någon blandning före skruvpressen.

**Haarslev** har en mycket bättre separation av organiskt material (förlust nära noll) jämfört med skruvpress, däremot släpper den igenom en större andel plast. Andel plast i inkommande anges till 7,4% plast av våtvikt (19%TS), och Haarslevseparatorn kan sortera bort 98 % av detta.

## **Norrköping**

Norrköping Biogas, Peter Johansson. De har en anläggning som bygger på det norska konceptet BioCep som ska tas i drift inom kort, men har ännu inga erfarenheter av denna.



## Bilaga 3. Exergianvändning inom VA-sektorn

Begreppet exergi förtydligas och exemplifieras i rapporten "Nyckeltal för reningsverk – verktyg för effektivare energianvändning" av Peter Balmér och Daniel Hellström (Balmér et al 2011), utgiven av Svenskt Vatten. Nedan återges det inledande kapitlet.

### Om exergi

Nedanstående är hämtat från Wall (1993) om inte annat anges.

Olika energiformer är mer eller mindre omvandlingsbara i varandra. Elektrisk energi kan omvandlas till mekanisk energi, som vid drift av elmotor, eller till värme. El kan också användas för att driva värmepumpar. Värme med hög temperatur kan delvis omvandlas till mekaniskt arbete och ger som restprodukt värme vid en lägre temperatur. Värme med lägre temperatur kan dock svårligen omvandlas till annat energislag och betraktas som lågvärdig. Om värmen har en tillräcklig temperatur kan den användas för uppvärmning av exempelvis lokaler. När temperaturen sjunker ner mot omgivningstemperaturen blir värmen alltmer svåränvändbar. Värmens kvalitet är alltså beroende av temperaturen på värmen och dess omgivning. Det är olika energiformers kvalitet som exergibegreppet hjälper till att förklara.

Exergibegreppet kan definieras som arbete (ordnad rörelse) eller förmåga till arbete. Energi däremot definieras som rörelse eller förmåga till rörelse. Skillnaden mellan exergi och energi är alltså hur ordnad rörelsen, eller möjligheten till rörelse, är. Energi är oförstörbar och kan endast omvandlas, analogt är energikonsumtion en omöjlighet. Vid alla energiomvandlingar minskar dock exergimängden. Det som ibland omnämns "energiförbrukning" är alltså snarare exergiförbrukning.

Olika energislag har således olika kvalitet. Förhållandet mellan exergi och energi kan definieras genom den så kallade exergifaktorn (exergi/energi). Exempel på olika energiformer och dess kvalitet ges i Tabell 3-1. Observera att tabellen främst illustrerar storleksordningen mellan olika energikvaliteter och särskilt för värme bör beräkningar göras för enskilda fall. För värme ur en värmereservoar med konstant temperatur ( $T$ ) beräknas exergifaktorn enligt:

$$E / Q = (T - T_0) / T$$

där  $T_0$  är omgivningens temperatur (K).

Detta betyder exempelvis att exergifaktorn för värme med temperaturen 90° C vid omgivningstemperaturen 0° C är 0,25 och för värme med temperaturen 15° C är exergifaktorn vid samma omgivningstemperatur 0,05 (notera dock att exergifaktorn, kvalitén, hos exempelvis spillvärme sjunker vid värmeutvinning allteftersom temperaturen sjunker).

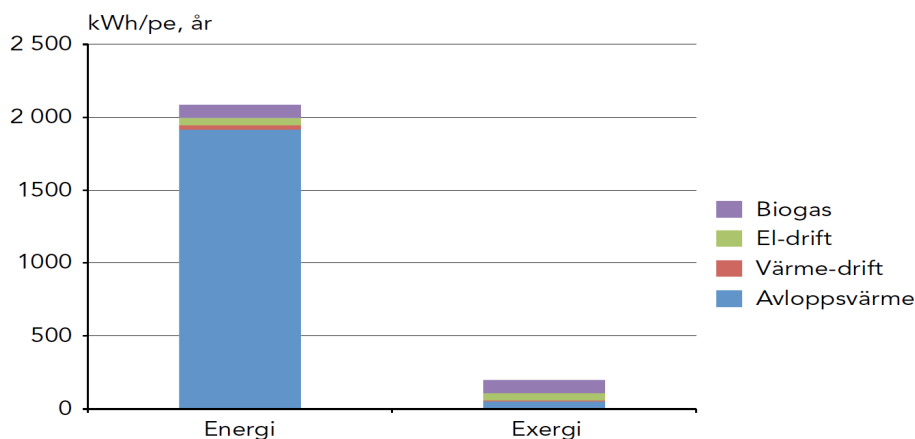
**Tabell 3:1. Olika energiformers kvalitet (Wall 1993).**

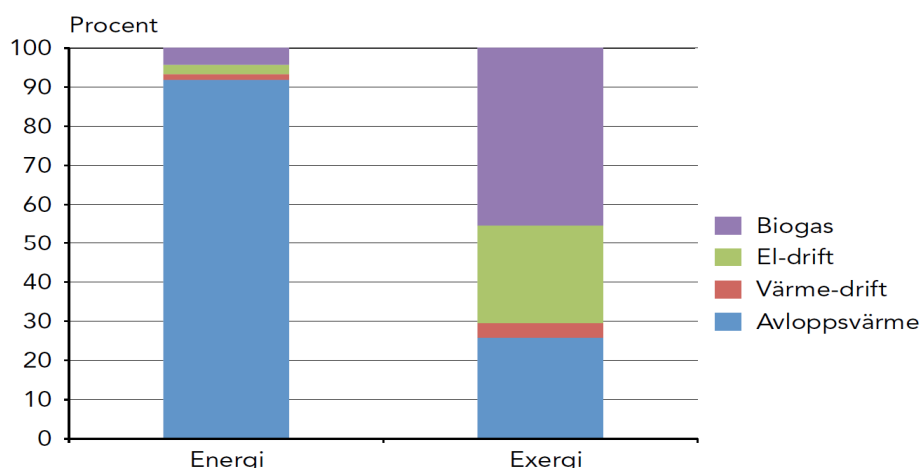
Kvalitet	Energiform	Exergifaktor (%)
Extra prima	Lägesenergi <sup>1</sup>	100
	Elektrisk energi	100
Prima	Kärnenergi	ca 95
	Kemisk energi	omkring 100
	Het ånga	ca 60
	Fjärrvärme	ca 30
Sekunda	Spillvärme	ca 5

<sup>1</sup> Exempelvis högt belägen vattenreservoar

Skillnaden mellan att använda energi och exergi, vid analys av reningsverkens resursanvändning, illustreras av Figurerna 3-1 och 3-2. Figur 3-1 visar några resursflöden för ett tänkt reningsverk uttryckt som kWh/pe, år och figur 3-2 visar respektive flöde som andel av den totala summan för de energirespektive exergiflöden som ingår i exemplet. Det tänkta reningsverket har ett inkommande flöde på 300 l/pe, d och temperaturen på avloppsvattnet är 15° C. Omgivningstemperatur är i exemplet 0° C. Storleksordning på el och värme till drift samt biogasproduktion har tagits fram genom att välja ut ett antal representativa värden för större svenska reningsverk.

Vid en energianalys, utan beaktande av energikvalitén, är det värmen i avloppsvattnet som är det helt dominerande energiflödet. Om kvalitén hos olika energiflöden beaktas är det omsättningen av organiskt material som dominerar, men det är flera andra flöden som också har signifikant betydelse för den totala resursanvändningen.

**Figur 3:1. Några energi- och exergiflöden (kWh/pe, år) för ett tänkt reningsverk.**



**Figur 3:2. Några energi- och exergiflöden (som % av den totala summan för energi- respektive exergiflöde som ingår i exemplet) för ett tänkt reningsverk.**

Genom att använda exergibegreppet tydliggörs vad som är termodynamiskt möjligt. Det finns dock en skillnad mellan vad som är praktiskt och ekonomiskt möjligt med dagens teknik och vad som enligt termodynamiken är teoretiskt möjligt. För att även ta hänsyn till vad som (idag) är tekniskt möjligt så kan exergiberäkningar kompletteras på något av följande sätt:

*Komplettera exergi med ytterligare en kvalitetsfaktor så att den exergi som redovisas är "tekniskt tillgänglig exergi".* En sådan kvalitetsfaktor baseras då på en bedömning av bästa tillgängliga teknik och förändras därmed över tiden. Författarna till denna rapport känner inte till något standardiserat sätt att göra detta på. Dock vore det principiellt enkelt att komplettera de index som presenteras nedan med en sådan kvalitetsfaktor.

*Komplettera exergiindex med att räkna ut reningsverkens primärenergianvändning.* Detta är en etablerad metod inom systemanalysen och det finns ett standardiserat förfarande för att göra denna typ av beräkningar. Beräkningar kräver dock god tillgång på data om hur exempelvis el och kemikalier produceras. Utfallet av beräkningarna blir också känsligt för vilken "energimix" som användas, exempelvis blir det stor skillnad om beräkningarna görs för nordisk eller europeisk energimix. Utfallet blir alltså till stor del beroende av det som görs utanför reningsverket.

Mer om exergi och hur det kan användas som verktyg inom VA-tekniken finns att läsa i VA-Forsk rapport 2003-20 (Hanæus et. al., 2003).