

Ökad metanproduktion genom outnyttjade substrat och processutveckling

Marika Murto, Erik Gregeby,
David Holmström, Maria del Pilar Castillo,
Anders Lagerkvist och Ilona Sárvári Horváth

Ökad metanproduktion genom outnyttjade substrat och processutveckling

Increased methane production by unused substrates and process development

Marika Murto, Erik Gregeby, David Holmström,
Maria del Pilar Castillo, Anders Lagerkvist och Ilona Sárvári Horváth

Projektnummer WR-62
År: 2013

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

Sammanfattning

En biogasanläggnings lönsamhet är sammankopplad med en kostnadseffektiv avsättning av biogödsel och hög biogasproduktion. En hög biogasproduktion avgörs av tillgång till substrat samt maximalt utnyttjande av det inkommande substratet. Tillgängligheten och utnyttjande av substrat påverkas av många faktorer.

Deltagande anläggningsägare utfrågades genom enkät och intervjuer i syfte att samla information kring erfarenheter och identifiera möjliga flaskhalsar vid anläggningsdrift. Syftet med projektet var att påvisa begränsningar, förbättringspotential, möjliga vinster för ekonomi och miljö och framtida utmaningar. Fokus lades på befintliga substrat som behandlas på de deltagande anläggningarna. Dessutom utvärderades lämpligheten för biogasproduktion från ett antal outnyttjade substrat utifrån faktorer såsom substratens processmässiga förutsättningar, gällande regelverk och alternativanvändning. Därtill utfördes en utvärdering av faktorer kopplade till substrat och hur dessa påverkar kostnader och intäkter för en biogasanläggning. Kostnadsberäkningarna gjordes utifrån en fiktiv referensanläggning. Beräkningarna gjordes i en förenklad röttningsmodell baserad på resultat från tidigare arbeten inom Waste Refinery.

Studien visar att substrat inte utnyttjas fullt ut på anläggningarna. Utvärderingen av substraten som behandlas vid anläggningarna visade att administrativa begränsningar (konkurrens och transportavstånd) förekommer mest följt av biologiska (svårnedbrytbarhet och hämning) och mekaniska (slitage på utrustning och igensättning). Känslighetsanalys visade att de enda substrat som gav högre intäkter än produktionskostnader per ton avfall var slakteriavfall samt avfall från livsmedelsindustrin. Produktions- och transportkostnader per MWh fordonsgas är väldigt höga för substrat med låg TS-halt och lågt metanutbyte såsom nöt- och svinflytgödsel. Intäkterna kan öka med upp till 20 % om full betalning för näringsvärdet i biogödseln kan erhållas. De totala produktionskostnaderna kan minska med upp till 20 % vid en halvering av kostnaden för personal och underhåll. Störst utslag gällande kostnader fås på substrat som kräver förbehandling såsom matavfall och förpackat material.

En betydande ökning av biogasproduktionen kan ske genom att idag ej använd biomassa utnyttjas, det kan röra sig om mer än 10 TWh per år. Utvärderingen av outnyttjade substrat visade att det bl.a. finns en osäkerhet kring möjlig certifiering enligt SPCR 120 och många kräver förbehandling för att kunna utnyttja metanpotentialen.

Det är få substrat som kan finansiera sin hantering genom gasförsäljning och därför behövs effektivare lösningar för att kunna utnyttja substraten fullt ut.

Målgrupp för denna studie är ägare och driftansvariga på biogas- eller förbehandlingsanläggningar, avfallsbranschen, forskare, konsulter, myndigheter, m.fl. Direkta vinster för målgrupperna är benchmarking och ett strukturerat erfarenhetsutbyte.

Nyckelord: begränsningar, biogas, substrat, produktionskostnad.

Summary

The profitability of a biogas plant is linked to a high biogas production, which is determined by supply and accessibility of substrates as well as maximal utilization of the incoming substrate. The supply and utilization of substrates are affected by many factors.

Participating plant owners were interviewed in order to collect information about experiences and to identify possible bottlenecks in operation of a biogas plant. The purpose with the project was to bring out limitations, potential improvements, possible profits for the economy and environment and future challenges. The focus was on substrates that are treated at the participating plants. The suitability for biogas production from unused substrates was also evaluated considering factors like process-related conditions of the substrates, existing set of regulations and alternative usage. Furthermore, evaluation of factors connected to substrate and how they affect costs and revenues for a biogas plant. The calculations of cost were performed based on a fictitious reference plant. The calculations were performed in a simplified digestion model based on results from previous studies within Waste Refinery.

The study shows that the substrates are not fully utilized at the biogas plants. The evaluation of the substrates that are treated at the plants showed that the administrative limitations (competition and transport distance) occur the most followed by biological (degradability and inhibition) and mechanical (wear on the equipment and clogging). The sensitivity analyses showed that the only substrates that gave higher revenue than production cost per tonne waste were slaughterhouse waste and food industrial waste. Production- and transport cost per MWh vehicle fuel was high for substrates with low TS and low methane yield like liquid manure. The revenues can increase with up to 20% if full payment for the nutrient value in digestate could be obtained. The total production costs can decrease with up to 20% with a 50% decrease in costs for personnel and maintenance. The biggest result considering costs is obtained for substrates that require pretreatment such as food waste and packed material.

A considerable increase in biogas production can be obtained by utilizing biomass that today is not used, the potential can be up to 10 TWh per year. Evaluation of unused substrates showed that there are among others uncertainties in possible certification according to SPCR 120 and many require pretreatment to be able to utilize the methane potential.

There are few substrates that can finance their own handling through gas sales and therefore more efficient solutions are needed to be possible to utilize the substrates fully.

The target group for this study is owners and persons responsible for operation of biogas- and pretreatment plants, the waste industry, scientists, consultants, authorities etc. Direct benefits for the target group are benchmarking and a structured exchange of experiences.

Keywords: biogas, limitations, production cost, substrate.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	PROBLEMBESKRIVNING	1
1.2	SYFTE OCH MÅL	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR	2
1.4	DEFINITIONER	2
2	BAKGRUND	3
3	MATERIAL OCH METODER	5
3.1	ENKÄT, INTERVJUER OCH ANLÄGGNINGSDATA	5
3.2	EKONOMISK UTVÄRDERING	5
4	ANLÄGGNINGSDATA	6
4.1	PROCESSDATA	6
4.2	BEFINTLIGA SUBSTRAT	6
4.3	BIOGÖDSEL	7
5	BEDÖMNING AV BEGRÄNSNINGAR FÖR BEFINTLIGA SUBSTRAT	10
5.1	BIOLOGISKA BEGRÄNSNINGAR	10
5.2	MEKANISKA BEGRÄNSNINGAR	11
5.3	ADMINISTRATIVA/ORGANISATORISKA BEGRÄNSNINGAR	11
6	KÄNSLIGHETSANALYS: SUBSTRATETS PÅVERKAN PÅ KOSTNADER OCH INTÄKTER	15
6.1	REFERENSANLÄGGNING	15
6.2	METANUTBYTETS INVERKAN PÅ TOTALKOSTNAD	20
6.3	KOSTNAD FÖR TRANSPORT AV SUBSTRAT	21
6.4	ÖKAD BETALNINGSFÖRMÅGA FÖR BIOGÖDSEL	23
6.5	MINSKADE KOSTNADER FÖR PERSONAL OCH UNDERHÅLL	25
6.6	ÖKAD UTSORTERING AV MATAVFALL	26
7	DISKUSSION	28
7.1	MILJÖEFFEKTER	29
8	OUTNYTTJADE SUBSTRAT	31
8.1	FRAMTIDA SUBSTRATMARKNADEN	31
8.2	BEDÖMNING AV BEGRÄNSNINGAR FÖR OUTNYTTJADE SUBSTRAT	33
9	SLUTSATSER	46
10	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	48
11	LITTERATURREFERENSER	49
BILAGOR	FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.	
A	ENKÄT	
B	DATAFÖRFRÅGNINGSUNDERLAG	
B.1	SUBSTRAT	
B.2	PROCESS	
B.3	BIOGÖDSEL	
C	INDATA FÖR EKONOMISK UTVÄRDERING	

1 Inledning

1.1 Problembeskrivning

En biogasanläggnings lönsamhet är sammankopplad med en kostnadseffektiv avsättning av biogödsel och en hög biogasproduktion. En hög gasproduktion avgörs av tillgång till substrat samt maximalt utnyttjande av det inkommande substratet. Avgörande flaskhalsar för lönsamhet är således begränsad substrattillgång och icke optimalt substratutnyttjande. Tillgängligheten och utnyttjande av substrat påverkas av tekniska, ekonomiska, ekologiska och sociala faktorer såsom teknikutveckling, politiska mål, regelverk, styrmedel, konkurrens m.m.

Substratutnyttjandet är beroende av en välfungerande process med god närings-sammansättning samt att det organiska materialet är tillgängligt för nedbrytning. Orsaker till att substrat som inte utnyttjas optimalt kan vara förlust av rötbart material i förbehandling eller ofullständig nedbrytning (omvandling till metan) i rötningsprocessen. Det senare kan bero på substratets egenskaper och/eller processens utformning och drift.

Minskad tillgång till traditionella biogassubstrat har på senare tid gjort att intresset för nya substrat har ökat. Vid utvärdering av nya substrat måste hänsyn tas till faktorer såsom substratens processmässiga förutsättningar, gällande regelverk och alternativanvändning.

1.2 Syfte och mål

Projektet har grundat sig på två hypoteser relaterade till substrat för biogasproduktion:

- A. Det finns i dagsläget substrat som inte utnyttjas fullt ut på de svenska biogasanläggningarna.
- B. Det finns biomassor som för närvarande inte används för biogasproduktion men som kan vara en källa för att höja den nuvarande biogaspotentialen.

I detta projekt var samrötningsanläggningar i fokus och behandling av avfall från hushåll, industri och lantbruksrelaterade biomassor.

I samråd med representanter från biogasanläggningar har nuvarande förutsättningar kring substrat utvärderats och potentiella flaskhalsar identifierats.

Syftet med projektet var att på detta sätt påvisa:

- Begränsningar
- Förbättringspotential
- Möjliga vinster för ekonomi och miljö
- Framtida utmaningar

Vidare har arbete med att identifiera outnyttjade substrat som kan ha potential för biogasproduktion och utvärdera dem enligt ovan utförts.

Målgrupp är ägare och driftansvariga på biogas- eller förbehandlingsanläggningar, beredningsansvariga för nya investeringar och producenter av utrustning, avfallsbranschen,

forskare, konsulter, myndigheter, studenter och allmänheten. Direkta vinster för målgrupperna är benchmarking och ett strukturerat erfarenhetsutbyte.

1.3 Avgränsningar

Biogasproduktion från kommunalt avloppsslam samt på industrianläggningar, som behandlar sina egna restprodukter, ingick inte i projektet.

1.4 Definitioner

ABP	Animaliska biprodukter
BMP	Biokemisk metanpotential
LCA	Livscykelanalys
NMMO	<i>N</i> -Methylmorpholine <i>N</i> -oxide
SPCR 120	Avfall Sveriges system, Certifierad Återvinning, för certifiering av biogödsel
TS	Torrsubstans
VS	Volatile solids, glödgningsförlust, ett mått på mängden organiskt material
WR	Waste Refinery

2 Bakgrund

År 2012 producerades biogas motsvarande 1,6 TWh på 242 anläggningar i Sverige, varav 135 reningsverk, 5 industrianläggningar, 21 samrötningsanläggningar, 55 deponier, 26 gårdsanläggningar (Energimyndigheten, 2013). De huvudsakliga substraten för biogasproduktion var olika typer av avfall såsom avloppsslam, gödsel, källsorterat matavfall och avfall från slakteri- och livsmedelsindustrin.

Biogasbranschen har länge brottats med dålig lönsamhet och tillgången till och hanteringen av substrat, som är själva råvaran för biogasproduktion, är en nyckelfråga i detta sammanhang. Problembilden är komplex och påverkas av allt från biomassans biokemiska egenskaper och biogasprocessens nedbrytningsförlopp till gällande regelverk, konkurrens och alternativanvändning m.m.

År 2008 genomfördes en studie med syftet att inventera råvarumängderna från restprodukter som finns i Sverige och som är lämpade för biogasframställning. Det framkom att den totala realiserbara biogaspotentialen från inhemsk råvara, exklusive råvara från skog, uppgår till 10,6 TWh/år (Linné et al., 2008). I en annan studie gjord 2013 har man uppskattat att den realiserbara biogaspotentialen för Sverige kan uppgå till 22 TWh/år till 2030, alltså en fördubbling. I denna beräkning ingår dock även biogas som framställs genom förgasning (WSP, 2013).

Vid Waste Refinerys öppna seminarium 2012 på temat Lösningar för lönsamhet inom biogasbranschen belyste representanter från branschen problem kopplade till lönsamhet på biogasanläggningar. Bland annat identifierades tillgången på råvaror, välbeprövad teknik för förbehandling av substrat samt brist på kunskap om nya substrat som viktiga frågor. I studien Mer biogas! Realisering av jordbruksrelaterad biogas identifierades flaskhalsar och lösningar i systemet jordbruksbaserad biogasproduktion och även här lyftes substratbrist fram som en av flaskhalsarna (Benjaminsson et al., 2009). Härav finns en strävan att finna nya substrat för biogasproduktion. Det kan exempelvis röra sig om biomassor/restprodukter från olika typer av tillverknings- och livsmedelsindustrier, från jordbruket eller från havet som idag inte har avsättning eller vars nuvarande avsättning inte är hållbar miljömässigt eller ekonomiskt. Dessa faktorer har inte blivit utredda i någon större utsträckning. Vidare påpekades att vissa substrat behöver någon typ av behandling för att fungera effektivt i rötningsprocessen, exempelvis fiberrika substrat som vallgröda och ensilage (Benjaminsson et al., 2009).

Metoder som har föreslagits för att maximera metanutbytet samt skynda på nedbrytningsförloppet för att minska reaktorvolymen alternativt öka kapaciteten i befintliga volymer är bland annat förbehandling av substrat (Carlsson et al., 2012, Ward et al., 2008), tillsats av spårämnen eller enzymer (Karlsson et al., 2011), substratinblandning/samrötning (Murto et al., 2004, Pages Diaz et al., 2011) och förändrad processutformning (Persson et al., 2012). I flera fall har dessa metoder visat sig öka nedbrytbarheten/nedbrytningshastigheten/processstabilitet och därmed potentiellt öka biogasproduktionen. Den positiva effekten på biogasproduktion måste dock vägas mot insatserna för att uppnå önskad behandlingseffekt och eventuella sidoeffekter och dess konsekvenser måste beaktas. Effekten på biogassystemet beror således till stor del på fallspecifika faktorer såsom rötningsprocessens utformning, resurstillgångar samt hur slutprodukterna ska användas och

behandlas. Detta problem bemöttes ur ett systemperspektiv i den nyutkomna rapporten: Förbehandling av biogassubstrat i systemanalys (WR-49) (Carlsson et al., 2013).

Styrmedel, regelverk och politiska mål påverkar användningen av organiska avfall och restprodukter för biogasproduktion. Styrmedel är viktiga för att främja utvecklingen inom biogasområdet. Ett flertal styrmedel har införts såsom KLIMP (2003-2012), investeringsstöd till gårdsbaserad biogasproduktion, Energimyndighetens investeringsprogram. Ett metanreduceringsstöd skulle göra många gödselbaserade biogasanläggningar lönsamma (Lantz, 2012). Nya förordningar och lagar påverkar tillgängligheten av substrat. Detta gäller t.ex. det nya förslaget för hållbar återföring av fosfor. Striktare krav på föroreningshalter kan leda till att det begränsar användandet av specifika substrat i framtiden (SNV, 2013). Certifiering av biogödsel enligt SPCR 120 är till för att säkerställa biogödselkvaliteten men den begränsar användning av andra substrat som inte ingår i livsmedels- och lantbrukskedjorna och påverkar således tillgången och vilka substrat som är godkända för biogasproduktion (SPCR 120, 2013). Substratmarkanden påverkas även av konkurrensen mellan biogasanläggningar men också med andra branscher såsom djurfodersbranschen. Även politiska mål såsom en fossilfri fordonsflotta till år 2030 främjar förnybar energi såsom biogas.

Livscykelanalyser av olika biogassystem där biogas produceras från restprodukter (drank, rapskaka, permeatvassle, fodermjölk, fiskrens, bageriavfall, glycerol) har visat att alternativanvändningen är viktig att väga in när det gäller miljönyttan av biogasproduktion. Om materialet exempelvis kan användas som djurfoder kan miljöpåverkan med avseende på förurning och övergödning bli högre om restprodukten istället används som biogasråvara (Tufvesson och Lantz, 2012).

3 Material och metoder

3.1 Enkät, intervjuer och anläggningsdata

En enkät sammanställdes (se Bilaga A) och skickades till anläggningsägarna som deltog i projektet i syfte att samla information kring erfarenheter och identifiera möjliga flaskhalsar vid anläggningsdrift. Enkäten var uppdelad i sju punkter; substrat, förbehandling, avtal och regelverk, processdesign, energiförbrukning, biogödsel och gasrening. Enkätsvaren följdes även upp med intervjuer och som komplement till enkätsvaren sammanställdes ett formulär kopplat till anläggningsdata (se Bilaga B). Fördjupningar kring olika aspekter har dessutom gjorts i litteratur och kontakt tagits med myndigheter, industrier och andra organisationer via telefon och e-mail. Miljöpåverkan har utvärderats utifrån faktorer såsom substratens alternativanvändning, växthusgaspåverkan och biogödselkvalité m.m.

3.2 Ekonomisk utvärdering

I kapitel 6 presenteras utvärdering av faktorer kopplade till substrat och avfall och hur dessa kan påverka kostnader och intäkter för en biogasanläggning. Kostnadsberäkningarna har genomförts utifrån en fiktiv referensanläggning. Beräkningarna har gjorts i en förenklad rötningsmodell baserad på resultat från tidigare arbeten inom Waste Refinery. Metoden för de ekonomiska beräkningarna beskrivs närmare i Kapitel 6 samt i Bilaga C.

4 Anläggningsdata

4.1 Processdata

Data har samlats in och sammanställts från fem stycken samrötningsanläggningar varav fyra stycken rötter i det mesofila och en i det termofila temperaturintervallet. I Tabell 1 presenteras en sammanställning av övergripande anläggningsdata. Data visar stor variation och beror på varierande förutsättningar som råder vid de deltagande samrötningsanläggningarna. Anläggningarna har olika processförutsättningar och olika systemgränser för insamlad data vilket gör att en rättvisande jämförelse av faktorer såsom energibalanser, drift och underhållskostnader och personalresurser kräver noggrann och fördjupad analys vilket inte har varit fokus för detta projekt. Dessa faktorer har utvärderats i större utsträckning i ett annat Waste Refinery-projekt: Energi- och kostnadseffektiv produktion av biogas och biogödsel (Yngvesson et al., 2013). Enkät svar och feedback från anläggningsägare har dock givit underlag för viss anpassning av den anläggningsmodell (se Kapitel 6) som senare använts som jämförelsebas samt identifierat faktorer för känslighetsanalys.

Tabell 1. Sammanställning av övergripande data från de deltagande samrötningsanläggningarna.

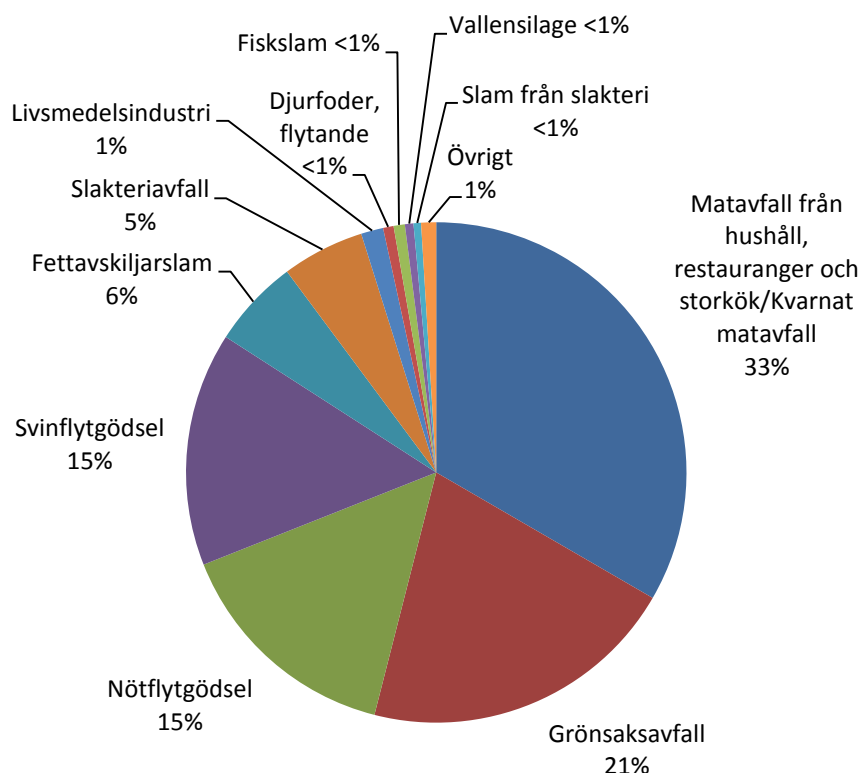
Table 1. Data describing the conditions for biogas plant included in this study.

Mottaget substrat (ton/år)	15 000 – 81 000
Aktiv rötkammarvolym (m³)	3 200 – 6 800
Belastning (kg VS/m³ aktiv rötkammarvolym och dygn)	2,1 – 3,2
Uppehållstid (dygn)	20 – 36
Utrötningsgrad i rötkammare (% av VS)	45 – 75
Metanproduktion (Nm³/ton mottaget substrat)	42 – 90

4.2 Befintliga substrat

Tre av fem anläggningar samrötter med matavfall som huvudsubstrat, en med grönsaksavfall och en med flytgödsel. Fördelningen mellan substratfraktionerna i de studerade anläggningarna kan ses i Figur 1.

Ett urval av de vanligast förekommande substratfraktionerna behandlas och utvärderas i anläggningsmodellen, separat och tillsammans där känslighetsanalyser beskriver hur olika aspekter av anläggningsmodellen påverkas (se Kapitel 6).



Figur 1. Fördelning mellan substratfraktioner som behandlas i de ingående anläggningarna.

Figure 1. Distribution of substrate fractions treated at the participating biogas plants.

4.3 Biogödsel

4.3.1 Näringsvärde

Fyra av de fem studerade anläggningarna har certifierat sin biogödsel enligt SPCR 120. Näringsinnehållet i biogödseln varierar stort mellan de studerade anläggningarna. Dessa värden jämfördes med en relaterad studie (Nilsson, 2013) där näringsvärdet i biogödseln analyserats från tio samrötningsanläggningar där matavfall inte är huvudsakligt substrat samt sju samrötningsanläggningar där matavfall är huvudsakligt substrat, se Tabell 2.

En analys av det ekonomiska värdet på biogödseln har utförts i anläggningsmodellen för att belysa effekten av en ökad betalningsförmåga (se Kapitel 6).

Tabell 2. Näringsinnehåll och synliga föroreningar i biogödsel från deltagande anläggningarna i jämförelse med en annan studie (Nilsson, 2013).

Table 2. Nutrient content and visible impurities in digestates from participating biogas plants in comparison with another study (Nilsson, 2013).

	Anläggningsdata	Referensstudie ¹	Referensstudie ²
Kväve, N (kg/ton)	3,0 – 5,9 (4,2) ³	2,0 – 8,7 (4,7)	1,4 – 6,1 (3,1)
Fosfor, P (kg/ton)	0,4 – 1,2 (0,7)	0,2 – 0,9 (0,5)	0,1 – 0,4 (0,3)
Kalium, K (kg/ton)	0,9 – 2,6 (1,6)	0,7 – 2,2 (1,4)	0,4 – 1,3 (0,9)
TS (%)	2,6 – 5,0 (3,8)	1,7 – 5,7 (3,3)	1,1 – 2,0 (1,7)
Synliga föroreningar (> 2 mm, % TS)	0,03 – 0,5 (0,16)		

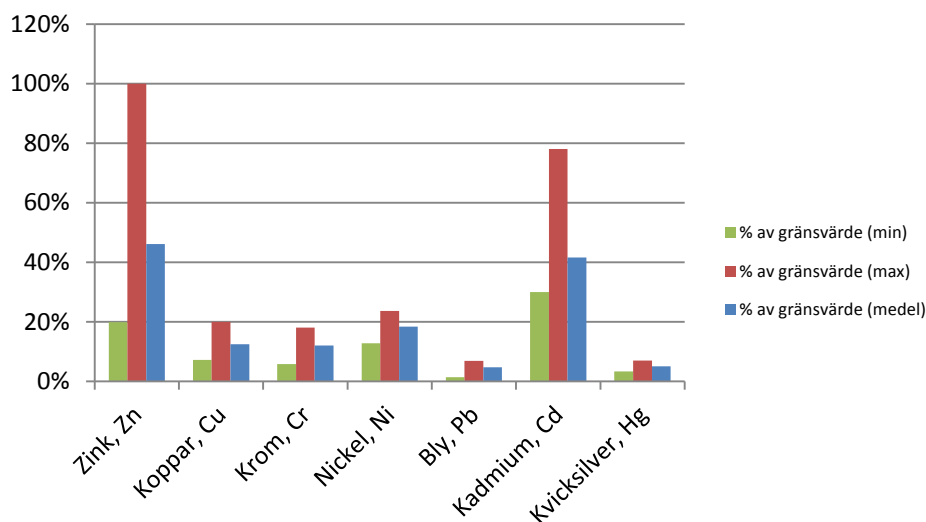
¹ Data från referensstudie (Nilsson, 2013) baserad på 10 samrötningsanläggningar (matavfall ej huvudsakligt substrat).

² Data från referensstudie (Nilsson, 2013) baserat på 7 samrötningsanläggningar (matavfall huvudsakligt substrat).

³ Medelvärde anges inom parentes.

4.3.2 Metaller och synliga föroreningar

Metallinnehållet i biogödseln kan sätta begräsningar i användandet enligt riktvärden för metallinnehåll i biogödsel som anges i SPCR 120 (SPCR 120, 2013). Alla anläggningar ligger inom ramen för dessa gränsvärden, se Figur 2, dock förekommer fall där zink- och kadmiumkoncentrationen ligger i nivå med eller strax under gränsvärdet. Det finns riktvärden för metalltillförsel till åkermark som kan sätta begräsningar kopplat till spridningsmängder baserat på fosfor- och kvävekoncentrationer, detta har dock inte studerats i denna rapport.



Figur 2. Metallinnehåll i biogödsel från de deltagande anläggningarna.

Figure 2. Metal content in the digestates from the participating plants.

I Naturvårdsverkets förslag om hållbar återföring av fosfor har det förslagits nya gränsvärden för metaller i biogödsel (SNV, 2013). I rapporten redogörs för en konsekvensanalys (Malmberg och Wiberg, 2013) där de utvärderat vilka följder de föreslagna nya gränsvärdena för metaller i biogödsel skulle leda till. De observerade att anläggningar där matavfall rötas får problem med avsättningen av biogödseln på grund av högt kadmiuminnehåll. Andra studier där biogödsel baserad på matavfall undersökts visade på låga halter av tungmetaller, bortsett från zink där halten var högre vilket kan begränsa mängden biogödsel som kan tillföras per hektar åkermark (Bergström-Nilsson och Blackert, 2012).

Synliga föroreningar så som partiklar av plast, glas, metall och kompositmaterial större än 2 mm får i enighet med SPCR 120 inte överstiga 0,5 viktprocent av torrsbstanshalten (SPCR, 2013). Under 2013 har alla dispenser för analys av synliga föroreningar som funnits på SPCR 120 certifierade biogasanläggningar dragits in och en handlingsplan har upprättats, med syftet att öka kunskapen kring varifrån synliga föroreningar kommer (Avfall Sverige, 2013a). Detta ska leda till att lämpliga åtgärder kan vidtas för att nå närmare en vision om att inga synliga föroreningar skall förekomma i biogödseln.

5 Bedömning av begränsningar för befintliga substrat

Baserat på erfarenheter från de i projektet deltagande anläggningarna och referensgruppen har substraten som behandlas på anläggningar bedömts med avseende på dess biologiska, mekaniska och administrativa/organisatoriska begränsningar. De olika typerna av begränsningar förklaras och diskuteras nedan både i koppling till specifika substrat och till de centrala faktorer som dessa påverkar och som sedan har valts ut för vidare ekonomisk analys. Resultatet av bedömningen presenteras också överskådligt i Tabell 3, som syftar till att ge brukare en bild av de specifika substratens eventuella begränsningar på biogassystemet.

5.1 Biologiska begränsningar

Biologiska begränsningar innebär i det här fallet begränsningar hos substratet som medför att det inte utnyttjas optimalt med avseende på dess metanpotential. Anledningar till att substrat inte utnyttjas fullt ut kan vara instabil process eller begränsad tillgänglighet av det organiska materialet. Instabilitet i den biologiska processen kan orsakas av variationer i inflöde avseende kvalitet och kvantitet, för låga koncentrationer av essentiella ämnen eller för höga koncentrationer av potentiellt hämmande ämnen.

Den biologiska processen som omvandlar organiskt material till biogas gynnas av stabila processförhållanden. Om substratmixens mängd och sammansättning varierar över tid så hinner inte den aktiva mikrofloran anpassa sig till rådande förhållanden vilket kan ge obalans i processen med ofullständig nedbrytning till följd. Variationer i inflöde kan orsakas av kortsiktiga avtal till följd av substratkonkurrens och säsongsvariationer av olika substrat. Fettavskiljarslam är ett exempel på ett substrat med varierande TS-halt till följd av den varmspolning som tillämpas för att lösa upp fett. Vidare kan substrat som innehåller partiklar som sedimenterar, såsom sand, bidra till en successiv minskning av aktiv röt-kammarvolym vilket resulterar i minskande uppehållstid och ökande belastning även om inflödet är konstant.

För en optimal nedbrytningsprocess behöver mikroorganismerna tillgång till näringsämnen och spårämnen. Växtmaterial som vallensilage innehåller inte tillräckliga halter av alla de ämnen som behövs i processen. Kvoten mellan kol och kväve används ofta för att beskriva ett substrats kväveinnehåll. Om denna kvot är för hög kan mikroorganismerna inte växa tillräckligt för att bryta ner allt kol. Om kvoten däremot är låg finns risk för hämning av processen på grund av höga halter ammoniak. Detta gäller ofta substrat med animaliskt ursprung såsom slakteriavfall och fiskslam. En annan orsak till hämning kan vara fettsyror, som bildas vid nedbrytning av fettriiga substrat såsom fettavskiljarslam och fiskslam. Ytterligare hämningsrisk relaterad till fiskslam är kopplad till hög salthalt, något som också rapporterats kunna förekomma i matavfall.

Begränsningar relaterad till för höga eller för låga halter av olika ämnen gäller när substratet rötas ensamt eller utgör en betydande andel av mixen. En möjlig åtgärd är i det fallet samrötning för att späda ut eller tillsätta kompletterande näringsämnen.

I en del substrat är tillgänglighet av det organiska materialet begränsad för nedbrytning på grund av sin struktur. Detta gäller framförallt fibrer av lignocellulosa som återfinns i växtmaterial, gödsel och rester från torrfodertillverkning. Tillgängligheten av fibrer i växtmaterial påverkas av växttyp och skördetid.

En ytterligare anledning till att substratets metanpotential inte utnyttjas fullt ut är att en del av det organiska materialet avskiljs innan rötammaren. Detta är en fysikalisk och inte en biologisk process, men fenomenet ingår här i definitionen av biologiska begränsningar eftersom effekten blir likvärdig. Källsorterat matavfall och förpackade restprodukter från livsmedelsindustrin måste förbehandlas för att kunna behandlas i en våtröttningsanläggning och för att avskilja oönskat material. Det rejekt som uppkommer i förbehandlingen innehåller mer eller mindre organiskt material vilket medför en förlust av metanpotential. Metanpotential går också förlorad om fett från fettavskiljarlam stelnar och fastnar på ytor innan det kommer in i rötammaren.

5.2 Mekaniska begränsningar

Mekaniska begränsningar utgörs av egenskaper som påverkar pumpning och omrörning, som medför slitage på utrustning och risk för driftstopp genom exempelvis igensättning. Dessa begränsningar innefattar också behov av förbehandling för att göra materialet mekaniskt hanterbart. Ett substrats mekaniska begränsningar styr behovet av reservdelar och personal och påverkar därmed anläggningens driftskostnad.

En del substrat kan över huvud taget inte behandlas i rötammaren utan någon typ av föregående behandling. En sådan förbehandling kan innefatta öppning och avlägsnande av packmaterial kring förpackade restprodukter från livsmedelsindustri eller spädning, sönderdelning och separering av oönskat material från organiska avfallsfraktioner från hushåll, restauranger och storkök. Förbehandlingen resulterar i en slurryfraktion som går till rötning och en rejektfraktion som behandlas på annat sätt. Den extra hanteringen leder till ökade drifts- och personalkostnader.

Plast, papper och inerta material som kan förekomma i organiska avfallsfraktioner från hushåll, restauranger och storkök sliter på förbehandlingsutrustningen och, i de fall de inte sorteras ut med rejekt, även på utrustning i nedströmsprocesser. Liknande problem är förknippade med gödsel och grönsaksavfall, vars innehåll av sand och grus, kan orsaka slitage på pumpar och igensättningar. Även fetrika substrat kan orsaka igensättningar då fett kan stelna och fastna på ytor såsom rörledningar och kanter. Matavfallsslurry har hög viskositet och kan vara svårt att pumpa, speciellt på vintern.

5.3 Administrativa/organisatoriska begränsningar

Administrativa/organisatoriska begränsningar är faktorer förknippade med konkurrens om substrat, transport av substrat samt regelverk och certifiering/avsättning av biogödseln vid behandling av gällande substrat. Ett substrats administrativa/organisatoriska begränsningar styr kostnad för transport av substrat, tillgång på substrat samt i viss mån värdet av biogödseln.

Konkurrens råder mellan biogasanläggningar om rena, pumpbara, lättnedbrytbara substrat, vilket medför att priserna på substrat ökar och att substratleverantörer inte vill skriva långa avtal. Exempel på konkurrensutsatta substrat är pumpbara restprodukter från livsmedelsindustrin och slakteriavfall. Det råder liten konkurrens om matavfall däremot råder större konkurrens om kvarnat hushållsavfall då det inte kräver förbehandling. Förutom konkurrens mellan biogasanläggningarna kan det råda konkurrens med andra branscher såsom djuruppfödning där betalningsviljan är större. Detta gäller exempelvis en del livsmedelsindustriavfall.

De flesta anläggningar väljer att certifiera sin biogödsel enligt SPCR 120. Certifieringen ställer bland annat krav på innehåll av metaller och synliga föroreningar och ABP-förordningen ställer krav på hygienisering vilket påverkar behandling av t.ex. gödsel, slakteriavfall, matavfall och livsmedelsavfall med animaliskt ursprung. Förbehandling av matavfall är viktig för att minimera mängden synliga föroreningar. I vissa fall kan växtodlingsrester innehålla hög halt av kadmium, t.ex. potatisskal. Om kraven på metallinnehåll ytterligare skärps kan detta begränsa vilka substrat och substratblandningar som kan tas emot och behandlas på biogasanläggningarna då avsättningen av biogödsel är av största vikt. Anläggningsägarna har inte påtalat några problem med avsättningen för biogödseln. Det har dock framgått i anläggningsintervjuerna att hantering av biogödsel är en kostnad som påverkar anläggningsekonomi i stor utsträckning. Med ökad mängd avfall som behandlas genom rötning kan ökade mängder biogödsel medföra problem med avsättning.

Transportbegränsningar kopplade till substrat är främst relaterade till låg TS-halt, som ofta är förenat med låg halt av material som kan omvandlas till biogas. Därmed blir transportkostnaden hög i förhållande till intäkten för producerad biogas, vilket kan gälla för exempelvis flytgödsel och fettavskiljarslam.

Tabell 3. Befintliga substrat som behandlas på biogasanläggningarna som deltar i projektet. Specifikation av Biologiska begränsningar (B), Mekaniska begränsningar (M) och Administrativa/organisatoriska begränsningar (A). Grön färg: inga större begränsningar; Gul färg: vissa begränsningar; Röd färg: stora begränsningar, speciallösningar krävs för att kunna använda substratet för biogasproduktion.

Table 3. Substrates that are treated at the biogas plants involved in the project. Specifications regarding Biological limitations (B), Mechanical limitations (M) and administrative/organizational limitations (A). Green color: no major limitations; Yellow color: some limitations; Red color: large limitations, special solutions are required to be able to utilize the substrate for biogas production.

Substrat	B	M	A	Kommentarer
Djurfoder, flytande (rester från hundmatstillverkning)				B: Risk för hämning på grund av högt kväveinnehåll. A: Hygienisering krävs.
Djurfoder, fast (rester från torrfodertillverkning)				B: Innehåller svårnedbrytbara fibrer.
Fettavskiljarslam				B: Varierande TS-halt, men ofta låg. Risk för hämning pga. högt fetthinnehåll. M: Fett kan fastna på ytor. Kan innehålla föroreningar. A: Transportbegränsningar pga. låg TS-halt
Fiskslam				B: Risk för hämning pga. hög salthalt, fetthalt och kvävehalt. A: Luktproblem. Hygienisering krävs.
Grönsaksavfall				M: Risk för föroreningar som sand och jord. A: I vissa fall hög kadmiumhalt.
Livsmedelsindustri förpackade restprodukter.				M: Förbehandling krävs. Relativt hög rejektandel. A: Konkurrens om substrat med annan användning.
Livsmedelsindustri övrigt, pumpbart				A: Konkurrens om substrat.
Nöt- och svin flytgödsel				B: Risk för hämning pga. höga kvävehalter. Innehåller svårnedbrytbara fibrer. M: Risk för föroreningar som strömaterial, sand och grus. A: Transportbegränsningar pga. låg TS-halt.
Matavfall från hushåll				M: Förbehandling krävs. Kan innehålla föroreningar som plast och sten/grus. A: Hygienisering krävs enligt nationell lagstiftning. Risk för förorening av biogödsel i form av synliga föroreningar.
Matavfall från restauranger och storkök				B: Risk för hämning pga. hög salthalt. M: Förbehandling krävs. Risk för föroreningar som bestick. A: Hygienisering krävs enligt nationell lagstiftning.

Slakteriavfall				B: Risk för hämning pga höga kvävehalter. M: Risk för föroreningar som benrester. A: Hygienisering krävs enligt ABP. Konkurrens om substrat mellan anläggningar.
Slam från industriell vattenrening (slakteri)				A: Hygienisering krävs.
Vallensilage				B: Svårnedbrytbart. M: Innehåller fibrer som kan orsaka igensättningar. A: Konkurrens om substrat med annan användning.

6 Känslighetsanalys: Substratets påverkan på kostnader och intäkter

I detta kapitel görs en utvärdering av hur faktorer kopplade till substrat och avfall för biogasproduktion kan påverka kostnader och intäkter för en anläggning. Ett antal faktorer/flaskhalsar har diskuterats inom projektet varav följande har valts ut då de ansetts ha stor påverkan på ekonomin på en anläggning alternativt vara intressant inom referensgruppen:

- Metanutbyte
- Kostnad för transport av substrat
- Kostnader för personal och underhåll
- Värde av biogödsel
- Ökad utsortering av matavfall

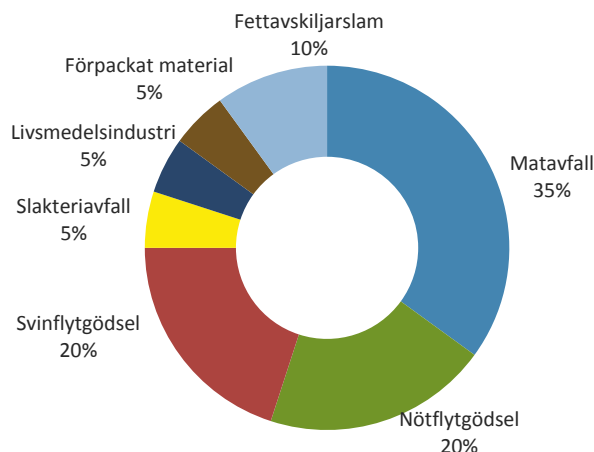
Beräkningarna har gjorts utifrån en fiktiv referensanläggning (beskrivs närmare i avsnitt 6.1 samt bilaga C). Resultatet av beräkningarna redovisas dels utifrån en antagen substratsammansättning, dels för varje separat substrat utifrån dess egenskaper. Beräkningarna har gjorts för att spegla produktionskostnad för fordonsgas på en samröttningsanläggning fram till då fordonsgasen lämnar anläggningen, inklusive förbehandling, rötning, uppgradering och komprimering. Kostnad för distribution och tankställe har därmed exkluderats.

Beräkningarna har gjorts i en förenklad röttningsmodell baserad på resultat från tidigare arbeten inom Waste Refinery (Holmström *et al.*, 2013; Carlsson *et al.*, 2013). Indata för kostnader har uppdaterats dels genom diskussioner inom projekt- och referensgrupp, dels genom kommunikation med två pågående Waste Refinery projekt inom biogasområdet: "WR 54, Energi- och kostnadseffektiv biogasproduktion från avfall" (Yngvesson *et al.*, 2013), "WR 64, Styrmedel för ökad biogasproduktion" (Bisaillon *et al.*, 2013). Dessutom har indata baserats på befintlig litteratur (se Bilaga C).

Syftet med utvärdering var att ge en inblick vilka faktorer kopplat till substrat som har stor respektive liten inverkan på en anläggnings ekonomi. **De faktiska nivåerna på kostnader och intäkter för idag befintliga anläggningar kan variera avsevärt beroende på exempelvis lokala förutsättningar, storlek på anläggningen samt byggnadsår.**

6.1 Referensanläggning

Referensanläggningen motsvarar en stor samröttningsanläggning motsvarande 60 000 ton mottaget substrat per år, där matavfall och gödsel utgör huvuddelen. Substratsammansättningen som använts i beräkningarna för referensanläggningen redovisas i Figur 3.



Figur 3. Substratsammansättning i referensanläggningen som baseras på de dominerande substrat som behandlas på de deltagande biogasanläggningarna.

Figure 3. Substrate mix in the reference plant that is based on the dominating substrates treated at the participating biogas plants.

6.1.1 Substratspecifika antaganden

Nedan definieras de substrat och avfall som tagits med i utvärderingen. I Tabell 4 redovisas de antaganden som gjorts för TS- och VS-halt, metanpotential, metanutbyte samt metanhalt i den producerade rågasen. Egenskaperna för varje substrat har till störst del tagit från Substrathandboken (Carlsson och Uldal, 2009) men har även justerats utifrån erfarenheter från de anläggningsägare som är med i referensgruppen. För matavfall har metanpotentialen i det förbehandlade matavfallet baserats på Carlsson *et al.* (2013).

Matavfall: källsorterat matavfall från hushåll och därmed jämförligt avfall från verksamheter. Kräver förbehandling.

Gödsel: flytgödsel från svin och nöt.

Slakteriavfall: Betraktas som en mix av mjukdelar, mag-/tarminnehåll och spillblod.

Livsmedelsindustri: Inom livsmedelsindustrin finns en mängd olika substrat. Här betraktas det som en mix av ett flertal substrat ur substrathandboken. Målet har varit att avspegla ett substrat med högt metanutbyte. Mejeriprodukter och fettavskiljarslam har ej tagits med då de betraktas som egna substrat.

Förpackat material: Förpackat material med mejeriprodukter. Kräver förbehandling där förpackningarna sönderdelas och avskiljs.

Fettavskiljarslam: Slam från fettavskiljare som samlats in från restauranger och industrier. Koncentrationen av fett kan variera avsevärt.

Tabell 4. Antaganden om TS- och VS-halt, metanpotential, metanutbyte vid fullskaledrift samt metanhalt i rågas för de utvärderade substraten.

Table 4. Assumed TS- and VS content, methane potential, methane yield in full-scale operation and methane content in raw gas.

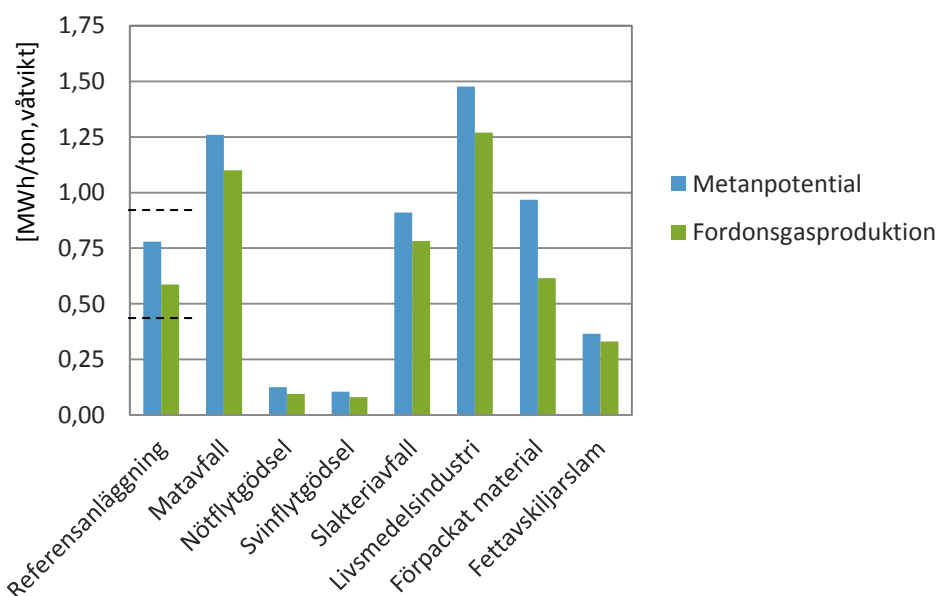
Substrat	TS-halt (%)	VS-halt (% av TS)	BMP (Nm ³ CH ₄ /ton VS)	Metanutbyte vid fullskaledrift (% av BMP)	Metanhalt i rågas (%)
Matavfall	33	85	550 ¹	95	65
Nötflytgödsel	8	80	213	80	60
Svinflytgödsel	5	80	268	80	60
Slakteriavfall	19	89	547	90	64
Livsmedelsindustri	34	94	470	90	64
Förpackat material	20	95	520	95	67
Fettavskiljarslam	6	98	682	95	70

1. Avser metanpotentialen i det förbehandlade materialet, då rejekt har avskilts.

I Figur 4 illustreras skillnaden mellan metanpotential och den beräknade erhållna fordonsgasproduktion i fullskaleanläggning för respektive substrat utifrån antaganden i tabellen ovan.

Som figuren visar är det stor skillnad i fordonsgasproduktion mellan de olika substraten per ton våtvikt mottaget substrat. Att behandla ett ton matavfall ger tio gånger så mycket fordonsgas jämfört med att röta nöt- och svingödsel. Slakteriavfall och substrat från livsmedelsindustri är ett medelvärde för ett antal olika substrat, vilket innebär att det inom respektive kategori finns strömmar som ger både mer och mindre fordonsgasproduktion.

Metanutbytet per ton beror på sammansättningen samt koncentrationen av nedbrytbart material i substratet. I avsnitt 6.2 utvärderas metanutbytets inverkan på den totala produktionskostnaden.



Figur 4. Metanpotential och beräknad fordonsgasproduktion för substratblandningen i referensanläggningen samt för de studerade substraten. Gasproduktionen är uttryckt som MWh/ton våtvikt mottaget substrat. (---) markerar intervall för metanproduktion från studerade anläggningar.

Figure 4. Methane potential and calculated vehicle gas production for the substrate mix in the reference plant and the evaluated substrates. The gas production is expressed as MWh/tonne wet weight received substrate. (---) indicates the interval for methane production from studied plants.

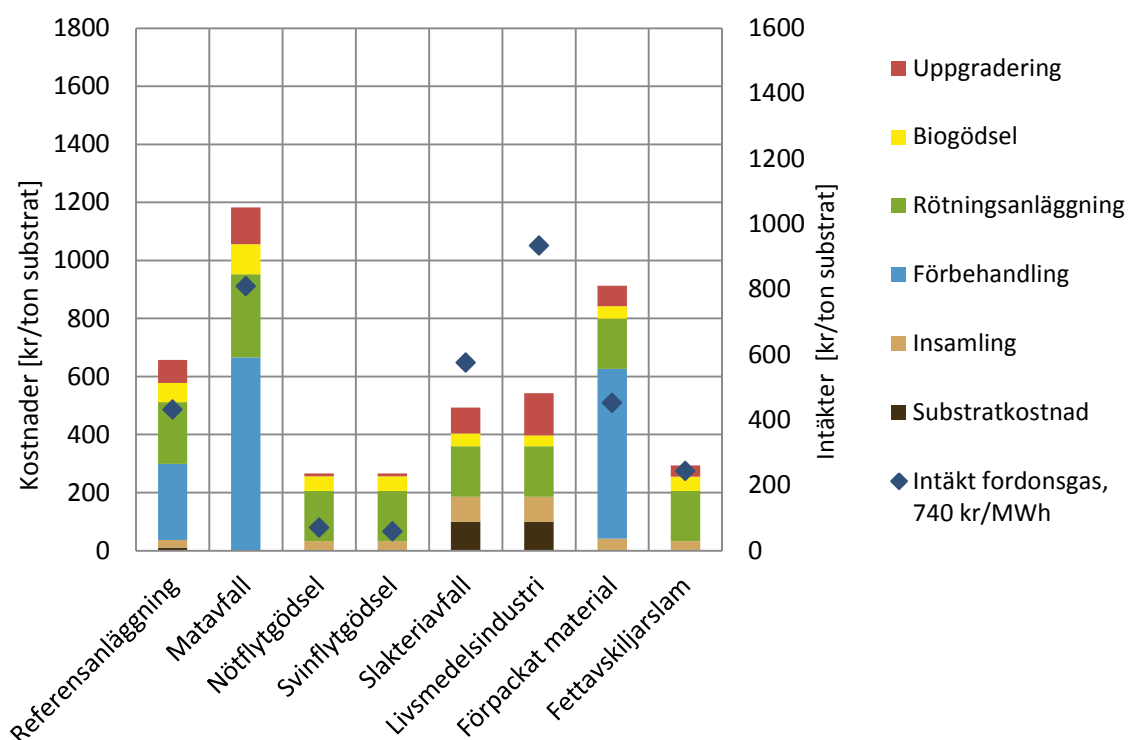
6.1.2 Produktionskostnader och intäkter enligt utgångsläget

I Figur 5 redovisas produktionskostnader och intäkter uttryckt i kr/ton substrat då det rötas förutsatt de kostnader och intäkter som specificerats i appendix C. Produktionskostnaden för referensanläggningen blev 660 kr/ton och intäkter från fordonsgasförsäljning 430 kr/ton vilket ger en nettoförlust. De största kostnadsposterna är förbehandling av matavfall samt rötning inklusive hygienisering.

För de enskilda substraten visar resultaten på högst kostnad per ton för matavfall följt av förpackat material. Högst intäkt räknat per ton ger avfall från livsmedelsindustrin samt matavfall. Med de ovan givna förutsättningarna är det enbart slakteriavfall och avfall från industrin som ger en nettointäkt. För matavfall och förpackat material utgörs största enskilda kostnaden av förbehandling.

En substratkostnad på 100 kr/ton för slakteriavfall och livsmedelsindustriavfall har antagits i analysen. För exempelvis matavfall betalar avfallslämnaren en mottagningsavgift för att få avfall behandlat. I ovanstående beräkningar är inte denna medräknad eftersom figuren är avsedd att spegla skillnaden mellan kostnader och intäkter. Enligt Holgersson (2011) kunde biogasanläggningar år 2011 få en mottagningsavgift upp till 750 kr/ton men med en uppskattad medelnivå på 550 kr/ton. Samtidigt bedömdes mottagningsavgiften sjunka på sikt. Med en mottagningsavgift på 400-500 kr/ton matavfall förändras skillnaden mellan kostnader och intäkter för matavfall från en klar nettoförlust till nettointäkt (cirka 25-125

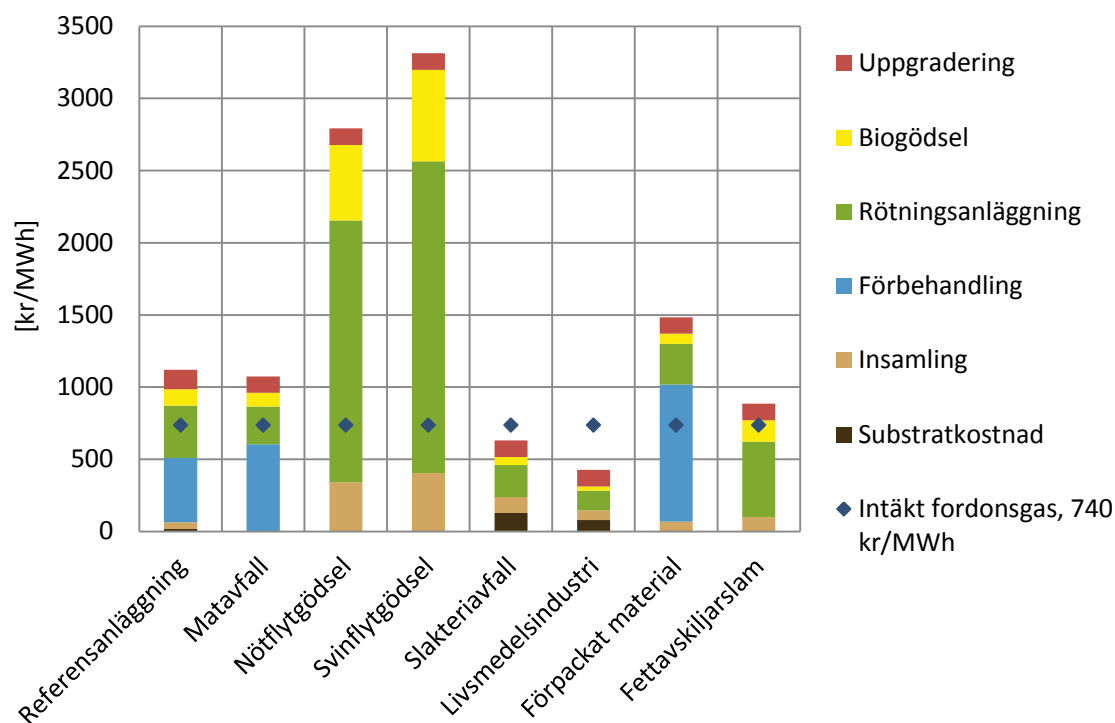
kr/ton). För referensanläggningen innebär en motsvarande mottagningsavgift att nettoförlusten minskar till totalt cirka 30-65 kr/ton.



Figur 5. Produktionskostnad och intäkt från fordonsgasförsäljning uttryckt i kr/ton substrat. Resultaten visas för substratblandningen i referensanläggningen samt för de studerade substraten separat. I posten rötningsanläggning inkluderas mottagning av flytande substrat som ej behöver förbehandlas, hygienisering samt rågasproduktion.

Figure 5. Production cost and revenues for vehicle gas in SEK/ton substrate. The results are shown for the reference plant and the evaluated substrates separately. The entry "rötningsanläggning" includes receiving of liquid substrates, pasteurization and raw gas production.

I Figur 6 redovisas produktionskostnader och intäkter uttryckt i kr/MWh. I figuren har även nivån för fordonsgasintäkten markerats.



Figur 6. Produktionskostnad och intäkt från fordonsgasförsäljning uttryckt i kr/MWh fordonsgas. Resultaten visas för substratblandningen i referensanläggningen samt för de studerade substraten separat.

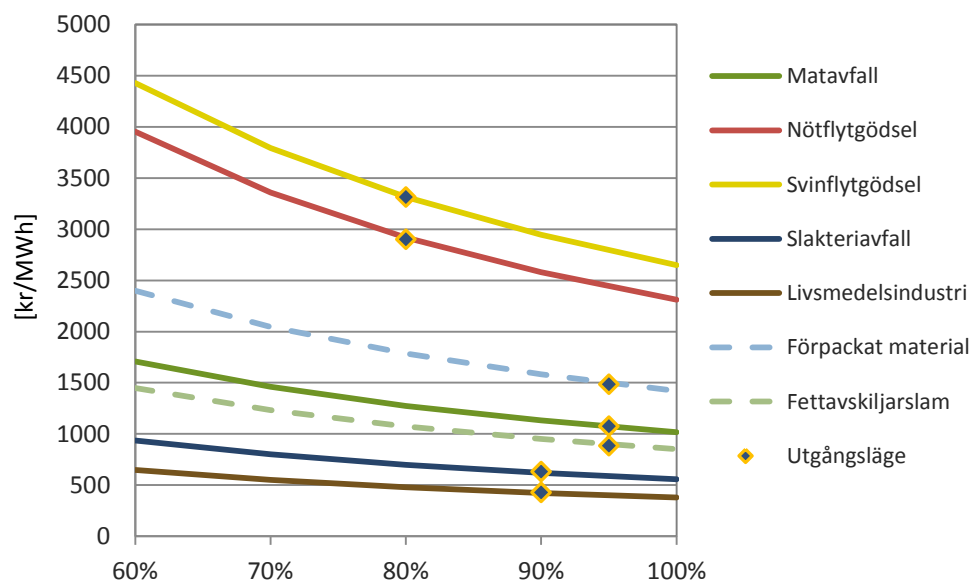
Figure 6. Production cost and revenues for vehicle gas in SEK/MWh vehicle gas. The results are shown for the substrate mixture in the reference plant and the evaluated substrates separately.

Totalt uppgår produktionskostnaden i referensanläggningen till 1100 kr/MWh, vilket innebär att fordonsgasintäkten överstigs med cirka 400 kr/MWh.

De substrat som utmärker sig mest är flytgödsel, som får en produktionskostnad som överstiger 2500 kr/MWh. Uttryckt i kr/ton har gödsel bland de lägsta kostnaderna men de har också lägst fordonsgasproduktion per ton vilket är anledningen till att kostnaden per MWh blir så hög.

6.2 Metanutbytets inverkan på totalkostnad

I Figur 7 visas hur produktionskostnaden, uttryckt i kr/MWh, ändras för de studerade substraten vid ändrat utbyte (% av BMP) i rötkammaren vid fullskaledrift för respektive substrat. I figuren har även produktionskostnaden i utgångsläget markerats.



Figur 7. Total produktionskostnad, uttryckt i kr/MWh fordonsgas, som funktion av metanutbyte (% av BMP) i rötkammare vid fullskaledrift.

Figure 7. Total production cost, in SEK/MWh vehicle gas, as a function of methane yield (% of BMP) in a anaerobic digester in full-scale operation.

När fordonsgasproduktionen ändras ger det två effekter på resultatet. Dels ändras rörliga kostnader förknippat med mängd fordonsgas, såsom energianvändning i uppgradering och komprimering; dels ändras kostnader relativt eftersom kostnaderna uttryckt i kr/ton räknas om till kr/MWh utifrån den ökade eller minskade mängden fordonsgas. I övrigt har inga extra kostnader lagts till beräkningarna.

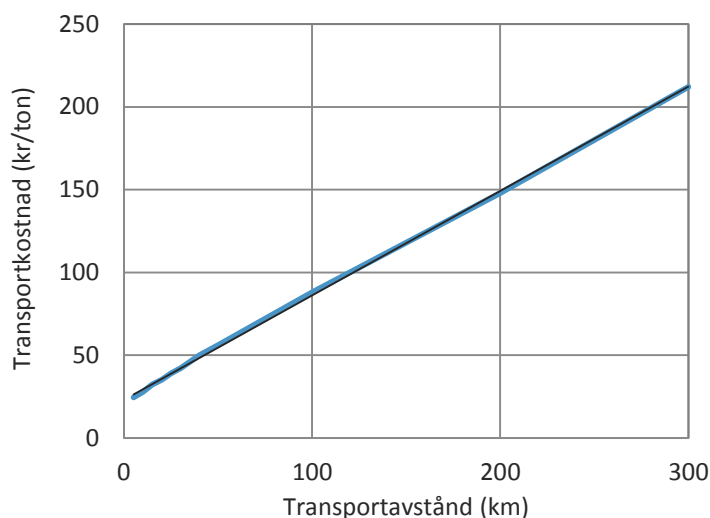
Nöt- och svingödsel visar på störst förändring av produktionskostnaderna vid förändring av metanutbytet, nästan en förändrad kostnad på 2000 kr/MWh inom intervallet. De höga variationerna av produktionskostnaderna för nöt- och svingödsel kan kopplas till de höga fasta kostnader som slås ut på en liten metanproduktion pga. deras låga TS-halt och metanpotential. För matavfall förändras totalkostnaden med cirka 700 kr/MWh inom intervallet och för slakteriavfall knappt 400 kr/MWh.

För matavfall och förpackat material påverkas fordonsgasproduktionen även av mängden nedbrytbart material som följer med rejektet vid förbehandlingssteget. Rejektandelen för matavfall har antagits till 20 % och för livsmedelsindustriavfall till 30 % i denna utvärdering. Enligt en studie på förbehandlingsanläggningar i Sverige varierar mängden rejekt mellan 5 % och 40 % (Fransson, 2013).

6.3 Kostnad för transport av substrat

Figur 8 visar transportkostnaden per ton som funktion av avståndet. Kostnaden har beräknats utifrån en timkostnad på 900 kr/h och uppskattad tidsåtgång för en transport för en tankbil som rymmer 35 ton, där lastning och lossning samt tvättning antas till 45

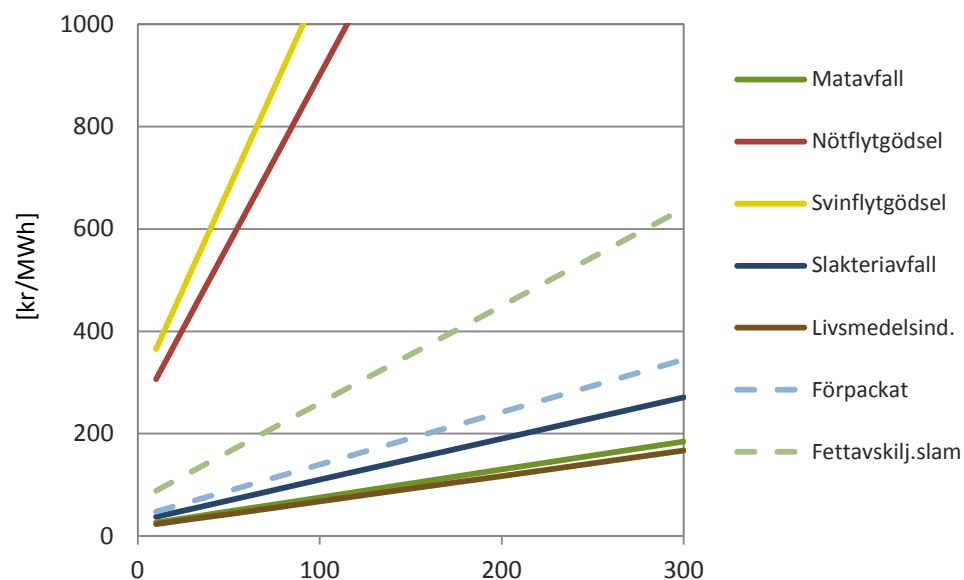
minuter per resa (Berglund *et al.*, 2012a). Medelhastigheten för olika transportavstånd har antagits enligt Holgersson (2011).



Figur 8. Transportkostnad i kr/ton som funktion av avstånd.

Figure 8. Cost for transport of substrate in SEK/tonne as a function of distance.

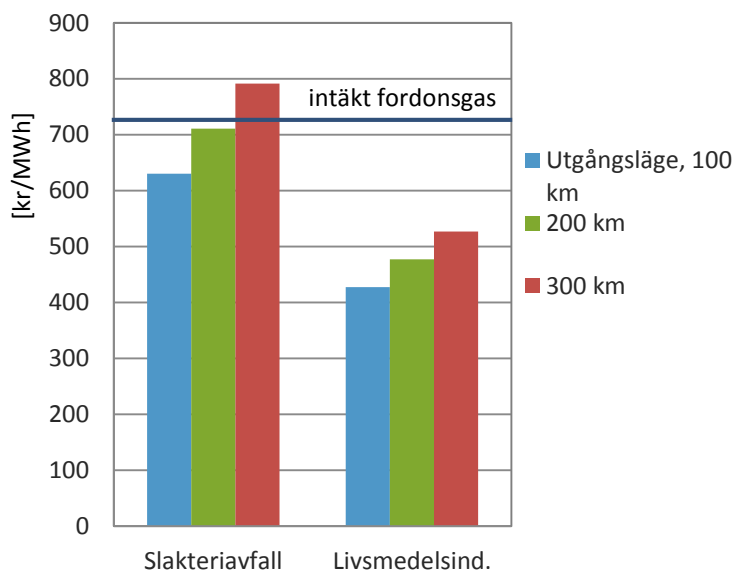
I Figur 9 visas kostnaden att transportera de studerade substraten uttryckt i kr/MWh producerad fordonsgas. Som framgår av figuren är det stor skillnad mellan de olika substraten. De dyraste substraten, flytgödsel, har låg TS-halt och relativt liten fordonsgasproduktion per ton, vilket gör det kostsamt att transportera även korta avstånd.



Figur 9. Kostnad för transport som funktion av avstånd uttryckt i kr/MWh fordonsgas för de utvärderade substraten.

Figure 9. Cost for transport as a function of distance for the evaluated substrates expressed as SEK/MWh vehicle gas.

I Figur 10 visas hur den totala produktionskostnaden påverkas för slakteriavfall och livsmedelsavfall då transportavståndet ökas från 100 km till 200 km respektive 300 km.



Figur 10. Fordonsgasproduktionskostnad för substratgrupperna slakteriavfall och livsmedelsavfall vid 100 km, 200 km och 300 km transport.

Figure 10. Vehicle gas production cost for the substrates slaughter waste and industrial food waste with a transport of 100 km, 200 km and 300 km.

Här bör nämnas att substraten slakteriavfall och livsmedelsavfall är baserat på medelvärden av ett antal olika substrat. Inom de olika kategorierna finns det substratfraktioner där kostnaderna är både högre och lägre. Exempelvis har mjukdelar från slakterier nästan dubbelt så stor metanpotential jämfört med medelvärdet.

6.4 Ökad betalningsförmåga för biogödsel

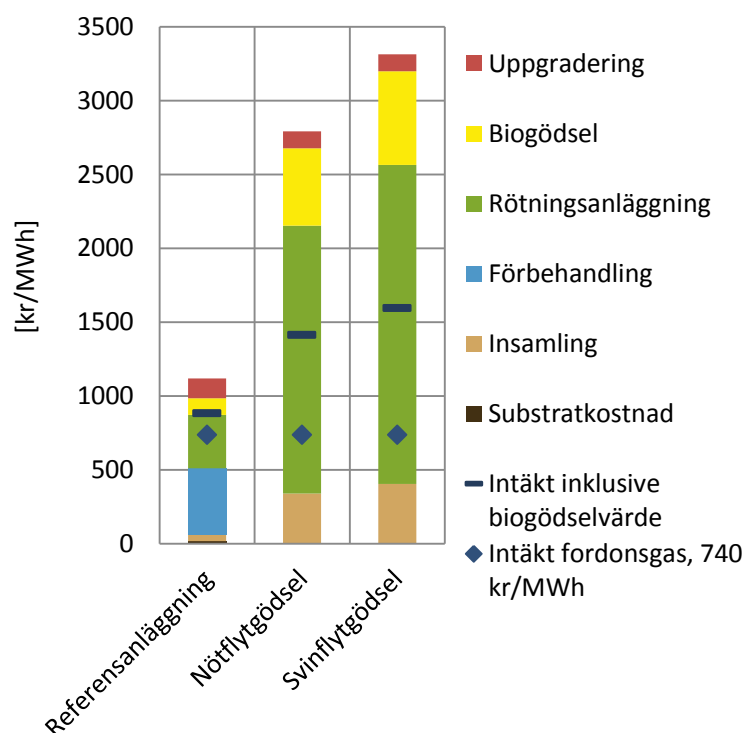
I referensfallet beräknas endast kostnader i form av transporter in, ingen intäkt för biogödseln inkluderas. Om värdet på näringsinnehåll i biogödsel värderas utifrån marknadspriset på stallgödsel enligt Tabell 5 (Kvarnmo, 2013) skulle det ge en intäkt utöver fordonsgasförsäljningen. Utgående ifrån medelvärde över näringsinnehållet i biogödseln för de anläggningar som ingår i projektet (se Tabell 5) skulle motsvarande ersättning vara 75 kr/ton biogödsel.

Tabell 5. Värdering av näringsämnen i biogödsel samt näringsinnehåll i biogödsel på de studerade biogasanläggningarna i projektet (Kvarnmo, 2013).

Table 5. Market value for nutrients in digestate and nutrient concentration in digestates in the studied biogas plants (Kvarnmo, 2013).

Näringsämne	Värde, kr/kg	Näringsinnehåll i biogödsel (medel ingående anläggningar) (g/kg TS)	Näringsvärde i biogödsel (kr/kg TS)
N	11	116	1,3
P	21	17	0,4
K	9	41	0,4

I Figur 11 visas hur intäkterna skulle förändras i förhållande till kostnaderna för referensanläggningen. Dessutom visas motsvarande intäkt för flytgödsel baserat på dess näringsinnehåll.



Figur 11. Intäkt för en anläggning med eller utan ersättning för biogödseln enligt marknadsvärdet på näringsinnehållet.

Figure 11. Revenue for a biogas plant with or without compensation for digestate according to the market value of nutrient content.

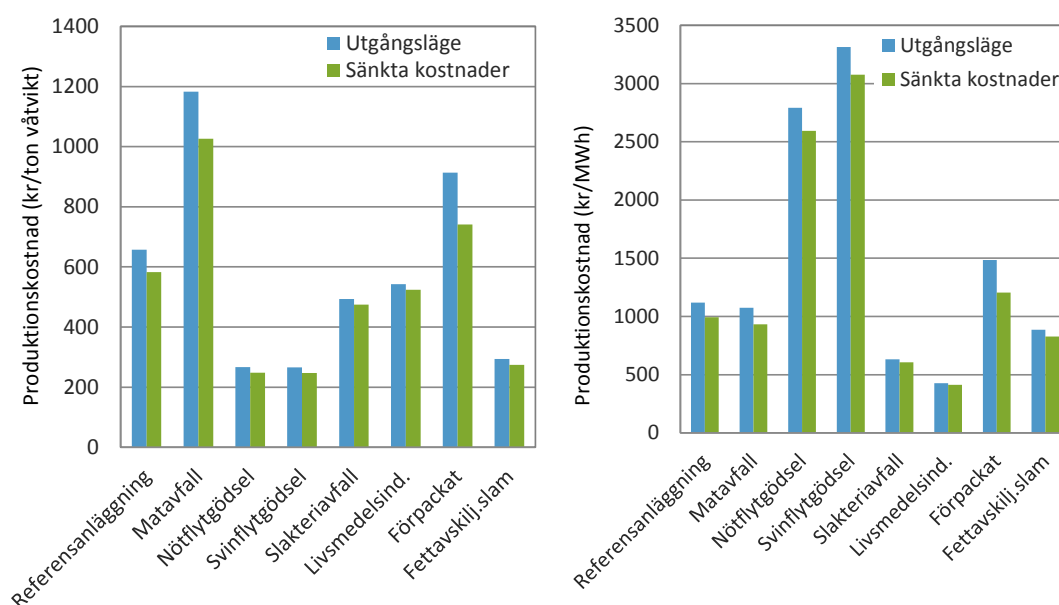
För referensanläggningen skulle intäkterna öka med 150 kr/MWh medan för nöt- och svinflytgödsel skulle intäkterna öka med 680 kr/MWh respektive 860 kr/MWh. Den stora skillnaden i intäkt beror på att den producerade mängden fordonsgas är mycket lägre för flytgödsel än för substratblandningen i referensanläggningen.

6.5 Minskade kostnader för personal och underhåll

I det pågående projektet *"Energi- och kostnadseffektiv biogasproduktion från avfall"* (Yngvesson *et al.*, 2013) har kostnad för personal, reservdelar, energi och externa tjänster utvärderats för fyra biogasanläggningar¹ med förbehandling, samt fyra förbehandlingsanläggningar.

Det preliminära resultatet från den studien visar på stora variationer mellan anläggningar i kostnaderna för dessa poster, mellan 183-661 kr/ton behandlad mängd avfall med en medelkostnad för de fyra anläggningarna på 408 kr/ton. Resultaten visar även att förbehandling av fast och förpackat material är den zon i en anläggning som har störst behov av personal och reservdelar. För fast material har ett medelvärde på personalkostnaden beräknats till 119 kr/ton och kostnaden för reservdelar och förbrukningsmaterial till 113 kr/ton. För förpackat material är medelkostnaden för personal 195 kr/ton och kostnaden för reservdelar och förbrukningsmaterial 83 kr/ton. Hygienisering och rötning är de anläggningszoner som kräver mest energi. Då det finns stora skillnader anläggningarna emellan undersöks här vilken effekt en halvering av personal och underhållskostnader skulle få på det ekonomiska resultatet.

Figur 12 visas den totala produktionskostnaden (i kr per ton våtvikt samt kr per MWh) i utgångsläget samt om kostnaden för personal och underhåll halveras.



Figur 12. Total produktionskostnad (i kr per ton våtvikt samt kr per MWh) i utgångsläget samt vid halvering av kostnader för personal och underhåll i förbehandlings- och biogasproduktionsledet (ej uppgradering).

Figure 12. Total production cost (in SEK per tonne wet weight and kr per MWh) for the reference and for a scenario with a 50 % decrease in costs for personnel and maintenance in pretreatment and the biogas process (not upgrading).

¹ Uppgraderingsanläggningar ingick ej i studien.

En halvering av kostnaden för personal och underhåll innebär en reduktion av de totala produktionskostnaderna med mellan 4-19 %. Störst utslag fås på de substrat som kräver förbehandling, nämligen matavfall och förpackat material.

6.6 Ökad utsortering av matavfall

I samarbete med projektet *WR 64, Styrmedel för ökad biogasproduktion* (Bisaillon *et al.*, 2013) har effekten av ett krav på utsortering av matavfall utvärderats. Här sammanfattas resultatet för en anläggnings ekonomi om utsorteringsgraden ökas från 50 % till 70 %.

Ett krav på insamling av matavfall kommer sannolikt innebära allt större insatser och kostnader i samlingsledet. Då insamling av matavfall sköts av kommunerna och finansieras av avfallstaxan är det troligt att även de ökade kostnader som ett krav skulle innebära kommer att finansieras via avfallstaxan.

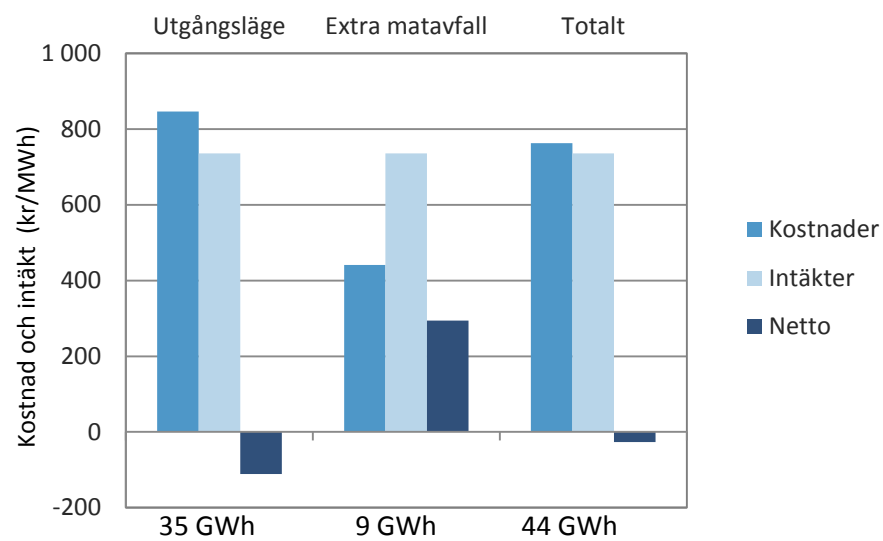
För biogasanläggningar med ledig kapacitet kommer ökade mängder utsorterat matavfall att innebära en möjlighet att öka kapacitetsutnyttjandet i anläggningen utan att nyinvesteringar krävs.

För referensanläggningen kan ökade matavfallsmängder innebära en bättre täckning av kapitalkostnaderna. Med kravet för ökad utsortering antas mängderna matavfall öka proportionellt (från 50 % till 70 % utsortering). För referensanläggningen ökar mängden avfall som rötas med 14 %². Gasproduktionen ökar med 22 % då matavfallet ger ett högre metanutbyte per ton jämfört med den mix av substrat som referensanläggningen använder i utgångsläget.

Som framgår av Figur 13 förbättras resultatet markant vid högre kapacitetsutnyttjande. Till vänster i figuren visas resultatet i utgångsläget, i mitten för den extra mängd matavfall som enbart belastas med rörliga kostnader³. Till höger i figuren visas de resulterande kostnaderna och intäkterna. Resultatet förbättras med drygt 80 kr/MWh.

² Referensanläggningen rötar i utgångsläget (dvs innan extra utsortering av matavfall) 35 % matavfall, 40 % gödsel, 25 % slakteriavfall och livsmedelsavfall (medel: 60 m³ CH₄ per ton substrat). De extra mängderna matavfall motsvarar en ökning på $((70-50)/50)*35\% = 14\%$ och har antagits fylla ledig kapacitet.

³ För matavfall får anläggningar i regel en mottagningsavgift, vilket innebär en kostnadsreduktion. En antagen mottagningsavgift på 400 kr/ton är inkluderad i de rörliga kostnaderna som en negativ kostnad (d.v.s en intäkt).



Figur 13. Produktionskostnader och intäkter för utgångsläget (t.v.), den ökade mängden matavfall (mitten) samt de sammanvägda kostnaderna och intäkterna (t.h.).

Figure 13. Production costs and revenues for the reference scenario (left), the increased amount food waste (middle), and the weighted result (right).

7 Diskussion

Känslighetsanalysen visar att metanpotentialen per ton substrat varierar kraftigt mellan olika substrat samt att metanutbytet vid fullskalig drift har stor påverkan på den totala produktionskostnaden (per energienhet). Metanproduktionen vid de studerade samrötningsanläggningarna varierar i stor utsträckning, mellan 42 – 90 Nm³/ton mottaget substrat. De substratblandningar som rötas varierar mellan anläggningarna och även inom en anläggning. Variationerna kan t.ex. vara säsongsberoende, kopplas till konkurrens och korta avtalstider eller påverkas av eventuella driftstörningar hos substratleverantören. Detta kan bidra till processtörningar och suboptimalt substratutnyttjande på grund av förändringar av organisk belastning, uppehållstid, koncentration av näringsämnen och hämmande ämnen som påverkar nedbrytningsprocessen och därigenom metanutbytet. Utjämnning av dessa variationer kan åstadkommas t.ex. genom att bygga mellanlager/bufferttankar. Investering i mellanlager/bufferttankar måste vägas mot ökade kapital- samt drift och underhållskostnader. I en systemanalys av Lantz (2013) påpekas att insatser för att utöka metanutbytet och åstadkomma lägre substratkostnad förbättrar lönsamheten för anläggningen vid behandling av dyra substrat. Däremot ska insatser göras för att minska kapitalkostnader och drift och underhållskostnader vid behandling av billiga substrat såsom gödsel.

Känslighetsanalysen påvisar att de två största posterna av en anläggnings produktionskostnader är förbehandling (för avfallsfraktioner såsom matavfall och förpackat material) och rötning. Den större delen kostnader i förbehandlingen och rötningen är kapitalkostnader (utifrån de antaganden som gjorts) och därav är nyttjandegraden av stor vikt (se exempel Kapitel 6.6). Kostnaden för drift och underhåll kan variera kraftigt för anläggningar som hanterar substrat som kräver förbehandling. Känslighetsanalysen pekar på en möjlig minskning av de totala produktionskostnaderna motsvarande upp till 19 % vid en halvering av personal och underhåll.

Möjligheten att påverka kapitalkostnader, drift och underhållskostnader samt metanutbytet vid fullskalig drift varierar mellan anläggningar och är till stor del kopplad till de substrat som finns tillgängliga och egenskaper på substratblandningen i koppling till biologiska, mekaniska och administrativa/organisatoriska begränsningar i befintlig process.

Flera av substraten kräver förbehandling för att t.ex. göra substraten pumpbara, avskilja föroreningar eller öka metanutbytet. Förbehandling för ökat metanutbyte/nedbrytnings-hastighet måste vägas mot kostnaden för förbehandlingen och bör även utvärderas i koppling till aktuell processutformning. Exempelvis kräver rötning av vallensilage effektiv sönderdelnings- och omrörningsutrustning, lång uppehållstid i rötkammaren och samrötning med andra substrat för att undvika tillsats av spårämnen som saknas i vaensilage. En annan viktig faktor är att optimera förbehandlingssteget genom att minska andelen organiskt material som hamnar i rejektet men det får inte leda till försämrad kvalitet (avseende föroreningar) på slurryn som rötas.

Det är även viktigt att utvärdera substraten utifrån dess effekt på biogödselkvalitén. En ökad betalningsförmåga för biogödseln kan öka intäkterna med upp till 20 % om full betalning för näringsvärdet i biogödseln skulle uppnås. Dock är detta långt ifrån fallet i dagsläget då få anläggningar har någon intäkt från biogödselhantering. Marknaden för

biogödseln påverkas av faktorer som tillgänglig spridningsareal i anläggningens närområde, konkurrens med tillgängligt stallgödsel, lantbrukarnas acceptans för biogödseln och regelverk. Anläggningsägarna i denna studie har i dagsläget inga problem med avsättning av biogödseln. Förslag på skärpta gränsvärden för metallinnehåll i biogödseln kan bidra till att substrat så som matavfall samrötas i mindre utsträckning samt att behovet för andra substratfraktioner ökar.

7.1 Miljöeffekter

Effektivitet och miljöpåverkan samt kostnader för biogasproduktion måste värderas utifrån vilken råvara, processlösning, lokalisering osv. som anläggningen har. Det finns teoretiska potentialer på hur mycket metan som kan erhållas från substrat men dessa begränsas av andra faktorer, såsom tekniska, ekologiska och sociala förutsättningar.

Enligt en nyutkommen rapport kan biomassaproduktionen ökas och uppnå motsvarande ca 25 – 35 TWh biodrivmedelproduktion per år (Börjesson *et al.*, 2013). De potentiella råvarorna fördelar sig olika över landet. Jordbruksrelaterade råvaror är lokaliserade i södra Sverige, medan skogsbränsle är koncentrerad till i första hand norra delar av landet.

Hur mycket av den möjliga potentialen som kan realiseras beror därför på andra faktorer också, som marknadspriser, efterfrågan, styrmedel, logistik osv. Om man beaktar råvaror från jordbruket till exempel då måste man även ta hänsyn till utnyttjande av mark så att ökningen i biomassaproduktion inte kommer i konflikt med livsmedelproduktion. Marken får inte utnyttjas så att produktiviteten långsiktigt minskar, vilket också kan kopplas till markbördighet och biodiversitet.

Eftersom biogasprocessen sker i slutna rötkammare stannar växtnäringen kvar i den rötade biogödsel. Lantbrukarna har goda erfarenheter av biogödseln som generellt är bättre än exempelvis flytgödsel när det gäller egenskaper som lukt, smittämnen och spridbarhet. En snabbare kväveverkan av biogödsel jämfört med flytgödsel har noterats. Resultat från markbördighetsförsök pekar också på att biogödsel även gynnar markens bördighet och mikroliv. Innehållet av växtnäringsämnen och deras inbördes förhållande varierar en del mellan biogasanläggningarna. Giva och eventuell kompletteringsgödsling ska därför beräknas utifrån växtnäringsanalyserna på biogödseln. Biogödsel luktar betydligt mindre än exempelvis flytgödsel vid lagring och vid spridning (www.avfallsverige.se).

Lägre växthusgasutsläpp sker vanligtvis från biogödsel jämfört med orötad gödsel. På grund av den anaeroba miljön i flytgödsellagringstankar kan metan produceras och släpps ut i atmosfären. Om gödsel används för biogasproduktion så kan dessa metanutsläpp minskas. Å andra sidan har det visats att rötad stallgödsel som lagras under sommaren kan ge tre gånger mer metan än orötad gödsel. Läckaget kan minskas antingen genom att först och främst säkerställa en god utrötning, t.ex. att använda längre uppehållstider under rötning i kombination med att installera en efterrötkammare; eller genom att metangasen samlas upp från täckt lager. Det går också att hämma metanbildningen i lagringstanken med tillämpning av exempelvis kylning eller pH-sänkning (Rodhe *et al.*, 2013).

Biogödsel har ofta ett högt pH vilket medför ökad risk för förlust av kväve under lagring och spridning jämfört med stallgödsel. Men, försök visar att spridning av biogödsel kan ge lägre spridningsförluster av kväve jämfört med spridning av grisflytgödsel. En förklaring är att biogödseln ofta har en lägre torrsubstanshalt jämfört med stallgödsel, och därigenom tränger det ner lättare i marken. Användning av biogödsel framför mineralgödsel kan också öka kolhalten i jorden och dess kväve mineraliserande förmåga. En ytterligare fördel är att det finns minskad risk för brist på mikronäringsämnen när man använder biogödsel jämfört med om grödan endast får mineralgödsel. Halten tungmetaller i biogödseln varierar mellan olika anläggningar och under året. Studier har visat att biogödsel baserad på matavfall innehöll endast låga halter av tungmetaller, bortsett från zink där halten var högre (132-422 mg Zn/kg TS) vilket kan begränsa mängden biogödsel som kan tillföras per hektar åkermark (Bergström-Nilsson *et al.*, 2012).

Livscykelanalyser utfördes av olika biogassystem där biogas produceras från restprodukter som kan ha avsättning som djurfoder i dagsläget (drank, fiskrens, permeatvassle, etc). För samtliga substrat reduceras emissioner av växthusgaser jämfört med bensin och diesel, men olika parametrar kan påverka resultatet. Hur miljöprestandan förändras om restprodukterna måste ersättas med djurfoder testades i en systemexpansion. I nästan samtliga fall ökar biogasens miljöpåverkan betydligt. Samtliga substrat ger dock fortfarande en reduktion av växthusgaser jämför med fossila bränslen men emissionerna som påverkar försurning och övergödning blir högre (Tufvesson & Lantz, 2012).

Systemanalysstudier har visat att biogas producerad från gödsel och avfall ger störst reduktion av växthusgaser tack vare minskade metanemissioner från konventionella gödsellager och ersättning av mineralgödsel, som indirekta vinster (Börjesson *et al.*, 2013).

8 Outnyttjade substrat

8.1 Framtida substratmarknaden

Den totala biogaspotentialen från inhemsk råvara (exklusive råvara från skog) har uppskattats till 10,6 TWh då hänsyn tagits till begränsningar (Linné et al., 2008).

Råvaror som nämns i olika rapporter (Linné et al., 2008, Holmström et al., 2013, WSP, 2013) som framtida biogassubstrat är:

- Källsorterat matavfall från hushåll, storkök, restaurang och butik
- Jordbruksrelaterade substrat (gödsel, växtodlingsrester, energigrödor)
- Restprodukter från övrig industri
- Avfall och restprodukter från livsmedelsindustrin
- Marina substrat

Hur stor del av potentialen som kan uppnås styrs av tekniska, ekonomiska, ekologiska och sociala faktorer såsom styrmedel, regelverk, politiska mål, konkurrens, marknadspriser, efterfrågan, teknikutveckling, m.m. I en nyligen utkommen rapport ”Realiserbar biogaspotential i Sverige år 2030 genom rötning och förgasning” uppskattades den realiserbara biogaspotentialen år 2030 till 1,2-22 TWh beroende på förutsättningar för ovanstående faktorer (WSP, 2013).

Enligt en uppskattning av Lantz (2013) skulle ett metanreduceringsstöd göra många gödselbaserade biogasanläggningar lönsamma.

Regeringen har i budgeten för 2014 planerat satsa 240 miljoner kronor i södra Sverige för att stimulera biogasproduktion baserad på gödsel. Stödet ger 20 öre per kWh biogas producerad från gödsel. Satsningen är utformat som ett pilotprojekt och planeras pågå i tio år, fram till 2024. Jordbruksverket ska utreda var och hur projektet ska genomföras, samt vilka villkor som ska gälla för att få del av det statliga bidraget (Länsstyrelsen, 2013). Producenter av biogas från gödsel kan då få ersättning för klimat- och miljönyttan och denna insats främjar utvecklingen inom lantbruksbaserad biogasproduktion.

Certifiering enligt SPCR 120 begränsar användning av andra substrat som inte ingår i livsmedels- och lantbrukskedjorna. Anläggningarna ser en begränsning i detta då de ibland får förfrågningar om att motta substrat i små mängder, t.ex. rester från medicintillverkning som kan vara ett bra substrat. Om en anläggning önskar ta emot substrat, tillsats- eller processhjälpmiddel som ej finns angivna i Bilaga 1 ska en ansökan göras som skickas till styrgruppen inom Certifierad återvinning (SPCR 120, 2013). Förändringar i riktlinjer för SPCR 120 kommer att påverka tillgången och vilka substrat som är godkända och kontinuerlig revidering är ett måste.

Introduktion av nya förordningar och lagar kommer att påverka tillgängligheten av substrat. Detta gäller t.ex. det nya förslaget på lag för hållbar återföring av fosfor. Striktare krav på föroreningshalter kan leda till att det begränsar användandet av specifika substrat i framtiden. Ett exempel är matavfall och dess innehåll av kadmium. Biogödsel från rötning av detta innehåller relativt mycket kadmium och risk finns för ackumulering av denna på

åkermark. Naturvårdsverkets förslag Alternativ B för gränsvärden för kadmium är 1 mg/kg TS från år 2015 med strängare krav på längre sikt, 0,8 mg/kg TS, år 2030. Innehållet av kadmium och fosfor har analyserats i biogödsel från biogasanläggningar. Gränsvärdena för tillförsel på åkermark kan bli svåra att klara där kadmiumhalten relateras till mängden fosfor som tillförs per hektar. Detta beror till viss del på att fosforinnehållet i matavfall är lågt (SNV, 2013).

Det finns en potential att utöka källsortering av matavfall. Närmare 170 kommuner har källsortering men fler är på gång att införa detta för viljan för insamling är stor. Regeringen har fastställt ett etappmål om resurshushållning i livsmedelskedjan och detta innebär att minst 50 procent av matavfallet från hushåll, storkök, butiker och restauranger ska sorteras ut och behandlas biologiskt så att växtnäring tas tillvara, där minst 40 procent behandlas, så att även energi tas tillvara och detta ska uppnås senast 2018 (Miljödepartementet, 2013). Att införa insamlingssystem är utmanande och tidskrävande och utgör en merkostnad för kommunerna (Holmström et al., 2013). För att nå insamlingsmålen krävs förbättrade insatser, t.ex. regelbundna kundkontakter, tydlig information och att motivera personer att källsortera. De som är ansvariga för insamlingen behöver lägga kraft i detta för att målet ska uppnås. Regelverk kan också påverka insamlingen, t.ex. att införa en viktbaserad taxa för sophämtning, medan hämtning av matavfall är fri. Detta har dock visat sig ha liten effekt på mängden matavfall som samlas in (Dahlén et al., 2009).

Många biogasanläggningar behandlar samma typer av substrat vilket leder till att konkurrensen ökar på substratmarknaden. Konkurrens råder inte bara mellan biogasanläggningar utan också med andra branscher såsom djurfodersbranschen. Tillgängliga mängder för biogasproduktion kan därför bero på vem som har störst betalningsvilja. Betalningsviljan för restprodukter är störst inom djurfodersbranschen (Holmström et al., 2013). Dessutom har Tuveesson och Lantz (2012) visat att den totalamiltonpaverkan blir större när restprodukterna används för biogasproduktion än när de används direkt till djurfoder.

Andra marknader kan påverka tillgängligheten av substrat. Ett exempel är att det finns en farhåga att slakteriavfallet kommer att minska då vi importerar kött i större omfattning. Självförsörjningsgraden av svenskt kött (hur mycket av det kött som konsumeras i Sverige som produceras inom landet) har minskat betydligt. År 1994 var självförsörjningsgraden 98 % och den minskade till 61% år 2012 (Svenskt kött, 2013a). Samtidigt har köttkonsumtionen ökat från 55 till 62 kg per capita och år under de senaste 17 åren (Svenskt kött, 2013b) men detta leder inte till större mängder slakteriavfall då importen ökat.

På senare tid har avtalsskrivning med substratleverantörer varit besvärlig/svår enligt anläggningsägarna, då de vill skriva avtal för stora mängder och bara för korta kontraktstider. Det kan vara svårt för anläggningar att ta emot stora mängder och de korta avtalsperioderna försvårar planering för framtiden. Anläggningarna önskar att längre kontraktstider kan skrivas.

Mängden och tillgängligheten av substrat måste öka i framtiden för att tillgodose behoven på den framtida biogasmarknaden. En biogasanläggning kan t.ex. installera ny förbehandlingsutrustning för att kunna ta in och behandla nya typer av substratfraktioner

och därmed inte vara så begränsade. Det finns anläggningar som har sett möjligheten till att utöka substratspektrumet genom att installera förbehandlingsutrustning.

8.2 Bedömning av begränsningar för outnyttjade substrat

Det finns organiska fasta och flytande avfall som inte utnyttjas för biogasproduktion. Vi har i detta projekt valt att fokusera på några intressanta outnyttjade substrat och undersökt deras lämplighet för biogasproduktion. Fördjupningar har gjorts i följande substrat:

- Cellulosarika substrat där jordbruksrelaterade restprodukter såsom halm har en stor framtida potential för biogasproduktion (Bernesson och Nilsson, 2005a).
- Andra cellulosarika substrat från industrin såsom textila avfall, pappersavfall, tidningspapper och förpackningar, pappersbruksslam som uppkommer i stora mängder.
- Avfallsfraktioner från slaktindustrin som i dagsläget inte används för biogasproduktion.
- Marina substrat har utpekats som framtida biogassubstrat då de bland annat inte konkurrerar med livsmedelsproduktion (WSP, 2013).

Här följer en beskrivning av substraten och deras egenskaper och eventuella biologiska, mekaniska, administrativa/organisatoriska begränsningar för biogasproduktion.

Resultatet av bedömningen presenteras också överskådligt i Tabell 9 (s. 43-44) som syftar till att ge brukare en bild av de specifika substratens eventuella begränsningar på biogassystemet.

8.2.1 Halm

Halm är den undre delen av en sädesväxt (korn, havre, ris, råg, majs och vete) och används till många ändamål inom jordbruk och tillverkning. Halm används framförallt som strö till djur, bland annat hästar och kaniner. Det används också som foder och energikälla.

I Sverige produceras cirka 2,4 miljoner ton halm (mest från höstkorn, vårkorn, havre, höstråg, vårråg, rågvete, höstveten och vårvete) varav ungefär 1,6 miljoner ton beräknas vara möjlig att skörda. Hälften av detta, 0,8 miljoner ton, används som strö till husdjur (Nilsson och Bernesson, 2009). Till förbränning utnyttjas idag endast 0,1 miljoner ton, men den totala användningen till energi (förbränning, biogas, etanol) kan förväntas öka i takt med stigande energipriser. En fördel med användning av halm som energikälla är att den inte konkurrerar med livsmedelsproduktionen.

Halm anses ha den största potentialen som biobränsle och metanpotentialen från halm i Sverige uppskattas till 4 TWh/år (Bernesson och Nilsson, 2005a).

Uppgifter om halmens metanutbyte varierar mycket i litteraturen. Några studier där BMP har uppmätts presenteras i Tabell 6 och en utökad tabell finns i rapporten SGC 247 (Berglund et al., 2012b). Den kemiska sammansättningen av det organiska materialet varierar och detta påverkar både nedbrytbarhet och metanbildning.

Cellulosa- och lignocellulosarika material som halm utgör en stor del av samhällets avfallsströmmar och det finns en stor potential att nyttja dem för biogasproduktion. De är

dock svårrotade pga. svårnedbrytbara fibrer. För att förbättra koltillgänglighet för mikroorganismerna och därmed förbättra effektiviteten på biogasprocessen kan olika typer av förbehandlingsanvändningar användas. Några exempel av förbehandlingsanvändningar är: mekanisk sönderdelning (Nordberg och Edström, 1997) eller termisk/fysikalisk behandling genom ångexplosion (Berglund et al., 2012b). Biologisk behandling med olika svampar är också en möjlighet men är fortfarande i forskningsstadiet (Feng et al., 2013). En ökning av metanutbytet med upp till 20 % har erhållits vid olika förbehandlingsanvändningar av halm (Ferrerira et al., 2013, Nkemka and Murto, 2013a, Sapci et al., 2013).

Tillgången till halm för energiproduktion kan variera mycket mellan åren, framför allt beroende av grödor som odlas och som ger halm, samt användningen av halm som bäddmaterial i djurhållningen, och väderförutsättningar vid bärning. En fråga är hur ofta i växtföljden det är lämpligt att bärga halmen från ett och samma fält och detta varierar beroende på markens innehåll av mull, hur stark jordens struktur är samt om man har tillgång till organiska gödselmedel eller inte (Bernesson and Nilsson, 2005b). En annan aspekt som påverkar hur mycket halm som kan bärgas i ett område är hur vädret under bärningssäsongen är. Under år med mycket regn är tillgängliga dagar för skörd av spannmålen och pressning av halmen färre. Ofta vill lantbrukaren även etablera en ny höstsådd gröda på fältet som tröskats och det är då en risk att höstsådden försenas om bärning av halmen drar ut på tiden exempelvis på grund av regn (Gunnarsson, 2013).

Alternativanvändning för torra material såsom halm är förbränning. Vid förbränning, jämfört med biogasproduktion, förloras inte bara dess potential för drivmedelproduktion utan även potentialen att föra tillbaka näringsämnena till jordbruket genom spridning av biogödsel från rötningsprocessen. Andra miljöproblem kopplade till förbränning av halm är t.ex. flygaska samt korrosion i pannan pga. höga halter av kaliumklorid i halm (Kaparaju et al., 2009).

Tabell 6. Metanpotential av olika sorters halm.

Table 6. Methane potential of different types of straw.

Halm	Metanpotential	Referens
Vete	0,302 m ³ /kg VS	(Tong <i>et al.</i> , 1990)
	0,243 m ³ /kg TS	(Chandra <i>et al.</i> , 2012)
	0,333 m ³ /kg VS	(Tong <i>et al.</i> , 1990)
	0,390 m ³ /kg VS	(Weiland, 2003)
Majs	0,410 m ³ /kg VS	(Weiland, 2003)
	0,290 m ³ /kg TS	(Chandra <i>et al.</i> , 2012)
Korn	0,360 m ³ /kg VS	(Weiland, 2003)

8.2.2 Textilavfall

Det har uppskattats att cirka 8 kg textilier/person och år slängs i säck- och kärlavfallet i Sverige (baserat på plockanalyser). Kläder som samlas in via välgörenhet, ca 3 kg textilier/person och år, kommer huvuddelen från privatpersoner. Textilier från företag står för en jämförelsevis mycket liten andel. Textila avfall utgörs av cirka 40 % cellulosa fibrer och ca 45 % polyester (Jeihanipour *et al.*, 2010). Tabell 7 visar sammansättningen av olika textiltyper.

Utifrån dessa värden kan man beräkna att ca 72 000 ton/år textilavfall produceras i Sverige. Om man antar att 40 % av dessa är cellulosa, då kan man räkna med att cirka 28 000 ton cellulosamaterial skulle kunna tillföras rötningsprocessen per år. Textila avfall är fasta avfall och behöver därmed mekanisk förbehandling (sönderdelning) inför rötning.

Tabell 7. Karakterisering av olika textila fiber.

Table 7. Characteristics of different textile fibers.

Cellulosafiber	Cellulosa (%)	Hemicellulosa (%)	Lignin (%)	Rest (%)
Bomull	100	-	-	-
Viscose	100	-	-	-
Lyocell	100	-	-	-
Lin	71	19	2	8
Hampa	78	6	2	14
Jute	61–71	14–20	12–13	1–13
Rami	91–93	2.5	0.6–0.7	

Försöksresultat från laboratorieexperiment på malda textila material visade på en metanpotential från obehandlad bomull (jeans) på 0,200 m³/kg VS. Med denna metanpotential skulle 576 000 m³ metan (5,7 GWh) kunna produceras från cellulosabaserade textilavfall per år. Förbehandling av bomull, med ett kemiskt lösningsmedel, NMMO, fördubblade metanutbytet till 0,400 m³/kg VS i labbskala (Jeihanipour *et al.*, 2013). Detta kan jämföras med det teoretiska utbytet från cellulosa som är 0,415 m³/g VS.

För att kunna ta emot nya substrat t.ex. cellulosabaserade textilier skulle det innebära att ett extra förbehandlingssteg behöver tillämpas i biogassystemet och det ökar investerings- och driftkostnader. En uppskattning av kostnader och energiförbrukning har utförts angående NMMO behandling av skogsavfall (Teghammar *et al.*, 2014). Investeringskostnader för NMMO-förbehandling beräknades till 730 EUR/ton cellulosa för en anläggning som behandlar 100 000 ton skogsavfall per år med driftkostnader på 1500 EUR/ton behandlad cellulosamaterial. I driftkostnaderna är kostnad för NMMO, samt värmehållning och elektricitet inräknade, varav merparten utgörs av priset för NMMO (ca 80 %). Förbehandlingssteget är i dagsläget alltför kostsamt, men man tittar på alternativa lösningar för att kunna sänka dessa kostnader.

Andra problem som behöver lösas innan textila material kan vara attraktiva för biogasproduktion är insamling och framtagning av rena fraktioner. Textilierna är oftast

gjorda av blandfiber, en separation av cellulosa-fiber är därför nödvändig. Jeihanipour *et al.* (2010) har föreslagit ett processschema för behandling och separation inför rötning av textila material där många steg ingår i förbehandlingen vilket gör den mycket komplex.

Ett annat problem som begränsar användandet av textilavfall för rötning är färgämnen, som kan hämma den biologiska processen och även försämra kvalitén på biogödseln. Idag går en del av använda textilier till återanvändning eller återvinning av fibrer och rester hamnar i soppsåsar som sedan förbränns. Miljöpåverkan från förbränning jämfört med biogasproduktion har beskrivits i avsnitt 8.2.1. Textila avfall som hamnar på deponier i olika länder, skärskilt i utvecklingsländer, orsakar miljöproblem pga. okontrollerbara metanutsläpp.

Textilier ingår inte i SPCR 120s lista för tillåtna substrat för biogasproduktion då det inte är livsmedels- och lantbruksbaserat (SPCR 120, 2013). En ansökan måste inlämnas för bedömning.

8.2.3 Pappersavfall, tidningspapper/förpackningar

År 2012 samlades 358 000 ton tidningspapper och 125 270 ton pappersförpackningar in i Sverige (Avfall Sverige, 2013b). Pappersavfall består av cellulosa, hemicellulosa, lignin samt flera oorganiska ämnen. I Tabell 8 visas materialets sammansättning (Teghammar *et al.*, 2010). Enligt denna studie är metanpotentialen av obehandlat papper 0,240 Nm³/kg VS vilket motsvarar 200 Nm³/ton papper.

Då materialet är rikt på lignocellulosa krävs förbehandling. Papperstuber (en restprodukt från Nordens Pappersindustri) som förbehandlats genom ångexplosion gav en fördubblad metanproduktion upp till 400 Nm³ CH₄/ton papper (Teghammar *et al.*, 2010).

Tabell 8. Sammansättning av papperstubsavfall (Teghammar *et al.*, 2010).

Table 8. Composition of paper tube waste (Teghammar *et al.*, 2010).

Komponent	Sammansättning (% av TS)
Cellulosa	53
Hemicellulosa	10
Lignin	23
Lim	10
Aska	4
TS	95 %
VS	85%

Utifrån den kemiska sammansättningen kan man beräkna metanpotentialen till 0,5 Nm³ CH₄/kg VS, d.v.s. efter ångexplosion-behandling kan man i princip få ut det teoretiskt möjliga metanutbytet.

Att introducera ett förbehandlingssteg ger en ökad möjlighet att ta emot mer av svåromsättbara substratfraktioner och därigenom ökar biogasanläggningarnas råvarutillgång och flexibilitet.

Enligt data som presenterats här kan den totala tillgången av insamlade papper utgöra en metanpotential på 98,6 miljoner m³ per år, vilket motsvarar 0,96 TWh per år. Denna produktion skulle kunna fördubblas om ångexplosion används som förbehandling av dessa avfallsfraktioner. Enligt studien som utfördes av Berglund Odhner et al. (2012) beräknades kostnader för ångexplosion till ca 5 MSEK för en anläggning som skulle behandla 5000 ton papper per år. Om även kemikalier som t.ex. NaOH används i förbehandlingen, då ökar kostnader till ca 8 MSEK. Rötning av behandlat papper ger å andra sidan intäkter på ca 10 MSEK, så papper kan vara ett intressant substrat att använda för biogasproduktion i framtiden.

En del av papperet som samlas in går till återvinning av fibrer. Fibrernas kvalitet försämras allt eftersom beroende på hur många gånger de går genom återvinningsprocessen. Slutligen finns inte något annat behandlingsalternativ för pappersavfallet än förbränning. Miljöpåverkan från förbränning jämfört med biogasproduktion har beskrivits i avsnitt 8.2.1.

8.2.4 Pappersbruksslam

Pappersbruksslam behandlas idag vanligen genom förbränning. Det består av aerobt slam från brukens avloppsrening och har även ett innehåll av fiber. Det är inte det mest näringsrika substratet, enligt Hagelqvist (2013) låg C/N/P på 201/8/1. Det kan även innehålla höga halter av svavel.

Enligt Ek och Westling (2003) skattades den årligt fallande slammängden till 700 000 ton bestående av en blandning av kem-, bio- och fiberslam. Med tanke på bidraget från fällningskemikalier har vi reducerat skattningen till 600 000 ton per år. Med 13% VS-halt och BMP på 220-280 Nm³/ton VS skulle det ge en metanpotential på 19 500 000 m³/år dvs 0,19 TWh/år. Papperbruksslam har varierande nedbrytbarhet och kan behöva både förbehandling och näringstillsats. Denna typ av avfall produceras lokalt och bör därför behandlas lokalt. En fara med pappersbruksslam är att det ibland kan förekomma höga halter av legionella.

8.2.5 Animaliska biprodukter

Idag behandlas redan delströmmar av det avfall som uppstår på slakterier på många samrötningsanläggningar men det finns fraktioner som av olika anledningar inte utnyttjas för biogasproduktion. Nedan följer en genomgång av fraktioner från nöt- och svinslakt, kläckeriverksamhet och kycklingslakt som uppmärksammas i diskussion med anläggningsägare.

8.2.5.1 Nöt- och svinslakt, animaliska biprodukter kategori 2

Enligt Jordbruksverkets statistik (Jordbruksverket, 2013) slaktades motsvarande 125 340 ton nötkreatur samt 232 970 ton svin under 2012.

Enligt statistik från Kött och charkföretagen (2013), som täcker in cirka 94 % av nötslakten samt 98 % av grisslakten i Sverige, skedde cirka 80 % av nötslakten under 2011 i Götaland och de största aktörerna (över 5 %) finns i:

- Linköping (26 %)
- Hörby (13 %)
- Kalmar (12 %)
- Skövde (10 %)
- Dalsjöfors (8 %)

Av grisslakten skedde cirka 87 % i Götaland och de största aktörerna (över 5 %) finns i:

- Kristianstad (36 %)
- Skara (11 %)
- Kalmar (11 %)
- Dalsjöfors (10 %)
- Skövde (9 %)
- Trelleborg (8 %)

Förordningen för ABP delar in animaliska biprodukter i olika kategorier där kategori 2 material från nöt- och svinslakterier innefattar naturgödsel, avskilt mag- och tarmsystem samt dess innehåll, insamlat animaliskt material från rening av slakteriernas avloppsvatten, de fraktioner som inte klassas som varken kategori 1 eller 3 material och blandningar av kategori 2 och 3 material (Edström *et al.*, 2006). För materialet som går till slakteriernas avloppsvattenrening sker uppsamling av partiklar större än 6 mm och hanteras därefter som kategori 1 eller 2 material, beroende på om anläggningen bearbetar kategori 1 material eller inte. Naturgödsel och avskilt mag- och tarminnehåll behöver inte trycksteriliseras för att behandlas i en biogasanläggning men för behandling av övrigt, ovan avsedda, ABP kategori 2 material krävs trycksterilisering. Trycksteriliseringen kan ske med olika partikelstorlek, tryck, temperatur och tid och i dagsläget finns färdiga industrikoncept som kan uppfylla kravet för trycksterilisering, likt CAMBI-processen. Trycksterilisering av materialet bidrar inte enbart till en sanitär åtgärd i koppling till rötning, utan kan t.ex. även bidra till ökad nedbrytbarhet och förbättrade egenskaper för avvattnings.

Baserat på mängden slakt av nötkreatur och svin under 2012 (Jordbruksverket, 2013) och skattad andel (Edström *et al.*, 2006) som klassas som kategori 2 vid nöt- och svinslakt, mag- och tarminnehåll exkluderat, kan mängden material i Sverige grovt uppskattas till runt 1 500 ton TS/år vilket motsvarar cirka 5 000 m³/år.

De mängder som beräknas finnas tillgängliga och den geografiska spridningen av dessa kan bidra till att hanteringen av materialet behöver kombineras med förbehandling av andra substratfraktioner. Även om trycksteriliserat ABP kategori 2 material, enligt ovan, kan bearbetas i en biogasanläggning i enighet med förordningen (EG) nr 1069/2009 kan begränsningar finnas i koppling till SPCR 120-certifiering av biogödsel där endast naturgödsel samt mag- och tarmsystem och dess innehåll är listade som godkända i denna kategori vilket ger upphov till att en ansökan om behandling av det specifika materialet erfordras.

Enligt uppgifter från ett storskaligt nö- och svinslakteri i sydöstra Sverige består materialet till största delen av sådant som inte klassas som ABP kategori 3 eller 1 och består av ben, fettrester samt rensningar som i dagens läge blandas med kategori 1 material för att sedan destrueras genom förbränning. Biologiska begränsningar bedöms kunna uppstå på grund av högt kväveinnehåll vilket kan medföra en ökad risk för kvävehämning vid rötning men kan samtidigt förbättra näringsvärdet i biogödseln. Mekaniska begränsningar på grund av att partiklar i form av benbitar kan ställa till med driftmässiga problem vid sedimentering, öka risken för igensättningar, skapa inaktiva volymer och orsaka slitage på utrustning.

Underlaget för en bedömning av metanpotentialen är dåligt i koppling till materialets sammansättning och effekten av förbehandling och därför presenteras ingen uppskattning av metanutbytet.

8.2.5.2 Avfall från kläckeri och kycklingslakt

År 2012 slaktades cirka 78,1 miljoner kycklingar motsvarande cirka 111 460 ton (Jordbruksverket, 2013). Andelen slaktkycklingar i Sveriges olika produktionsområden var under 2011 fördelat enligt nedan (Jordbruksverket, 2011):

- 85 % i Götaland (43 % i Götalands mellanbygder, 21 % i Götalands södra slättbygder, 13 % i Götalands skogsbygder och 9 % i Götalands norra slättbygder)
- 10 % i Svealands slättbygder
- 5 % i mellersta Sveriges skogsbygder

Kläckeriavfall

Vid avel av kyckling för köttproduktion uppstår flertalet bioprodukter så som kläckeriavfall, animaliskt riskavfall, gödsel och slam. Kläckeriavfall kan bestå av kläckägg som inte blivit befruktade, avdöda embryon, äggskal samt äggulor (Widheden *et al.*, 2001). Klassning av animaliska bioprodukter kan ha många förbehåll men i normalfallet klassas bioprodukter från kläckerier, ägg, bioprodukter från ägg samt daggamla kycklingar som avlivats av kommersiella skäl, från djur som ej visat tecken på sjukdomar som kan överföras till människor eller djur via detta material, som kategori 3.

Mängden kläckeriavfall kan i grova drag skattas till cirka 2 100 ton per år beräknat utifrån underlag presenterade i en LCA utförd på ett storskaligt kläckeri (Widheden *et al.*, 2001) samt mängden slaktade kycklingar i Sverige 2012. I livscykelanalysen utförd av Widheden *et al.*, (2001) hänvisas till att kläckeriavfallet skänktes bort till lantbrukare för spridning på åkermark. Några direkta uppgifter kring sammansättningen och metanutbytet för kläckeriavfall kan inte hittas men underlag kring äggmassa och äggskal kan hittas i Substrathandboken (Carlsson och Uldal, 2009). I medeltal anges metanutbytet för äggmassa och äggskal till 410 Nm³/ton VS. Kläckeriavfallet bedöms hålla relativt hög TS- samt proteinhalt. Högt proteininnehåll bedöms kunna ge upphov till biologisk begränsning i form av ökad risk för kvävehämning vid rötning. En mekanisk begränsning bedöms vara risk för sedimentering av äggskal som inte bryts ner i processen vilket kan öka risken för igensättningar och skapa inaktiva volymer.

Avfall från kycklingslakt

År 2012 slaktades cirka 111 460 ton kycklingar varav cirka 1 790 ton kasserades (Jordbruksverket, 2013). Enligt en LCA utförd på ett stort kycklingslakteri i Sverige (Widheden *et al.*, 2001) uppstår följande avfallsfraktioner vid kycklingslakt:

- Animaliskt lågriskavfall i form av blod, lungmos, huvud, ben, inälvor med mera
- Animaliskt högriskavfall i form av djur döda vid ankomst samt sjuka djur
- Organiskt slam från reningsanläggning
- Fjädrar

ABP kategori 2 kallades tidigare animaliskt högriskavfall och kategori 3 för lågriskavfall (Bramstorp, 2007).

Beräknat utifrån mängderna i ovan nämnd LCA och den totala slaktmängden per år i Sverige kan en grov uppskattning kring mängderna av respektive fraktion beräknas till cirka 23 800 ton animaliskt lågriskavfall (huvuden, ben, inälvor med mera), 4 600 ton animaliskt högriskavfall i form av blod och lungmos, 100 ton animaliskt högriskavfall, 25 200 ton organiskt slam samt 10 800 ton fjädrar. Fjädrar anses inte vara av intresse för biogasproduktion. I den LCA som hänvisas till ovan gick det animaliska lågriskavfallet i form av huvuden, ben, inälvor med mera till försäljning som minkmat. Betalningsförmågan är betydligt högre i djurfodersbranschen i jämförelse med en biogasanläggning (Holmström *et al.*, 2013). Blod, lungmos samt det organiska slammet gick till biogasproduktion och det animaliska högriskavfallet destruerades genom förbränning.

Med de små mängderna animaliskt högriskavfall ses ingen större potential i detta avfall dock kan den fraktion som går till minkmat komma att bli aktuell för biogasproduktion i fall konkurrenssituationen förändras. För detta avfall (minkmat) bedöms biologiska begränsningar uppstå i form av kvävehämning, på grund av högt proteininnehåll och mekaniska begränsningar uppkomma av benbitar som kan orsaka driftmässiga problem vid sedimentering, öka risken för igensättningar och orsaka slitage på utrustning.

8.2.6 Marina substrat

Det finns ett ökat intresse för att utnyttja marina substrat för biogasproduktion. Marina substrat innefattas av t.ex. mikro- och makroalger, musslor, våtmarksgräs, vass och sjöpungrar. Marina substrat konkurrerar inte med livsmedelsproduktion vilket gör dem intressanta jämfört med t.ex. energigrödor. I det här projektet ligger fokus på avfall och därmed beaktas inte odling av mikroalger i rapporten.

Nedan följer en diskussion angående de mest intressanta marina substraten; tång, musslor och vass. De övriga anses inte vara så intressanta men kan dock vara det i specifika lokala fall där rådande förutsättningar gör att biogasproduktion kan vara ett alternativ.

8.2.6.1 Tång

Många länder har problem med tång som driver in, sköljs upp och ansamlas på stränder och dessa orsakar oangelägenheter, dålig lukt och att badständer inte kan användas för rekreation. Tången måste samlas upp, lagras på ett kontrollerat sätt innan det sätts tillbaka

på stranden på hösten så det sköljs ut i havet igen. Då det ändå samlas upp finns intresse att röta detta.

BMP av tång har uppmätts till 67-260 m³/kg VS (Allen *et al.*, 2013, Bruhn *et al.*, 2012, Li *et al.*, 2013, Nkemka och Murto 2010; Wegeberg och Felby, 2010). BMP varierar bl.a. beroende på tångart och period på året när det samlas upp då sammansättningen av tången förändras under året. Vidare beror det på hur länge det har legat på stranden före insamling. Uppskattning av total mängd tång som skulle kunna samlas upp i Sverige finns inte. Det kan råda gynnsamma lokala förutsättningar som gör att rötning av tång är gynnsam.

Det finns faktorer som måste beaktas vid användning av detta som biogassubstrat, det finns biologiska, mekaniska och administrativa/organisatoriska begränsningar. Då tång har relativt lågt C/N kvot (10-14) är det gynnsamt att samröta med substrat med hög kolhalt. Tång innehåller hög halt av svavel som kan vara hämmande för mikroorganismerna och kan därför vara en biologisk begränsning. Vid reduktion av svavelföreningar till svavelväte förbrukas organiskt material vilket dessutom minskar biogaspotentialen. Svavelväte är dessutom korrosivt och kräver speciella åtgärder i biogasanläggningen och gasuppgradering (Wegeberg och Felby, 2010). Förekomst av salter har även tagits upp som problem på grund av att mikroorganismerna kan hämmas. Undersökningar har dock visat att hämning sker först vid höga halter (Briand och Morand, 1997).

När det gäller insamling av tång från stranden så är medföljande sand ett problem som kan orsaka mekaniska problem i konventionella tankreaktorer (Briand och Morand, 1997). Tång är ett säsongsberoende substrat och detta måste beaktas och måste lagras med lämplig metod för att kunna användas året om.

Tång adsorberar tungmetaller då de har ytstrukturer som binder in dem. Analyser av tång uppsamlade i Skåne har visat att halten kadmium är hög och detta medför en risk och gör att biogödselkvaliteten kan vara dålig vilket måste beaktas i ett biogassystem (Nkemka, 2012, Davidsson och Ulfsson, 2008).

Studier av biogasproduktion från tång i Trelleborg, har t.ex. lett till byggnation av en fullskalig biogasanläggning. Denna har dock en annan processutformning än den konventionella tankreaktorn, det är ett torrötningssystem i två-steg. Vid rötning av den här typen av substrat kan därför andra processlösningar vara intressanta istället för konventionell våtrötningsteknik.

8.2.6.2 Musslor

Försök med musselodlingar har gjorts och pågår både på öst- och sydvästkusten. Musslor är filtrerare och tar upp näringsämnen. Odlingar uppförs för att fånga upp näringsämnen från havet vilket leder till minskad övergödning (Gröndahl *et al.*, 2009). Då musslorna är för små för matkonsumtion finns intresse att använda dem för biogasproduktion.

BMP på musslor är relativt högt 290-420 N m³/ton VS (Nkemka och Murto, 2013b, Nordell, 2010). Skalet utgör en stor andel av musslan vilket gör att metanutbytet per ton våtvikt är lågt vilket leder till minskad rötningskapaciteten på en anläggning om det rötas med skal. Skalet är inert och skulle orsaka mekaniska problem i en våt biogasprocess och

därför bör skalet tas bort vilket medför en dyr förbehandlingskostnad (Nordell, 2010). Ett alternativ kan vara att röta musslor i en torrötningsprocess i två-steg med lakbädd för då kan de rötas med skal (Nkemka and Murto, 2013). Musslor har hög halt av kväve och det finns risk för kvävehämning och samrötning med annat substrat med hög kolhalt kan vara fördelaktigt. Då musslorna består av kött måste de hygieniseras enligt ABP-förordningen (Nordell, 2010). Musslor har inte behandlats av SPCR 120 och man uppmanas att sända in enskild ansökan för beredning. Osäkerheten ligger i vilka föroreningshalter (särskilt kadmium) som finns i musslor. Skörden av musslor bör fördelas över året för att undvika kostsam lagringsmetod (Nordell, 2010). Höga kostnader för odling, skörd och transport begränsar även det användandet av musslor som biogassubstrat (Gröndahl *et al.*, 2009). Den totala biogaspotentialen från musslor kan inte uppskattas då den beror på skörd från naturliga musselbankar och anlagda musselodlingar. Lokala förutsättningar kan möjliggöra att biogasproduktion från musslor kan vara ett alternativ.

8.2.6.3 Vass

BMP för vass har uppmätts till 330-400 Nm³/ton VS (Nkemka och Murto, 2013b, Risén *et al.*, 2013). Vassbeståndet har uppskattats grovt till 100 000 ha och med ett skördeutbyte på 1 kg/m² motsvarar det en mängd på 1,4 miljoner ton. Det ger en hög teoretisk biogaspotential men den begränsas dock av hur stor areal som kan skördas varje år. Vass är svårnedbrytbart och har samma biologiska begränsning som andra lignocellulosarika material och kan behöva förbehandlas för att få en effektivare rötning. Föroreningar såsom grenar, sand och stenar kan medfölja vid skörd och kan orsaka mekaniska problem på biogasanläggningen. En studie har visat att skörd av vass för biogasproduktion kan vara fördelaktig både med avseende på energi men även positiva miljömässiga fördelar skulle uppnås såsom återförsel av näringsämnen tillbaka till jordbruket och det skulle även leda till minskade växthusgasutsläpp (Risén *et al.*, 2013).

I tabell 9 och 10 sammanfattas bedömningen av idag lite utnyttjade substrat. Man kan konstatera att många av dessa har en god potential, men att det idag kan vara svårt att realisera den. Skattningarna är försiktigt gjorda eftersom dataunderlaget är tunt för många material.

Tabell 9. Outnyttjade substrat. Begränsningar med avseende på Biologiska begränsningar (B), Mekaniska begränsningar (M), Administrativa/organisatoriska begränsningar (A). Grön färg: inga större begränsningar; Gul färg: vissa begränsningar; Röd färg: stora begränsningar, speciallösningar krävs för att kunna använda substratet för biogasproduktion.

Table 9. Unused substrates. Limitations in respect to Biological limitations (B), Mechanical limitations (M) and Administrative/organizational limitations (A). Green color: no major limitations; Yellow color: some limitations; Red color: large limitations, special solutions are required to be able to utilize the substrate for biogas production.

Substrat	B	M	A	Kommentarer
Halm				B: Innehåller svårnedbrytbara fibrer. M: Kräver förbehandling.
Textil				B: Innehåller svårnedbrytbara fibrer. Risk för hämning av färgämnen. M: Kräver förbehandling. A: Finns inte regler som begränsar idag, men problematisk pga möjliga färgämnen. Ansökan till SPCR 120 krävs (osäkerhet kring certifiering).
Pappersavfall, tidningspapper/ förpackningar				B: Innehåller svårnedbrytbara fibrer. Risk för hämning av tryckfärg. M: Kräver förbehandling. A: Ansökan till SPCR 120 krävs (osäkerhet kring certifiering).
Pappersbruksslam				B: Varierande nedbrytbarhet. Måttligt näringsinnehåll. M: Kan behöva förbehandlas. A: Lokalt substrat.
ABP kategori 2 från nöt- och svinslakt				B: Risk för kvävehämning. M: Risk för föroreningar som benbitar. Förbehandling krävs. A: Trycksterilisering krävs (ABP). Ansökan till SPCR 120 krävs (osäkerhet kring certifiering).
Kläckeriavfall				B: Risk för kvävehämning. M: Risk för föroreningar som äggskal. A: Kräver hygienisering.
Avfall från kycklingslakt (minkmat)				B: Risk för kvävehämning. M: Risk för föroreningar som benbitar. A: Kräver hygienisering. Konkurrens med djurfodersbranschen.

Tång				B: Hög halt av svavel. M: Risk för föroreningar som sand. A: Hög halt av kadmium i tång som samlas i södra Sverige. Säsongsbetonat substrat.
Musslor				B: Risk för kvävehämning. M: Risk för föroreningar som skal. Kräver förbehandling. A: Kräver hygienisering. Ansökan till SPCR 120 krävs (osäkerhet kring certifiering). Hög skördekostnad.
Vass				B: Innehåller svårnedbrytbara fibrer. M: Kräver förbehandling. Risk för föroreningar som sand, sten och grenar. A: Hög skördekostnad.

Tabell 10. Metanpotential av outnyttjade substrat.

Table 10. Methane potential of unused substrates.

Substrat	Uppskattad mängd	BMP m ³ CH ₄ /ton VS	Metanpotential TWh/år
Halm	1 600 000 ton/år	200-300	4
Textil	72 000 ton/år	200	0,07
Pappersavfall, tidningspapper/ förpackningar	483 000 ton/år	240	0,96
Pappersbruksslam	600 000 ton/år	220-280	0,19
ABP kategori 2 från nöt- och svinslakt	1 500 ton TS/år		
Kläckeriavfall	2 100 ton/år		
Avfall från kycklingslakt (minkmat)	23 800 ton/år		
Tång		100-260	
Musslor		290-420	
Vass	1 400 000 ton/år	330-400	5

9 Slutsatser

En biogasanläggnings lönsamhet är sammankopplad med en hög biogasproduktion, vilket i sin tur avgörs av tillgång till substrat samt maximalt utnyttjande av det inkommande substratet. Det här projektet har grundat sig på två hypoteser relaterade till substrat för biogasproduktion:

- A. Det finns i dagsläget substrat som inte utnyttjas fullt ut på de svenska biogasanläggningarna.
- B. Det finns biomassor som för närvarande inte används för biogasproduktion men som kan vara en källa för att höja den nuvarande biogaspotentialen.

Av insamlade uppgifter framgår det tydligt att substrat inte nyttjas fullt ut i dagens anläggningar. Detta kan ses i den låga uttröttningsgraden 45-75 % som uppnås vid anläggningarna.

Det står också klart att en betydande ökning av biogasproduktionen kan ske genom att idag ej använd biomassa utnyttjas, det kan röra sig om mer än 10 TWh per år.

Dock är det få substrat som kan finansiera sin hantering genom gasförsäljning och därför behövs effektivare lösningar och ett antal tas upp i efterföljande kapitel; rekommendationer.

Nedan följer en sammanfattning av studiens viktigaste observationer:

- 1) En urvärdering har genomförts av substrat som används idag vid de anläggningar som deltagit i projektet. Utvärderingen gick ut på att analysera biologiska, mekaniska och administrativa/organisatoriska faktorer som kan begränsa tillgängligheten och metanutbytet av substrat och därigenom även lönsamheten. Av dessa faktorer är det de administrativa begränsningarna som förekommer oftast, följt av biologiska och mekaniska.
 - a. De administrativa faktorer som begränsar är konkurrens mellan anläggningarna och med andra branscher, och även transportavstånd.
 - b. De viktigaste biologiska faktorerna är substratens struktur och sammansättning, där svårnedbrytbarhet, variation i kvantitet och kvalitet av olika avfallsfraktioner, och hämning av föroreningar kan leda till låg utnyttjandegrad och en instabil process.
 - c. Substratets egenskaper och medföljande föroreningar kan orsaka mekaniska begränsningar såsom slitage på utrustning och igensättning.
- 2) Det gjordes en känslighetsanalys för att utvärdera enskilda substrats påverkan på lönsamhet i en fiktiv referensanläggning som samrötade de flesta av olika substratfraktioner som rötas idag i anläggningar som ingick i projektet. Känslighetsanalysen visar att:
 - a. De enda substrat som gav högre intäkter än produktionskostnader per ton avfall var slakteriavfall samt avfall från livsmedelsindustrin.
 - b. Produktions- och transportkostnader per MWh fordonsgas är väldigt höga för nöt- och svingödsel vilket kan kopplas till deras förhållandevis låga TS-

- halt och metanutbyte. Detta gör även att metanutbytet vid fullskalig drift påverkar produktionskostnaden i stor grad.
- c. En ökad betalningsvilja för biogödseln kan öka intäkterna upp till 20 % om full betalning för näringsvärdet i biogödseln skulle erhållas.
 - d. En halvering av kostnaden för personal och underhåll innebär en reduktion av de totala produktionskostnaderna upp till 20 %. Störst utslag fås på de substrat som kräver förbehandling, nämligen matavfall och förpackat material.
- 3) Av de outnyttjade substrat som utvärderades visade det sig att:
- a. Det finns en osäkerhet för många av substraten kring möjlig certifiering enligt SPCR 120.
 - b. Många av substraten kräver förbehandling pga. svårnedbrytbarhet (biologisk begränsning) eller förekomst av föroreningar som kan orsaka mekaniska problem.
 - c. De cellulosarika substratfraktionerna som utvärderades såsom papper, textil och pappersbrukslam, utnyttjas idag i första hand i förbränningsprocesser för energiproduktion.

10 Rekommendationer och användning

Waste Refinerys övergripande mål är att uppnå en effektiv resurshantering och energianvändning av avfall med avseende på både ekonomiska och miljömässiga effekter för samhället. I det här projektet har faktorer identifierats och förslag på lösningar lyfts fram som ett led till att uppnå detta mål.

Allmänt sätt är dagens anläggningar sällan direktanpassade till de substrat/substratfraktioner de tar emot och behandlar. Samrötning kan användas med fördel för att kunna uppnå stabila och robusta förhållanden. Inom samrötning kan man balansera näringsinnehåll, späda ut hämningseffekter osv.

Det är idag få substrat som kan finansiera sin hantering genom gasförsäljning och därför behövs effektivare lösningar, exempelvis för:

- Insamlingssystem med högre precision, för att öka kvalitén på organisk fraktion som går till rötning
- Förbehandling av förorenade eller svårnedbrytbara substrat
- Reaktorlösningar anpassade till aktuella substrat, t ex genom att separera hydraulisk uppehållstid från det fasta materialets
- Energieffektiv gasupptradering
- Framställning av attraktiva rötrest

Ett vanligt problem för anläggningar som tar emot olika substrat är att blandningen varierar över tid, vissa typer av avfall varierar över säsong eller beror på tillfälliga driftstörningar till exempel. För att då kunna hålla en jämn belastning krävs buffertar och mellanlager som kan ge upphov till luktproblem och mekaniska problem, d.v.s. både investeringar och driftkostnader påverkas. Om man inte utjämnar får man i stället ett problem med varierande uppehållstider och suboptimalt substratutnyttjande. En ökad samverkan mellan anläggningar kan bidra till att lösa detta problem, men för att kunna samverka effektivt kan regelverk och certifieringar behöva ses över.

Av resultaten framgår även att potentialen för att öka produktionen av biometan genom användning av idag lite utnyttjade substrat är stor, men de svårigheter som nämns ovan är ofta mer accentuerade för dessa än för de substrat som redan används.

Flexibilitet behövs för att kunna stå sig i dagens substratmarknad som förknippas med hög konkurrens om substrat och korta avtalstider. För att uppnå flexibilitet kan i många fall förbehandling krävas. Flera av substraten som behandlas idag på biogasanläggningar och även outnyttjade substrat kräver förbehandling. Detta kan innebära höga kapitalkostnader (nyttjandegrad viktig) och stor osäkerhet i drift och underhållskostnader.

Certifieringsregler för biogödsel finns för att upprätthålla förtroende och ställa krav på kvalitet på biogödseln. Detta styr då även vilka typer av substrat som behandlas på anläggningarna. Intäkterna från biogödselhantering i de studerade anläggningarna är idag låga. Möjligheter till en ökad intäkt är en komplex fråga. Intäkt baserad på näringsinnehåll och kvalitet skulle kunna ge anläggningarna ytterligare incitament för att förbättra dessa faktorer.

11 Litteraturreferenser

- Allen E, Browne J, Hynes S, Murphy JD; "The potential of algae blooms to produce renewable gaseous fuel", *Waste management* 33(11), 2425-2433, 2013
- Avfall Sverige; "Handlingsplan för plast som synliga föroreningar", Avfall Sverige, 2013a (http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Arbete/Biologisk_behandling_certifiering/Handlingsplan_f%C3%B6r_plast_som_synliga_f%C3%B6roreningar_-_version_2013-02-19.pdf)
- Avfall Sverige; "Svensk avfallshantering 2013", Rapport Avfall Sverige, 2013b
- Awassum EI, Sathiyaraj APJ; "Optimization of pre-hydrolysis conditions for the production of biogas", Examensarbete, Högskolan i Borås, 2012.
- Benjaminsson J, Johansson N, Roth L; "Mer biogas! Realisering av jordbruksrelaterad biogas", LRF, Eon och Gasföreningen, 2009
- Berglund P, Bohman M, Svensson M., Benjaminsson J; "Teknisk och ekonomisk utvärdering av lantbruksbaserad fordonsgasproduktion", Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 249, 2012a.
- Berglund P, Sarvari I, Mohseni M, Schabbauer A; "Biogas from lignocellulosic biomass", Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 247, 2012b
- Bergström-Nilsson S, Blackert B; "Sammanställning av resultat från långliggande försök med biogödsel i Norden", Avfall Sverige, Rapport B2012:03, 2012
- Bernesson S, Nilsson D; "Halm som energikälla", SLU- Institutionen för biometri och teknik, Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:07, 2005a
- Bernesson S, Nilsson D; "Straw as an energy source - A review of existing knowledge", Department of Biometry and Engineering - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2005b
- Bisaillon M et al.; "Styrmedel för ökad biogasproduktion", Waste Refinery, pågående projekt, muntlig kommunikation, 2013
- Bramstorp A; "Användning av avfalls- och restprodukter inom jordbruket - möjligheter och begränsningar", HIR Malmöhus, 2007
- Briand X, Morand P; "Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation", *Journal of Applied Phycology* 9, 511-524, 1997
- Bruhn A, Rasmussen MB, Nielsen M, Sode S, Møller HB, Sarker S, Høeg Hansen J, Bech KS, Jensen JW, Mouritsen L; "Algae for biogas – in the central Denmark region", Presentation Macroalgae – from research to industry, 2012
- Börjesson P, Lundgren J, Ahlgren S, Nyström I; "Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel, Sammanfattning - f3 2013:13", Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, 2013
- Carlsson A, Hemström K, Edborg P, Stenmarck Å, Sörme L; "Kartläggning av mängder och flöden av textilavfall", Norrköping, Svenska Miljö Emissions Data (SMED), 2011
- Carlsson M, Uldal M; "Substrathandbok för biogasproduktion", Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 200, 2009

- Carlsson, M, Schnürer A; "Handbok Metanpotential", Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 237, 2011
- Carlsson M, Lagerkvist A, Morgan-Sagastume F; "The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: A review", Waste management 32(9), 1634-1650, 2012
- Carlsson M, Holmström D, Lagerkvist A, Bisailon M; "Förbehandling av biogassubstrat i systemanalys", Waste Refinery, rapport WR-49, Borås, 2013
- Chandra R, Takeuchi H, Hasegawa T; "Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production", Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(3), 1462-1476, 2012.
- Dahlén L, Åberg H, Lagerkvist A, Berg, PEO; "Inconsistent pathways of household waste", Waste Management, 29(6), 1798-1806, 2009
- Davidsson Å, Ulfsson Turesson E; "Tång och alger som en naturresurs och förnyelsebar energikälla, Sammandrag av Rapport Steg 2", Trelleborgs kommun, 2008
- Edström M, Malmén L, Hansson M, Palm O; "Metoder för avfallshantering vid småskalig slakt", JTI, 2006
- Ek M, Westling O; "Dagsläget beträffande skogsindustrins avfall", IVL Rapport/report B 1482, 2003
- Ekangruppen; "Undersökning 2012 Fjärrvärme Riket", <http://www.nilsholgersson.nu/undersokning-2012/fjaerrvarme/riket/>, Tillgängligt (2013-03-11)
- Energigas Sverige, "Gasbilen.se; Statistik på fordonsgaspriser på tankställe", 2013
- Energimyndigheten; "Produktion och användning av biogas år 2012", Energimyndigheten, Energigas, 2013
- Feng X, del Pilar Castillo M, Schnürer A; "Fungal pretreatment of straw for enhanced biogas yield", Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 279, 2013
- Ferreira LC, Donoso-Bravo, Nilsen PJ, Fdz-Polanco F, Perez-Elvira SI, "Influence of thermal pretreatment on the biochemical methane potential of wheat straw", Bioresource Technology, 143, 251-257, 2013.
- Fransson M, Persson E, Steinwig C; "Förbehandling av matavfall för biogasproduktion – Inventering av befintliga tekniker vid svenska anläggningar", (Som manuskript) Avfall Sverige, 2013
- Gröndahl F, Brandt N, Karlsson S, Malmström ME; "Sustainable use of Baltic Sea natural resources based on ecological engineering and biogas production", WTT Transaction on Ecology and the Environment 122, 153-161, 2009.
- Gunnarsson C, JTI, personlig kommunikation, 2013
- Göteborgs Stad; "Utökad matavfallsinsamling 2011-2012", Rapport, Göteborgs Stad, 2013
- Hagelqvist A; "Batchwise mesophilic anaerobic co-digestion of secondary sludge from pulp and paper industry and municipal sewage sludge", Waste Management, 33(4), 820-824, 2013
- Holgersson P; "Substratmarknadsanalys Sammanställning och analys av substratmarknaden". Avfall Sverige Rapport U2011:23, Malmö, 2011

- Holmström D, Bisaillon M, Eriksson O, Hellström H, Nilsson K; "Framtida marknaden för biogas från avfall", Waste Refinery, rapport WR-46, Borås, 2013
- Jeihanipour A, Karimi K, Niklasson C, Taherzadeh MJ; "A novel process for ethanol or biogas production from cellulose blended fibers in waste textiles", Waste Management 30(12), 2404-2509, 2010
- Jeihanipour A, Aslanzadeh S, Rajendran K, Balasubramanian G, Taherzadeh MJ; "High-rate biogas production from waste textiles using a two-stage process", Renewable Energy 52, 128-135, 2013
- Jordbruksverket; "Slakt av större husdjur vid slakteri. År 1995-2012", Jordbruksverket, 2013
(<http://statistik.sjv.se/Database/Jordbruksverket/Animalieproduktion/Slakt/Slakt.asp>)
- Kaparaju P, Serrano M, Thomsen AB, Kongian P, Angelidaki I; "Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept", Bioresource Technology, 100, 2562-2568, 2009
- Karlsson A, Truong XB, Gustavsson J, Svensson BH, Nilsson F, Ejlertsson J; "Anaerobic treatment of activated sludge from Swedish pulp and paper mills - Biogas production potential and limitations", Environmental Technology, 32, 1559-1571, 2011
- Kvarnmo P. Rådgivningsenheten Söder, Jordbruksverket, Personlig kommunikation, 2013.
- Kött och charkföretagen: "Slakterikarta", Kött och charkföretagen, 20XX
(<http://www.kcf.se/statistik/slakterikarta>)
- Lantz M; "Biogas in Sweden - Opportunities and challenges from a systems perspective", Ph D thesis, Faculty of Engineering, LTH at Lund University, 2013
- Li H, Kjerstadius H, Tjernström E, Davidsson Å; "Evaluation of pretreatment methods for increased biogas production from macro algae", Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 278, 2013
- Linné M, Ekstrandh A, Englesson R, Persson E; "Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter", Avfall Sverige, Svenska Biogasföreningen, Svenska Gasföreningen och Svenskt Vatten, 2008
- Länsstyrelsen, <http://projektwebbar.lansstyrelsen.se/energi/Sv/nyheter/Pages/nytt-stod-for-rotning-av-godsel-till-biogas.aspx> (senast besökt: 2013-11-15), 2013
- Malmberg J, och Wiberg L; "Naturvårdsverkets föreslagna gränsvärden för hållbar återföring av fosfor – en konsekvensanalys för biogasverksamheten inom Tekniska verken i Linköping AB och Svensk Biogas AB", Tekniska verken i Linköping AB, Linköping, 2013
- Miljödepartementet; Sveriges miljömål, 13 etappmål,
<http://www.regeringen.se/sb/d/2055/a/191671>, Tillgängligt (2013-10-29), 2013
- Murto M, Björnsson L, Mattiasson B; "Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure", Journal of Environmental Management, 70, 101-107, 2004
- Nilsson D, Bernesson S; "Halm som bränsle - Del 1: Tillgångar och skördetidpunkter", SLU Report 011, 2009
- Nilsson S; "Växtnäringseffekt av biogödsel", Hushållningssällskapet Halland, 2013

- Nkemka VN, Murto M; "Evaluation of biogas production from seaweed in batch tests and in UASB reactors combined with the removal of heavy metals", *Journal of Environmental Management* 91(7), 1573–1579, 2010
- Nkemka VN; "Two-stage conversion of land and marine biomass for biogas and biohydrogen production", PhD thesis, Department of Biotechnology, Lund University, 2012
- Nkemka VN, Murto M; "Biogas production from wheat straw in batch and UASB reactors: The role of pretreatment and seaweed hydrolysate as a co-substrate", *Bioresource Technology*, 128, 164-172, 2013a
- Nkemka VN, Murto M; "Two-stage anaerobic dry digestion of blue mussels and reeds", *Renewable Energy* 50, 359-364, 2013b
- Nordberg Å, Edström M; "Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor", JTI-Jorbrukstekniska institutet, JTI-rapport, Kretslopp & Avfall Nr 11, 1997
- Nordell E; "Utredning: Blåmusslor som biogassubstrat", Tekniska verken, Linköping, 2010
- Pages Diaz J, Reyes IP, Lundin M, Sárvári Horváth I; "Co-digestion of different waste mixtures from agro-industrial activities: Kinetic evaluation and synergetic effects", *Bioresource Technology* 102(23), 10834-10840, 2011
- Persson E, Ossiansson E, Carlsson M, Uldal M, Johannesson S; "Rötning med inledande termofilt hydrolyssteg för hygienisering och utökad metanutvinning på avloppsreningsverk", Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 250, 2012
- Risén E, Gregeby E, Tatarchenko O, Blidberg E, Malmström ME, Welanders U, Gröndahl F; "Assessment of biomethane production from maritime common reed", *Journal of Cleaner Production* 53, 186–194, 2013.
- Rodhe, L, Ascue J, Tersmeden M, Willén A, Nordberg Å, Salomon E, Sundberg M; "Växthusgaser från rötad och orötad nötflyt gödsel vid lagring och efter spridning – samt bestämning av ammoniakavgång och skörd i vårkorn". JTI – Institutet för jordbruks -och miljöteknik . JTI-rapport: Lantbruk & Industri nr 413, 2013
- Roth L, Johansson N, Benjaminsson J; "Mer biogas! Realisering av jordbruksrelaterad biogas", Grontmij, Malmö, 2009
- Sapci Z, Morken J, Linjordet R, "An investigation of the enhancement of biogas yields from lignocellulosic material using two pretreatment methods: microwave irradiation and steam explosion", *Bioresources* 8(2), 1976-1985, 2013
- Schnürer A, Jarvis Å; "Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar", Avfall Sverige, Rapport U2009:03, 2009
- SNV; "Hållbar återföring av fosfor". Naturvårdsverket, Rapport 6580, 2013
- SPCR 120, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut; Certifieringsregler för biogödsel, SP Sveriges Tekniska forskningsinstitut, 2013

- (<http://www.sp.se/sv/units/certification/product/Documents/SPCR/SPCR120.pdf>)
- Svensktkött; <http://www.svensktkott.se/om-kott/statistik/hur-mycket-kott-produceras/kottproduktion-import-och-export/>, Tillgängligt (2013-11-15), 2013a
- Svensktkött; <http://www.svensktkott.se/om-kott/statistik/hur-mycket-kott-ater-vi/kottkonsumtion/>, Tillgängligt (2013-11-15), 2013b
- Teghammar A, Yngvesson J, Lundin, M, Taherzadeh, MJ, Sárvári Horváth I; "Pretreatment of paper tube residuals for improved biogas production", *Bioresource Technology* 101, 1206-1212, 2010
- Teghammar A, Forgács G, Sárvári Horváth I, Taherzadeh MJ; "Techno-economic study of NMMO pretreatment and biogas production from forest residues", *Applied Energy*, 116, 125-133, 2014
- Tong XG, Smith LH, McCarty PL; "Methane fermentation of selected lignocellulosic materials", *Biomass* 21(4), 239-255, 1990
- Tufvesson L, Lantz M; "Livscykelanalys av biogas från restprodukter", Svenskt gastekniskt center, Rapport SGC 257, 2012
- Ward AJ, Hobbs PJ, Holliman PJ, Jones DL; "Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources", *Bioresource Technology*, 99, 7928-7940, 2008
- Wegeberg S, Felby C; "Algae biomass for bioenergy in Denmark – Biological/technical challenges and opportunities", Report, University of Copenhagen, Denmark, 2010
- Weiland P; "Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany", *Applied Biochemistry and Biotechnology* 109(1-3), 263-274, 2003
- Widheden A, Strömberg K & Andersson K; LCA Kyckling, LCA Livsmedel, 2001
- WSP; "Realiserbar biogaspotential i Sverige år 2030 genom rötning och förgasning", Energigas Sverige, 2013
- Yngvesson J, Persson E, Fransson M, Olsson M; "Energi- och kostnadseffektiv biogasproduktion från avfall, utkast till slutrapport version 1.10", pågående projekt, 2013

A Enkät

Identifiering och värdering av faktorer som påverkar nyttjandegraden av substrat.

Den här enkäten är en del i Waste refinery projektet WR 62 "Förbättrad metanproduktion genom nya substrat och processutveckling"

Projektet ska tydliggöra den kunskap som finns ute på anläggningarna och med utgångspunkt av detta försöka hitta substratfokuserade lösningar för att öka gasproduktion och förbättra de ekonomiska och miljömässiga förutsättningarna. Projektet kommer att ge svar på hur framtida biogassystem kan utvecklas, samt vilka styrfaktorer som kan vara viktiga i detta avseende.

Vi vill med den här enkäten som underlag undersöka och diskutera hur situationen ute på anläggningarna är idag.

Alla era svar kommer att avidentifieras så att man inte kan härleda tillbaka till de specifika anläggningarna.

I bifogat excel-dokument ber vi er fylla i data om substrat, process och biogödsel för år 2012.

1. Substrat

- a) Uppstår det problem vid hantering av substraten, drift- eller processmässigt? I så fall för vilka substrat? Varför?
- b) Vilka substrat är bra process- och driftmässigt? Varför?
- c) Känner ni av konkurrens om substrat? Hur påverkas ni av detta?
- d) Hur ser ni på framtidens substratmarknad?

2. Förbehandlingsmetod

- a) Hur effektiv är eventuell förbehandlingsmetod (förloras organiskt material)? Finns andra problem?

3. Avtal och regelverk angående substrat

- a) Begränsas ni av gällande regelverk?

- b) Finns det substrat som finns tillgängliga men som ej kan utnyttjas? Varför kan de ej utnyttjas?

4. Processdesign

- a) Hur är anläggningens processkonfiguration? Ge processschema/ritning?
- b) Är processdesign och driftupplägg anpassat till de substrat som behandlas?
- c) Har ni återkommande processtörningar? Inhibering? Överbelastning? Vad tros ligga bakom detta?
- d) Har ni återkommande driftstörningar i processen? Sand? Sten? Plast? Struvit? Vad tros ligga bakom detta?

5. Energiförbrukning

- a) Hur stor var den totala energiförbrukningen 2012, uppdelat på respektive energikälla (el, fjärrvärme, olja, naturgas, biogas osv.)?

6. Biogödsel

- b) Hur hanteras biogödseln (lagring, avvattning el dyl)? Används polymerer vid ev. avvattning?
- c) Är ni SPCR certifierade? Är det en konkurrensfördel?
- d) Finns det avsättning för all biogödsel?

7. Gasrening

- a) Uppgraderar ni er biogas? I så fall vilken typ av uppgraderingsanläggning sker detta i?
- b) Fungerar anläggningen på ett tillfredsställande sätt? Finns det problem som kan kopplas till kvalitet/sammansättning på biogasen?

B Dataförfrågningsunderlag

B.1 Substrat

Ange medelvärden för data från år 2012				
	Ange enhet	Substrat 1	Substrat 2	Substrat 3
Typ av substrat				
Förbehandling? Ja/nej?				
Metod?				
Hygiensiering? Ja/nej?				
Mottagen mängd 2012				
TS				
VS				
Total COD				
Löst COD				
Fett				
TKN				
NH4-N				
P-tot				
Kalium				
Svavel				
BMP-resultat (metanpotential)				
Synliga föroreningar	> 2 mm, % TS?			
Metaller:				
-Zink, Zn				
-Koppar, Cu				
-Krom, Cr				
-Nickel, Ni				
-Bly, Pb				
-Kadmium, Cd				
-Kvicksilver, Hg				
-Kalcium, Ca				
-Magnesium, Mg				

B.2 Process

Ange medelvärden för processdata från år 2012				
	Ange enhet	Processteg 1	Processteg 2	Processteg 3
Typ av processteg				
Volym (aktiv)				
Uppehållstid				
Temperatur				
TSin				
VSin				
TSut				
VSut				
Total CODin				
Total CODut				
Löst CODin				
Löst CODut				
Biogasproduktion				
Metanhalt				
Tillsatser, processhjälpmedel? Ja/nej? Typ?				
Processtillstånd:				
pH				
Alkalinitet, BA, TA?				
VFA				
Löst COD				
NH4-N				

B.3 Biogödsel

Ange medelvärden för data från år 2012		
	Ange enhet	Biogödsel
Producerad mängd 2012		
Avvattnad mängd		
Mängd rejekt		
TS		
VS		
Total COD		
Löst COD		
TKN		
NH4-N		
P-tot		
Kalium		
Svavel		
Synliga föroreningar	> 2 mm, % TS?	
Metaller:		
-Zink, Zn		
-Koppar, Cu		
-Krom, Cr		
-Nickel, Ni		
-Bly, Pb		
-Kadmium, Cd		
-Kvicksilver, Hg		
-Kalcium, Ca		
-Magnesium, Mg		

C Indata för ekonomisk utvärdering

Beräkningarna har gjorts i en förenklad röttningsmodell baserad på resultat från tidigare arbeten inom Waste Refinery (Holmström *et al.*, 2013; Carlsson *et al.*, 2013). Indata för kostnader har uppdaterats dels genom diskussioner inom projekt- och referensgrupp, dels genom kommunikation med två pågående Waste Refinery projekt inom biogasområdet: "WR 54, *Energi- och kostnadseffektiv biogasproduktion från avfall*", "WR 62, *Styrmedel för ökad biogasproduktion*". Dessutom har indata baserats på befintlig litteratur (se avsnitt 6.1)

De totala kostnaderna för fordonsgasproduktion beror bland annat på investeringskostnader, biogasutbytet i rötkammaren och behov av drift och underhåll. För investeringskostnader finns det tydliga skalfördelar där det blir billigare ju större anläggningen är. Detta gäller framförallt uppgradering till fordonsgaskvalitet (Roth *et al.*, 2009).

Nedan listas generella antaganden som använts vid kostnadsberäkningarna.

- Transportkostnader har beräknats med en kostnad på 900 kr/h med ett antagande en tidsåtgång på 45 minuter per resa för lastning, lossning, och tvätt, etc. se avsnitt 6.3 för en mer detaljerad beskrivning.
- Kostnaden för fjärrvärme inkluderas i kostnaderna för rötning istället för att värderas som kostnaden för alternativ fjärrvärmeproduktion. Priset för fjärrvärme är satt till 590 kr/MWh, vilket motsvarar ett Sverigemedel 2012 enligt Nils Holgerson-undersökning, kompenserat för kundstorlek och lastprofil över året (Ekan-gruppen, 2013).
- Kostnaderna för el har antagits till 583 kr/MWh vilket motsvarar medelpris år 2012.
- Kostnaden för rejekthantering är beräknad utifrån en antagen mottagningsavgift på 750 kr/ton rejekt.
- Ersättning för fordonsgas har beräknats utifrån medelpriset i Sverige år 2013 (Energigas Sverige/Gasbilen.se, 2013). För att få ersättning vid anläggningens grind har följande poster dragits från medelpriset:
 - Kostnad för distribution till tankställe (<150 km) motsvarande 150 kr/MWh
 - Kostnad för tankställe motsvarande 200 kr/MWh
- Kostnaden för biogödsel har beräknats utifrån ett transportavstånd på 50 km.
- Kapitalkostnader har beräknats med hjälp av annuitetsmetoden med en ekonomisk livslängd på 15 år och en real kalkylränta på 5 %.

Investeringskostnad för förbehandling varierar med olika anläggningar då dagens anläggningar är olika utformade och för kombinationen av källsorterat matavfall och förpackat livsmedelsavfall är det svårt att beräkna en representativ medelkostnad. Kapitalkostnaden har därför baserats på den medelanläggning som presenterats i Fransson *et al* (2013) med en beläggning på 76 %⁴. Inga uppgifter har funnits för investeringskostnaden för förpackat avfall. Den specifika investeringskostnaden antagits motsvara ca 10 % av investeringskostnaden för matavfall. Personal- och underhållskostnader har baserats på resultat presenterade i Yngvesson *et al.* (pågående projekt). I Tabell A redovisas den indatan som använts.

Tabell A. Indata för beräkning av kostnader för förbehandling av matavfall och förpackat material.

Table A. Data used for cost calculations for the pretreatment of food waste and packaged food waste.

Förbehandling	Enhet	Matavfall	Förpackat material
Specifik investering	kr/ton	1900	190
Nyttjandegrad	% av kapacitet	76	50
Kapitalkostnader	kr/ton	241	29
Underhållskostnad	kr/ton	130	112
Personalkostnad	kr/ton	120	195
Elanvändning	kWh/ton	31	23
Spädvattenanvändning	m ³ /ton	0,85	0
Rejektandel	%	20	30
Rejekthantering	kr/ton rejekt	750	750
Summa förbehandling	kr/ton	666	584

Kostnaden för rötning och hygienisering av de olika substraten har beräknats utifrån data presenterat i Tabell B. Kostnaden för underhåll, personal och el har anpassats från Yngvesson⁵ *et al* (pågående projekt).

⁴ Motsvarar ett medel av förhållandet mellan behandlad mängd och kapacitet för fyra anläggningar i Fransson *et al.*, (2013).

⁵ Nyckeltalen presenterade i Yngvesson *et al.*, (2013) är angivna i kr/ton mottaget avfall. Här har kostnaderna anpassats för att avspegla den mängd som går till rötkammaren.

Tabell B. Indata för beräkning av kostnader för rötning inklusive hygienisering. Kostnaderna är angivet som kr/ton till rötkammare, vilket innebär att kostnaden för att röta matavfall baseras på mängden slurry från förbehandling.

Table B. Data for cost calculations of anaerobic digestion including hygienization. The costs are given as SEK/tonne to the digestion chamber. The cost for digestion of food waste is thus based on the amount of slurry from pretreatment.

Rötning	Enhet	Alla substrat
Specifik investering	kr/ton	700
Nyttjandegrad	% av kapacitet	0,8
Kapitalkostnader	kr/ton	84
Underhåll	kr/ton	17
Övriga kostnader	kr/ton	6
Personalkostnad	kr/ton	21
Elanvändning	kWh/ton	25
Elkostnad	kr/ton	15
Värmeanvändning, inklusive hygienisering	kWh/ton	50
Värmekostnad	kr/ton	30
Summa rötning	kr/ton	173

De indata som använts för att beräkna kostnad för uppgradering och komprimering redovisas i Tabell C.

Tabell C. Indata för beräkning av kostnad för uppgradering och komprimering av rågas till komprimerad fordonsgas.

Table C. Data used for cost calculations for upgrading and compression of biogas to compressed vehicle gas.

Uppgradering och komprimering		
Maxkapacitet	m ³ rågas/h	900
Beräknad max kapacitet	GWh	50
Kapitalkostnad	kr/kWh	0,08
Driftskostnad, exklusive el	kr/kWh	0,02
Elanvändning	kWh	0,06
	el/kWh/fordonsga	
Elkostnad	kr/kWh	0,04
Summa	kr/kWh	0,14



WASTE REFINERY

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