

KONCEPTUTREDNING BIOGASANLÄGGNING MÖNSTERÅS

– Biogasproduktion

Daniel Tamm
Elin Ossiansson
2009-06-02

BioMil AB

biogas, miljö och kretslopp

Trollebergsvägen 1
222 29 LUND

Författare: Daniel Tamm	Telefon: 046-148070	Mobil: 0761-056975	e-post: daniel@biomil.se	Status: Slutversion
Beställare/Mottagare: Mönsterås kommun	Rev.datum:	Dokumentnamn: SCMS Biogasproduktion.odt		
Projektnamn/Ärende: Biogasproduktion hos SCMS	Ver.-/Ändr.: 0	Granskad av: EO	Godkänd av: DT	

Konceptutredning Biogasanläggning Mönsterås

Innehållsförteckning

<u>1 Inledning och sammanfattning</u>	4
<u>2 Översyn av substraten</u>	5
<u>3 Biogaspotential</u>	7
<u>4 Biogastekniker</u>	9
<u>4.1 Torrötning</u>	9
<u>4.2 Våtrötning</u>	10
<u>4.3 Temperaturval</u>	11
<u>5 Substratkomposition för bästa gasproduktion</u>	12
<u>5.1 Viktiga egenskaper hos substraten</u>	12
<u>5.2 Slutsats</u>	12
<u>6 Biogödsel</u>	15
<u>6.1 Mängder och näringsinnehåll</u>	15
<u>6.2 Acceptans för avloppsrenings slam och certifiering enligt REVAQ</u>	15
<u>6.3 Certifiering enligt SPCR 120</u>	15
<u>6.4 Slutsats</u>	15
<u>7 Behandling av rötrest</u>	17
<u>7.1 Avvattning</u>	17
<u>7.2 Torkning/pelletering</u>	17
<u>8 Transportkostnader för substrat</u>	18
<u>9 Uppgradering</u>	20
<u>9.1 Gaskvalitet</u>	20
<u>9.2 Uppgraderingstekniker</u>	20
<u>9.2.1 Vattenskrubber</u>	20
<u>9.2.2 PSA (Pressure Swing Adsorption)</u>	22
<u>9.2.3 Kemisk absorption</u>	24

<u>9.2.4 Kryoprocesser</u>	25
<u>9.3 Kondensering</u>	26
<u>9.3.1 Leverantörer</u>	27
<u>9.4 Investering</u>	28
<u>9.5 Placering</u>	29
<u>9.6 Återvinning av CO2</u>	30
<u>10 Förbrukare och avsättning för gasen</u>	31
<u>10.1 Förbränning i mesaugnen</u>	31
<u>10.2 Förbränning i gasmotor</u>	31
<u>10.3 CBG-tankstation i Mönsterås</u>	32
<u>10.4 LBG</u>	33
<u>10.5 Slutsats</u>	35
<u>11 Processchema</u>	36
<u>11.1 Våtrötning</u>	36
<u>11.2 Torrötning</u>	37
<u>12 Referenser</u>	38

1 Inledning och sammanfattning

Mönsterås kommun, Södra Cell och Regionförbundet i Kalmar län har beslutat att gå vidare med en konceptutredning avseende möjligheterna till regional storskalig biogasproduktion och biogödselhantering invid Södra Cells bruk i Mönsterås. Utgångspunkten är samrötning av en palett med olika substrat från lantbruk, processindustri och samhället.

BioMil AB har fått i uppdrag att göra den delen av konceptutredningen som gäller biogasproduktionen. Projektet befinner sig i en tidig fas med begränsade finansiella resurser. Därför skulle även denna utredning ligga på en allmän nivå som kan tjäna som utgångspunkt och underlag för en följande mer detaljerad studie. Det ligger i utredningens natur att en del frågor måste lämnas öppna, och att vissa frågeställningar bara har tagits upp på en mer allmän nivå. Framför allt när det gäller uppskattning av kostnader har denna studie förlitat sig på i huvudsak befintlig information såsom rapporter och budgetofferter från tidigare projekt.

Substratmängderna bedöms vara tillräckliga för att få till stånd en tämligen stor anläggning, även om vissa av de ursprungliga substrat anses vara mindre intressanta för biogasproduktionen. Storleken öppnar även för tekniker i framkanten såsom kryogen uppgradering och flytande biogas, vilket kan ha betydande påverkan på hela regionens försörjning med fordonsgas. På denna bakgrund anses projektet ha goda möjligheter till en framgångsrik utveckling.

För själva rötningsprocessen har både konventionell våtrötning och torrötning studerats. Incitamentet till torrötningen finns i faktumet att Cedergrens har beviljats KLIMP-bidrag till en torrötningensanläggning. Denna studie kan dock inte påvisa nämnvärda för- eller nackdelar med någon av teknikerna, inte minst eftersom oavvattnat slam från bruket kan användas som spädvatten, samt att biogödsel från våtrötning kan avvattnas på samma sätt som brukets slam avvattnas idag. För substratblandningar med tillräckligt låga kvävehalter kan däremot torrötningstekniken vara ett intressant alternativ då hygieniseringen kan integreras i en termofil process. För övrigt skulle en framtida upphandling kunna lämna teknikfrågan öppen och låta totalekonomin avgöra det slutliga valet.

2 Översyn av substraten

Som utgångspunkt för denna rapport har data från uppdragsgivaren använts som föreligger i form av ett kalkylblad. Sammanställningen inkluderar de substraten som visas i nedanstående Tabell 1.

Som ett första steg i vårt arbete har vi verifierat substratens egenskaper och kompletterat listan med egna erfarenheter och data från andra externa källor.

Substrat	TS [% av VV]	VS [% av TS]	Metanpot. [Nm ³ /t _{TS}]	C/N	Totalkväve [kg/t _{TS}]	Fosfor [kg/t _{TS}]	Kalium [kg/t _{TS}]
Hushållsavfall	30	75	350	20-30	18		
Reningsverksslam	20	57	195	<20	42	31	5
Nötgödsel	9	77	190	6-20	40	15	75
Svingödsel	7	80	210	5	30	50	50
Kycklingödsel	65	82	195	8-10	51	38	27
Hönsödsel	32	65	175	3-10	45	16	16
Sockerbetor inkl blast	21	90	350	>30	25	4	
Vallensilage	35	75	300	32	45	6	
Majsensilage	36	90	360	49	15	3	11
Hönsdestruktion	30	85	500	5	80	10	
Kycklingdestruktion	30	85	500	5	80	10	
Musslor	10	80	471	lågt	80	80	
SLÖ bioslam	1,5 (21)	72	32	lågt	42?	31?	
SLP processlam	4,1 (21)	48	62	högt			
SLF fiberslam	2,8 (21)	94	470	högt			

Tabell 1: Substrategenskaper

Egenskaperna hos Södras slam gäller oavvattnat slam. Om slammet används i biogasprocessen kommer det antagligen att avvattnas, så att TS-halten blir betydligt högre (21 % enligt Södras kalkylark). Data för C/N-kvoten hos de tre slamströmmarna finns inte tillgängligt, men den genomsnittliga kvoten är 11,5. Då C/N-kvoten i både press- och fiberslammet kan antas vara hög, innebär det att kvoten i bioslammet torde vara låg.

Gaspotentialen framför allt för överskottsslammet, men även för processlammet verkar vara extremt låg. Pga de stora volymerna rekommenderas att nya provrötningar genomförs för att verifiera dessa uppgifter. Slutsatserna som dras i det följande gällande lämpliga substratkombinationer kan påverkas väsentligt av ett högre gasutbyte.

Det är viktigt att komma ihåg att värdena kring substrategenskaper brukar ha stor osäkerhet. När det gäller metanpotentialen har en konservativ uppskattning gjorts i fall med stora spann. För näringsinnehållen har ett troligt medelvärde på olika uppgifter använts i de fallen olika data föreligger.

Musslornas gaspotential antas vara i nivå med slakteriavfall för kött delen. På Tekniska verken i Linköping avser man genomföra röttningsförsök med musslor, vilka dock ännu inte har startats upp. Då musselskalen blir tunna på östkusten borde de inte utgöra något problem i förbehandlingen. Musslornas höga kvävehalt behöver inte bidra till ammoniakinhibering (se 4.3) då de

även har högre salthalt än de andra substraten. Detta har rapporterats minska känsligheten för ammoniakinhibering.

Klassificeringen av fjäderfäkadaver framgår ur ABP [1]:

Kategori 2-material

...

Djur och delar av djur, med undantag av de som avses i artikel 4, som dött på annat sätt än genom slakt för användning som livsmedel, inbegripet djur som avlivats för att utrota någon epizootisk sjukdom.

...

Därmed bör avlivade värphöns tillhöra kategori 2 enligt ABP.

3 Biogaspotential

Mängderna har tagits som givna från Södras kalkylark och i vissa fall verifierats. Då osäkerheten i mängdangivelserna skiljer sig åt kraftigt, har substraten delats in i kategorierna stor eller liten säkerhet i mängd (Tabell 3 på sida 8). Bland de ”säkra” substraten utgör Södra Cells slam den enskilt största potentialen, men även hönsgödseln från Cedergrens ger en hög potential. Gödsel från nöt och svin finns i stora mängder och kan därmed ge stora mängder gas om det finns intresse från lantbrukarna.

Om energigrödor finns att tillgå kan det öka anläggningens produktion avsevärt; den sammanlagda potentialen från grödor uppgår till ca 20 GWh för den uppskattade mängden. Mängden energigrödor har baserats på 10 % av kommunens åkerareal i enlighet med [5]. Åkermark i träda var 11 % av åkermarken år 2007, varför användning av 10 % av arealen, motsvarande 600 ha, för odling av energigröda anses vara möjlig. Arealen har delats upp enligt Tabell 2.

Gröda	Areal [ha]	Skörd [t/(ha·år)]	Kommentar
Vall	300	19	Ensileras
Majs	200	35	Ensileras
Sockerbeta	100	40+30	Både betor och blast används

Tabell 2: Energigrödor

Fjäderfädestruktionens bidrag till gasproduktionen är försumbart, dock kan det finnas andra incitament att ta in detta material.

Den totala gaspotentialen kan uppgå till nästan 60 GWh förutsatt att de antagna mängderna går att uppbringa. Det kan jämföras med den nyligen invigda anläggningen i Falkenberg på 40 GWh. Mindre än hälften av potentialen kommer dock från säkrade substrat ifall energigrödor räknas dit.

Substrat	Vätvikt [ton/år]	Säkerhet i mängd	Biogaspotential [GWh/år]	N [ton/år]	P [ton/år]
Hushållsavfall	2 500	Liten	2,6	13,5	12,5
Reningsverksslam	5 328	Stor	2,1	44,8	33,0
Nötgödsel	48 000	Liten	8,2	172,8	64,8
Svingödsel	12 000	Liten	1,8	25,2	42,0
Kycklingödsel	1 000	Stor	1,3	33,2	24,7
Hönsödsel	11 000	Stor	6,2	158,4	55,0
Sockerbeton inkl blast	7 000	Liten	5,1	37,0	5,9
Vallensilage	5 700	Liten	6,0	89,8	12,0
Majsensilage	6 940	Liten	9,0	37,5	6,3
Hönsdestruktion	500	Stor	0,8	12,0	1,5
Kycklingdestruktion	5	Stor	0,01	0,1	0,0
Musslor	5 000	Liten	2,4	40,0	40,0
SLÖ bioslam	38 700	Stor	1,8		
SLP processlam	16 400	Stor	1,5		
SLF fiberslam	8 200	Stor	8,2		
Summa slamströmmarna	63 300		11,5	70,1	40,2
Summa säkra mängder	81 133		22	319	154
Summa osäkra mängder	87 140		35	416	184
Totalsumma	168 273		57	734	338

Tabell 3: Biogaspotential, kväve- och fosforinnehåll för substraten angivet per år

4 Biogastekniker

Som Tabell 1 visar har flertalet substrat en relativt hög TS-halt. För användning i en konventionell våtröttningsanläggning med upp till ca 10 % TS skulle spädning behövas. Spädningen kan dock åstadkommas genom att ta in oavvattnat slam från bruket. Således är det intressant att närmare undersöka både våtrötning och torrötning.

4.1 Torrötning

Med tanke på att Cedergrens har beviljats KLIMP-bidrag för en biogasanläggning som bygger på torrötningsteknik, så är denna teknik speciellt intressant, även om den annars möjligen skulle bli mindre ekonomisk än en konventionell våtröttningsanläggning.

Fördelen med den ”torra” tekniken är bland annat att behandlingsvolymen inte utökas onödigt genom tillsättning av spädvatten. På så sätt kan anläggningen bli mindre än en motsvarande våtröttningsanläggning. Dessutom blir avvattningen av biogödseln enklare då man utgår från en högre nivå.

För torrötning finns det i stort två olika teknikgrupper: satsvisa och kontinuerliga anläggningar. De väsentliga egenskaperna och skillnaderna visas i Tabell 4.

	Satsvis teknik	Kontinuerlig teknik	SCMS / detta projekt
Tekniknivå	enkel	mer komplex	komplex
Substratens TS-halt	stapelbar (> ca 25 %)	inga speciella krav	beroende på blandning troligen < 25 %, flytande
Strukturmaterial	krävs	krävs inte	nej
Lämplig storlek ca	3 000 ... 20 000 t/a	över 5 000 t/a	20 000...>100 000 t/a
Störämnen (stenar mm)	stör inte	max ca 40 mm	lite
Underhåll, slitage	liten	större	

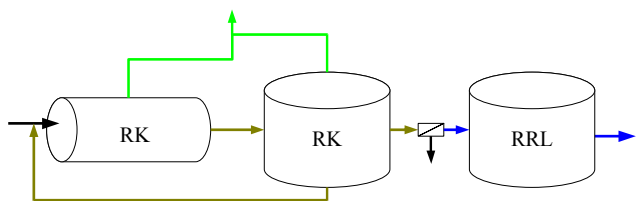
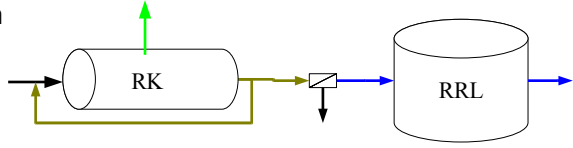
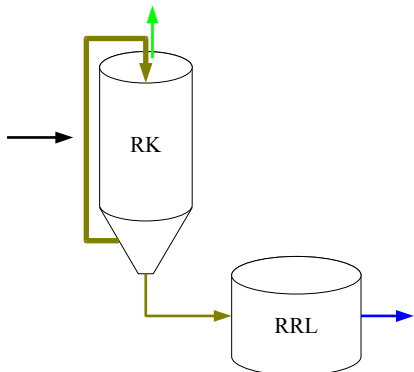
Tabell 4: Jämförelse satsvis/kontinuerlig torrötning

En mer ingående beskrivning av torrötningstekniker finns bl a i [6].

Bland de aktuella substraten är de flesta tämligen struktursvaga. Det innebär att det skulle behövas strukturmaterial utöver substraten i Tabell 1 för rötning med satsvis torrötningsteknik. Beroende på andel gödsel blir blandningen möjligtvis inte stapelbar heller, vilket är förutsättningen för att kunna lasta in substraten i satsvisa boxar. Kontinuerliga anläggningar däremot har inte samma krav på struktur.

En viktig aspekt vid teknikvalet för torrötning är också placeringen hos Södra Cell. Bruket har en pågående verksamhet med hög tekniknivå. En biogasanläggning bör anpassa sig till detta, så att driftpersonal från bruket även kan och vill sköta rötningen.

Med dessa överväganden bör en torröttningsanläggning bygga på kontinuerlig teknik. För detta existerar olika lösningar på marknaden, se exemplen i Tabell 5.

Leverantör	Beskrivning
Eisenmann	<p>Liggande pluggflödesreaktor som steg 1, sedan totalomblandad reaktor i steg 2 där torrhalten har sjunkit så långt att innehållet är flytande. Recirkulering från steg 2 eller rötrestlager till inmatningsdelen för ympning och kontroll av konsistens i röt-kammaren.</p> 
Kompogas, CTU	<p>Liggande pluggflödesreaktor som enda röt-kammare. Recirkulering runt röt-kammaren för ympning och kontroll av konsistens i röt-kammaren.</p> 
OWS	<p>Tillhandahåller Dranco(Farm)-systemet som har en stående pluggflödesreaktor som hjärta. Substrat recirkuleras intensivt genom reaktorn, så att den närmar sig en totalomblandad röt-kammare. Reaktorns nedre kon ligger utanför recirkuleringen och tjänar som efterröttningssektion.</p> 

Tabell 5: Tillgänglig teknik för kontinuerlig torrötning

Alla tekniker i tabellen ovan bedöms vara lämpliga för rötning av aktuella substrat. Val av rätt teknik/leverantör kan därför baseras på frågor som lönsamhet, möjlighet till serviceavtal, tillgänglighet mm.

4.2 Våtrötning

Som alternativ till ovan beskriven torrötning kan även en konventionell våtröttningsanläggning tjäna ändamålet. Våtröttningsanläggningar är normalt kontinuerliga och till stor grad automatiserade, så att driften kan skötas av SCMS:s personal.

I en våtröttningskonfiguration blir TS-halten av substratblandningen, som inledningsvis ligger betydligt över 10 %, så stor att någon form av spädning skulle behövas. Genom att ta in bioslammet från bruket i oavvattnad form kan TS-halten i blandningen sänkas till önskad nivå, se även kapitel 5.2.

Alternativt kan TS-halten sänkas genom recirkulering av rötrest: Vid avslutad rötning separeras rötresten i en fast och en flytande fraktion, där en del av vätskan används för spädning av nytt substrat. Medan lösningen tycks ligga nära till hands eftersom en del av rötresten ändå ska torkas, så finns det risk att kvävehalten i processen blir hög och minskar gasutbytet. I detta fall skulle en stripperanläggning kunna sänka kvävehalten, dock har sådan utrustning visat sig vara kostsam i både investering och drift. Huruvida vätskerecirkulering utan kväveavskiljning är möjlig beror på den aktuella substratmixen och bör undersökas närmare i ett senare projektskede.

I övrigt ställer de aktuella substraten inte några ovanliga krav på en våtrötningsanläggning.

4.3 Temperaturval

För att få en välmående mesofil rötningsprocess bör C/N-kvoten helst ligga i området 15-25. Vid en lägre kvot, dvs större andel kväve i substratblandningen, blir ammoniumkoncentrationen (NH_4^+) högre, vilket i sin tur leder till högre koncentrationer av löst ammoniak (NH_3). Hur mycket av ammoniumet som övergår till ammoniak beror främst på temperaturen och pH-värdet, vilket förtydligas i Bild 1. Bilden visar att både högre temperatur och högre pH-värde leder till förhöjda ammoniakkoncentrationer.

Vid koncentrationer över 100 mg/l börjar ammoniak verka hämmande på biogasbildningen. Vid pH 7,5 är enligt Bild 1 andelen ammoniak vid mesofil rötning 4 %, medan den är 11 % vid termofil rötning. Således bör man räkna med hämning vid ammoniumkoncentrationer över 2,5 g/l vid mesofil rötning, medan den börjar redan vid 0,9 g/l vid termofil rötning.¹

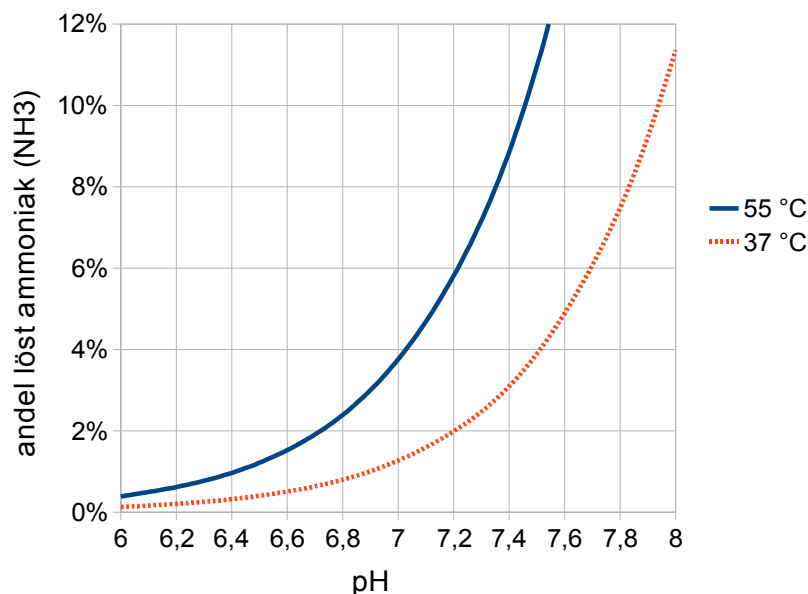


Bild 1: Andel löst ammoniak (NH_3) av ammoniumkvävet (summa $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) som funktion av temperatur och pH

Med tanke på att flera substrat är förhållandevis kväverika bör processen väljas så att så lite av kvävet som möjligt föreligger som löst ammoniak. Detta innebär att en mesofil rötning är att föredra.

Vid torrötningsalternativet med en blandning som innebär tillräckligt låg kvävenivå är det däremot fördelaktigt med en termofil process om substrat ingår som kräver hygienisering. Motiveringen till detta är att hygienisering av torra substrat kan vara svår, samtidigt som utspädning till pumpbar konsistens inte är önskad. Däremot kan en termofil process med pluggflödesreaktor via evaluering godkännas som hygieniseringsmetod.

¹ Spannet där ammoniak har beskrivits som inhiberande är mycket stort. Värdet mellan 1,5 och 14 g/l har rapporterats som hämmande, dock anses gränsen ofta ligga vid ca 3 g/l, intressant nog oberoende av pH. Viktigt i detta sammanhang är dock främst inverkan av processtemperaturen.

5 Substratkomposition för bästa gasproduktion

5.1 Viktiga egenskaper hos substraten

Mängderna har tagits som givna från Södras kalkylark och i vissa fall verifierats. Generellt sett är det bra att blanda flera olika substrat, eftersom det ökar sannolikheten att bakterierna får tillgång till de spårämnen som behövs. Följande egenskaper hos substratet avgör vilken blandning av olika substrat som lämpar sig bäst:

- Tillgänglighet. De flesta av de aktuella substraten är tillgängliga året runt. Undantag är färska sockerbeter som endast finns tillgängliga okt-dec (längre om de stuklagras eller marklagras). Majs- och vallensilage kan tillsättas för att jämna ut flödet av grödor. Mängden nötgödsel och bioslam från reningsverk och bruket minskar något på sommaren.
- Gaspotential. En hög och jämn gasproduktion är naturligtvis essentiell. Processen underlättas om energitätheten i substratet är jämt så att uppehållstiden kan hållas någorlunda konstant.
- Nedbrytbarhet. Ett lättnedbrytbart substrat som sockerbeter eller majsensilage bildar snabbt flyktiga organiska syror i processen, vilket sänker pH-värdet och kan leda till inhibering av biogasproduktionen (surgång) i enstegsprocesser. Matning med lättnedbrytbart substrat bör därför ske med försiktighet i enstegsprocesser. Ett mer svårnedbrytbart material, som t ex fiberslam, ökar pH-värdet i röt-kammaren. Det minskar risken för surgång, men ökar samtidigt risken för ammoniakinhibering (se nedan).
- Kväveinnehåll. C/N-kvoten är en viktig parameter för att processen ska fungera bra. Den ska vara tillräckligt låg för att bakterierna inte ska få brist på kväve, men inte så låg att processen inhiberas av ammoniak. För anaeroba processer bör C/N-kvoten vara ca 15-25, beroende på pH. Då flera av substraten har en låg C/N-kvot (Tabell 1) är det önskvärt att tillsätta råvaror med en högre kvot för att inte riskera inhibering. Ett jämt kväveinnehåll över tiden är även behövligt för att biogödselhanteringen ska fungera väl.

5.2 Slutsats

Substraten med låg C/N-kvot kommer i en relativt jämn ström över året. Utan tillsats av energigröda kan C/N-kvoten bli lägre än 10, och processens stabilitet och effektivitet kan försämrats. För att kunna ta emot allt tillgängligt gödsel med ett gott resultat är det därför önskvärt med tillsats av energigröda. Även intagning av bioslammet från bruket leder till större behov av kvävefattigt material i form av energigrödor. Däremot kan, istället eller som komplement till energigrödor, även process- och fiberslammet användas för att höja C/N-kvoten. Lättnedbrytbart material bör tillsättas utan större svängningar så att biologin har möjlighet att anpassa sig. Resonemanget kring kväve gäller oavsett vald typ av rötningsteknik.

Förutom aspekter kring kväveinnehållet är gaspotentialen för de enstaka substraten avgörande för den förväntade gasproduktionen. Substrat med hög potential är energigrödorna, djurkadaver och fiberslammet, samt hushållsavfall. Användning av energigrödorna beror dock på aktuell prisbild då det inte handlar om restprodukter. Hushållsavfall kräver stora investeringar för mekanisk förbehandling som inte är rimliga för den aktuella mängden på 2500 ton per år.

Djurkadaver är mycket intressanta substrat då de har en hög specifik gaspotential. Med rätt komplettering med energigrödor ger de en stabil gasproduktion på hög nivå. Däremot förutsätter det en extra investering för sterilisering. För att kunna räkna hem investeringen är förutsättningen att det går att ta ut en behandlingsavgift för djurkadaver som täcker merkostnaden. Intagningsområ-

det för djurkadaver kan även vara större än för övriga substrat, vilket skulle förkorta amorteringstiden för utrustningen. En utvärdering av substrattillgången för ett större geografiskt område ingår däremot inte i detta arbete.

Bioslammet från bruket har mycket låg gaspotential och är därför ointressant ur gasproduktionsynpunkt. Däremot kan det – beroende på resterande substratmix och andel kolrikt material – med fördel användas för spädningssändamål i en våtröttningsanläggning om man använder oavvattnat slam. Jämfört med vattentillsats skulle man få en något högre gasproduktion samt ökade kvävemängder i biogödseln (se även följande kapitel).

Följande substratblandningar anses vara intressanta (Tabell 6). Mängder anges i ton per år.

Substrat	Minimal	Maximal	Maximal våtrötning	Maximal ej certifierbart	
Hushållsavfall ¹	0	0	0	0	
Reningsverksslam	0	0		5 328	
Nötgödsel	4 800	24 000	24 000	24 000	
Svingödsel	1 200	6 000	6 000	6 000	
Kycklingödsel	1 000	1 000	1 000	1 000	
Hönsödsel	11 000	11 000	11 000	11 000	
Sockerbetor inkl blast	2 100	7 000	7 000	7 000	
Vallensilage	1 710	5 700	5 700	5 700	
Majsensilage	2 083	6 944	6 944	6 944	
Hönsdestruktion	0	0	0	500	
Kycklingdestruktion	0	0	0	5	
Musslor	0	5 000	5 000	5 000	
SLÖ oavvattnat ²	0	0	24 300	0	
SLP ²	0	0	0	0	
SLF avvattnat	8 216	8 216	0	8 216	
SLF oavvattnat	0	0	62 500	0	
Summa substrat	32 109	74 860	153 444	80 693	
Gaspotential totalt [GWh/a]	23	43	43	46	
Rågasflöde [Nm ³ /h]	400	760	760	890	
Biogödsel	Mängd [t/a]	27 350	65 800	140 600	71 050
	Mängd [t _{TS} /a]	4 500	7 860	8 250	8 600
	TS-halt [%]	16	12	6	12
	N [kg/t _{TS}]	32	33	33	34
	P [kg/t _{TS}]	12	13	14	14
	K [kg/t _{TS}] ³	(14)	(19)	(19)	(18)
	N/P-kvot	2,7	2,5	2,4	2,4

Tabell 6: Förslag på substratblandningar, mängder i ton per år.

¹ Mängden hushållsavfall anses inte vara tillräckliga för anskaffning av behandlingsutrustning. Eventuellt kan dock avfall förbehandlas i en större anläggning i Kalmar och resulterande slurry rötas hos SCMS.

² SLÖ och SLP anses ha för låg gaspotential för en lönsam rötning. SLÖ kan dock användas för utspädningssändamål.

³ Underlaget för kalium är mycket svagt, då inte värden föreligger för alla substrat. Siffrorna i tabellen är därför för låga.

Minimalblandning:

Minimalblandningen går ut på att enbart 10 % av flytgödseln i regionen kan fås som substrat, samt att inga substrat tas in som kan minska acceptansen för biogödseln, såsom slam från reningsverk och hönsdestruktion. Fiberslammet tas med för bra gasproduktion och som komplement till den kväverika fjäderfägödseln. Slutligen kompletteras blandningen med den mängd energigrödor som är nödvändiga för att få rätt C/N-kvot, vilket motsvarar 30 ha sockerbeta, 90 ha vallgrödor och 60 ha majs.

Maximalblandning:

Om hälften av flytgödseln från regionen kan fås som substrat, samt att musselodlingen kommer igång, så ökar även den nödvändiga mängden av kompletterande kolrika substrat. Om all biogödsel ska kunna certifieras bör dock reningsslam och kadaver lämnas utanför. Det anses orimligt att kunna ta in mer än hälften av flytgödseln i dagsläget då lantbrukarna idag har en mycket avvakande inställning mot biogödsel i regionen. I den här blandningen har energigrödor från totalt 600 ha räknats in (100 ha sockerbeta, 300 ha vallgrödor och 200 ha majs). För att få ner kvävehalten tillräckligt mycket bör energigrödor från minst drygt 500 ha blandas in. Gasproduktionen från den här blandningen är ungefär dubbelt så hög som för minimalblandningen.

Maximalblandning för våtrötning:

För att använda maximalblandningen i en våtröttningsanläggning behöver vatten tillsättas. Detta kan tillgodoses genom att blanda in 6,5 % av det oavvattnade bioslammet. Istället för bioslammet kan även processvatten användas. TS-halt och näringsammansättning samt gaspotentialen påverkas bara marginellt i båda alternativ.

Maximalblandning ej certifierbart:

Om inte hela biogödseln behöver vara certifierbar så kan även reningsverksslam och djurkadaver tas in som substrat. Detta höjer gaspotentialen ytterligare något. Tack vare anläggningens storlek kan det vara möjligt att bygga flera skilda behandlingslinjer, där icke-certifierbara substrat endast tas in i en linje. Således kan större delen av rötresten fortfarande certifieras, och bara biogödseln från en linje måste avsättas ocertifierad. Det bör noteras att intagning av icke-certifierbara substrat handlar om en ökad biogaspotential på enbart ca 3 GWh. Det behövs således andra incitament för att ta in dessa substrat, vilket bör kunna besvaras av en framtida lönsamhetskalkyl.

6 Biogödsel

6.1 Mängder och näringsinnehåll

Biogödsel är lättillgänglig för växter, men har en något förhöjd fosforhalt. Kompensationsgödsling med kväve kan därför vara nödvändig. En bra biogödsel ska innehålla en hög halt av kväve, fosfor och kalium. Spårämnen förbättrar gödselns kvalitet, men är inte outhärliga. Mängder och näringsinnehåll för den producerade biogödseln kan ses i Tabell 6.

6.2 Acceptans för avloppsrenings slam och certifiering enligt REVAQ

Acceptansen för kommunalt reningsverksslam som gödningsmedel på åkermark är svårbedömd. Viljan hos lantbrukarna att ta emot reningsverksslam har ökat under de senaste åren, men nyligen har ett antal artiklar publicerats där negativa aspekter belysts. Risken för spridning av smitta, tungmetaller och läkemedelrester debatteras. Rötat avloppsrenings slam certifieras enligt REVAQ, som kan bidra till en ökad acceptans, men kräver ett kontrollsystem och flera dyra analyser. Flera livsmedelsproducenter har uttalat sitt förtroende för certifieringen. I det här fallet kan dock inte REVAQ användas, eftersom avloppsrenings slam inte utgör huvuddelen av substraten. Jordbruksverket godkänner spridning av rötat avloppsrenings slam om tungmetallhalterna underskrider riktvärdena.

6.3 Certifiering enligt SPCR 120

SPCR 120 är en certifiering för biogödsel som utfärdas av SP. Även här krävs ett dyrt kontrollprogram, men en certifiering kan vara viktig för att få ett värde kopplat till biogödseln. Ca 70 % av biogödseln i Sverige certifieras.

Biogödsel som har sitt ursprung i kommunala reningsverk kan ej certifieras enligt SPCR 120. Inblandning av kommunalt reningsverksslam innebär därmed att SPCR 120 inte kan tillämpas. Bioslam från pappersbruk finns inte med på den lista med exempel på godkända substrat som SP har publicerat. Däremot finns fall då bioslam från livsmedelindustrin har godkänts, varför det inte borde vara problematiskt att få SCMS:s överskottsslam godkänt för certifiering.

Biogödsel med ursprung i avfall som kategoriseras som kategori 2 enligt ABP (t ex avlivade höns) med undantag för mag/tarm-innehåll, gödsel och mjölk godkänns inte för certifiering enligt SPCR 120. Nyligen diskuterades möjligheten att godkänna steriliserat kategori 2 avfall, men beslut togs i dagarna om att inte ändra ståndpunkt. Jordbruksverket har däremot godkänt behandlat kategori 2 avfall i biogödsel.

KRAV godkänner idag inte SPCR 120-certifierat biogödsel, men en remiss om att ändra ståndpunkt är under behandling. Den 11 juni 2009 kommer beslut om huruvida KRAV ska godkänna certifierat biogödsel eller ej. Svenskt Sigill har godkänt biogödsel certifierat med SPCR 120.

6.4 Slutsats

Biogödsel har ett högt näringsinnehåll, men fosfor/kväve-förhållandet är så högt att kvävebehovet inte till fullo kan tillgodoses med biogödsel. Tillsats av höns- och kycklingdestruktion omöjliggör certifiering enligt SPCR 120 om det klassas som kategori 2 enligt ABP. Inblandning av externt reningsverksslam leder också till att biogödseln inte kvalificeras för SPCR 120.

Trots att biogödseln inte kan certifieras i dessa fall kan det ändå vara möjligt att få avsättning för det. Samma kontrollprogram för kvaliteten kan ändå användas, vilket kan räcka för att få sprida

biogödseln på mark där kraven inte är lika höga. Certifiering innebär en extra kvalitetsstämpel, men krävs inte enligt lag för att biogödseln ska få spridas. Jordbruksverket har godkänt steriliserade djurkadaver och reningsverkslam med låga tungmetallhalter. Därför kan alla substrat användas i anläggningen om certifiering inte anses nödvändigt.

Vad gäller skogsgödsling borde acceptansen vara tillräckligt god om halterna av tungmetaller är låga.

7 Behandling av rötrest

7.1 Avvattning

Idag är det ovanligt med avvattning av rötrest på biogasanläggningar i Sverige, förutom på reningsverken. Det innebär att avvattningsegenskaperna för rötat reningsverksslam är mycket mer välkända än för rötresten med annat ursprung. Reningsverksslam, som innehåller både bioslam och primärslam brukar kunna avvattas till ca 25-30 %. På Svensk Växtkraft AB:s biogasanläggning i Västerås finns emellertid en centrifug för avvattning av rötresten från ca 3 till 25-30 % TS. Substrat i anläggningen är hushållsavfall, fettavskiljarslam och vallgrödor. Erfarenheten från Västerås är att avvattningen fungerar tillfredsställande även utan tillsats av polymer.

Utan spädning är den beräknade TS-halten för substratblandningen i Tabell 1 ca 20 % innan rötning, och denna minskar under processen till ca 15 %. Det är svårt att förutsäga avvattningsegenskaperna för rötresten utan tillgång till avvattningsförsök med liknande substratblandningar.

Vid separationen hamnar den största delen av kvävet i den flytande fasen, medan fosfor främst stannar i slammet. Det kan skapa problem i de fall målet är att lätt kunna transportera och gödsla med kväve. Vattenfasen kan användas för bevattning av närbelägna åkrar för att tillvarata kvävet. Alternativet är att utvinna kväve genom t ex ammoniakstrippning eller produktion av struvit (magnesium-ammonium-fosfat). Dessa metoder är emellertid dyra.

7.2 Torkning/pelletering

För spridning av biogödseln i skogen är det lämpligt att höja dess TS-halt ytterligare, så man får mindre mängder och enklare hantering.

Genom pelletering ökas torrhalten till upp till 97 %, vilket underlättar transport och spridning. På Himmerfjärdsverket i Södertälje pelleteras slam med gott resultat. Erfarenheten därifrån är att kvävet i det avvattade slammet återfinns i pellets om temperaturen inte överstiger 120 grader. Priset för pelletering av rötrest med 30 % torrhalt har beräknats till 210-240 kr/ton fast rötrest [4].

En möjlig teknik för torkning av biogödseln är genom kontakttorkning i snäcktork. Dessa anläggningar består av flera snäckskruv som värms med termalolja eller ånga på drygt 200 °C. Värmeåtgången beror på mängd förångad vatten och är 900 kWh per ton vatten. 60 % av värmen kan återvinnas på lägre nivå (85 °C). Dessutom går det åt 35 kWh el per ton förångat vatten. [7]

Utrustning för torkning är relativt dyr, med en investeringskostnad på ca 7 MSEK för varje 1 t/h indunstningskapacitet. [7] Det är därför viktigt att vid projekteringen av en anläggning utvärdera de mängder rötrest som faktiskt behöver torkas.

8 Transportkostnader för substrat

Transporterna till biogasanläggningen ska löna sig både energimässigt och ekonomiskt för att inblandning av externa substrat ska vara aktuellt. De flesta substrat kan fraktas ganska långt innan rötning blir energimässigt ogynnsamt, undantagen är substrat med lågt TS och låg gaspotential.

Returlast med biogödsel har inte ansetts lämpligt för gödseltransporterna då det finns risk för kontaminering. Detta kan dock ha mindre betydelse vid större transportavstånd. I övriga fall är returlast inte möjligt om biogödseln är flytande eftersom grödor inte transporteras i tankbil. Därför bygger alla beräkningar på transport tur och retur.

Kostnaden för transporterna utgörs av ett pris för lastning/lossning och för körsträckan, varför korta transporter blir dyrare per mil. Priset för tankbil och lastbil skiljer sig inte åt nämnvärt enligt en tillfrågad åkare. Beroende på hur transportsystemet ser ut beräknas priset körsträcka och antingen tidsåtgång eller antal stopp med en lastningsavgift på 35 kr/ton. I det första fallet kostar körningen 160 kr/mil och lastningen 550 kr/h, i det senare fallet är stoppavgiften ca 130 kr (Bild 2). Den troligaste beräkningsmallen i det här fallet är på antal stopp, vilket blir något dyrare för kortare sträckor. En annan åkerifirma uppgav ett pris på 1,0-1,1 kr/km·ton för 3 mil transport av flytgödsel med specialbyggd tankbil som rymmer 40 ton, vilket stämmer väl överens med priset i figuren.

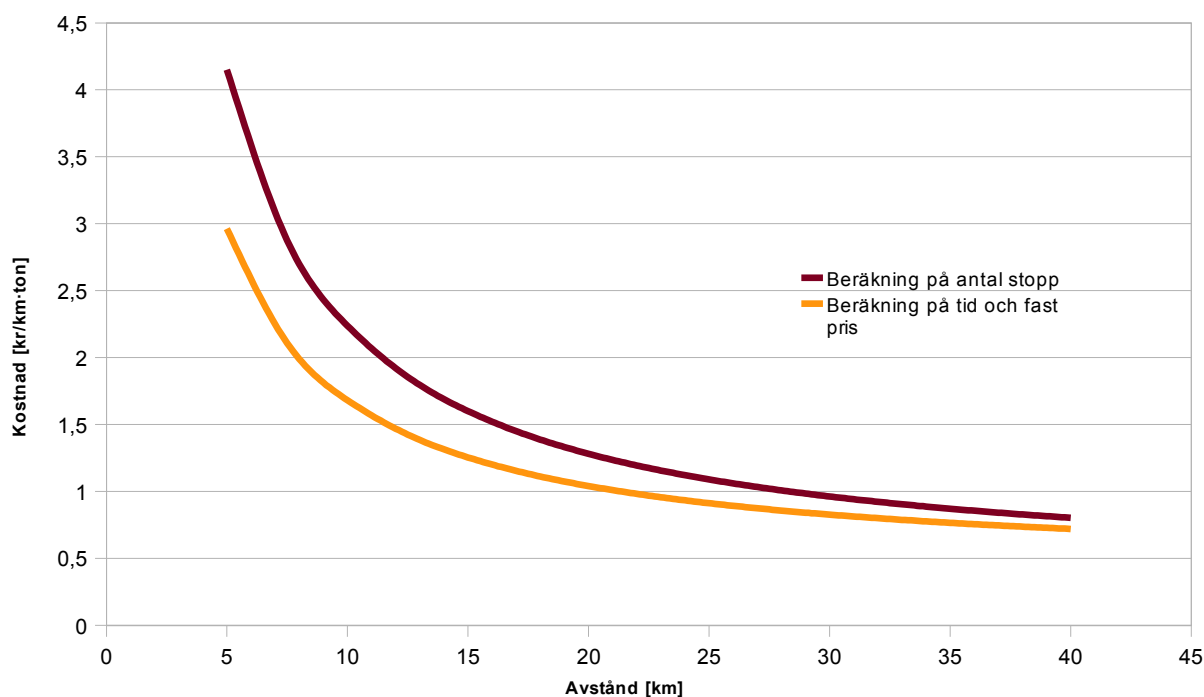


Bild 2: Kostnad för transporter i kr/(km·ton) som funktion av transportavståndet. Priset är beräknat för lastbil med kapacitet på 40 ton och retur med tom bil.

Transportavstånden för reningsverksslam och fågelgödsel är kända, men för de andra substraten har ett medelavstånd på 20 km antagits. Då avstånden är relativt lika har samma schablonvärde för milkostnaden, 1,30 kr/ km·ton, använts för samtliga substrat. Transportkostnaderna beräknades för de två fallen minimal- och maximalblandning (Tabell 7).

Substrat	Transportavstånd [km]	Transportkostnad [kr/ton]	Kostnad Minimalfall [kr/år]	Kostnad Maximalfall [kr/år]	Kostnad [kr/kWh]
Nötgödsel	20	60	250 000	1 250 000	0,30
Svingödsel	20	60	62 000	312 000	0,35
Kycklingödsel	25	75	65 000	65 000	0,05
Hönsödsel	25	75	715 000	715 000	0,12
Sockerbeter inkl blast	20	60	109 000	364 000	0,07
Vallensilage	20	60	90 000	296 000	0,05
Majsensilage	20	60	108 000	361 000	0,04
Musslor	20	60	0	260 000	0,11
Slamströmmar SCMS	0	60	0	0	0,00
Totalsumma			1 399 000	3 623 000	

Tabell 7: Transportkostnader för fallen med minimal- och maximalblandning för en kostnad på 1,30 kr/(km*ton)

För minimal- och maximalblandningen motsvarar kostnaden för transportererna ett medelvärde på 6 respektive 8 öre/kWh. Det är värt att notera att kostnaden per kWh är högre för nöt- och svingödsel än för de andra substraten.

9 Uppgradering

9.1 Gaskvalitet

För att kunna använda biogasen för fordonsdrift krävs det att gasen uppgraderas till en kvalitet motsvarande svenska standarden för fordonsgas SS 15 54 38, typ A, se tabell 8 nedan.

<i>Parameter</i>	<i>Standard A</i>	<i>Standard B</i>
Metaninnehåll, vol-%	96-98	95-99
Vatteninnehåll, mg/Nm ₃	< 32	< 32
Daggpunkt, °C	5 °C under tryckvattendaggpunkten vid högsta lagringstryck under lägsta månadsvisa dygnsmedeltemperatur för aktuell ort	5 °C under tryckvattendaggpunkten vid högsta lagringstryck under lägsta månadsvisa dygnsmedeltemperatur för aktuell ort
CO ₂ +O ₂ +N ₂ , vol-%	< 4	< 5
O ₂ , vol-%	< 1	< 1
Svavel, mg/Nm ₃	< 23 *)	< 23 *)

*Tabell 8: Svensk Standard, SS 15 54 38. Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer. *) Inklusiv svavel i tillsatt odöriseringsmedel*

Uppgraderingen innebär i stort sett att koldioxiden måste avskiljas för att höja energidensiteten samt att vattenånga och svavelväte måste avlägsnas.

9.2 Uppgraderingstekniker

De metoder som kan användas för uppgradering av biogas är:

- Vattenskrubber
- PSA
- Kemisk absorption
- Kryoprocesser

9.2.1 Vattenskrubber

Absorption med vatten är den metod som hittills är vanligast i Sverige. Cirka 25 anläggningar med vattenabsorption finns i drift för närvarande. En principskiss visas i Bild 3.

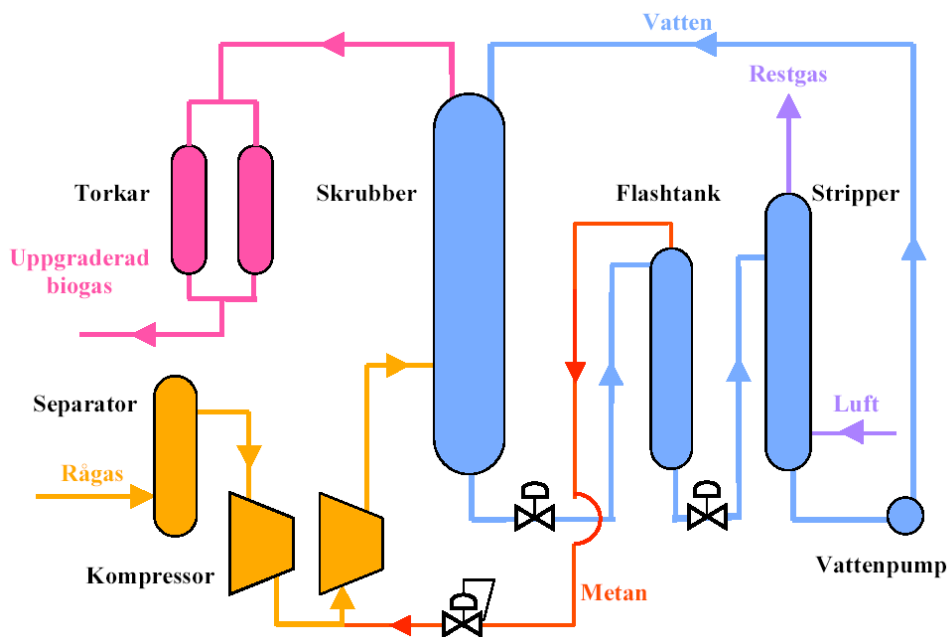


Bild 3: Schematisk skiss av vattenskrubber

Generellt bygger tekniken med absorption i vatten på att koldioxid absorberas mycket bättre i vatten än metan. Biogasen trycksätts före absorptionen och tillförs botten på ett absorptionstorn som är fyllt med fyllkroppar för att ge maximal massöverföring. Vatten pumpas in i toppen på absorptionskolonnen och möter biogasen i motström. Det vatten som används i processen bör vara rent vatten och ett visst kontinuerligt vattenutbyte krävs för att processen skall fungera optimalt.

Utgående gas är renad från i stort sett all koldioxid. Eftersom en mindre mängd metan också absorberas i vattnet, leds vattnet efter absorptionskolonnen normalt till en s.k. flash-tank där trycket sänks och en del gas avgår. Metan avgår lättare än koldioxid från vattnet, varför gasen från flash-tankens innehåller relativt hög halt metan och recirkuleras till absorptionen för återvinning av metan.

Även svavelväte absorberas i vatten och därmed erhålles en viss rening från svavel samtidigt med reningen från koldioxid. Svavelväte desorberas till största delen vid regenerering av vattnet men en mindre mängd finns kvar i ett cirkulerande vattensystem. Vid höga halter svavelväte i biogasen, finns viss risk för oxidation till elementärt svavel som på sikt kan leda till igensättning av kolonner och annan utrustning.

Speciella egenskaper för vattenskrubber

Vattenabsorption är en väl fungerande metod för koldioxidavskiljning och avskiljningen kan styras både med tryck och förhållande mellan gas- och vattenflöde. Koldioxidhalten i den producerade gasen kan hållas under 0,5 vol-%. Svavelväte upp till cirka 1500 ppm kan avskiljas samtidigt med koldioxid, men måste då omhändertas ur desorptionsluften.

Metoden använder inga kemikalier för koldioxidavskiljning och har därför liten miljöpåverkan avseende utsläpp av vätska. Luktämnen från den råa biogasen kan dock finnas i överskottsvatten som släpps ut, samt i desorptionsluften. En nackdel med vattenabsorption är, att även metan absorberas till viss del i absorptionstornet. Största delen av den metan som absorberas kan återvinnas genom avgasning i en flash-tank, men en viss metanförlust uppstår. Vattnet regenereras med

stora mängder luft, vilket innebär att restmetan blir svårt att omhänderta. Den kan dock förbrännas i specialutrustning som utformats för låga halter brännbar gas.

Exempel på referensanläggning

Nedanstående bild visar en uppgraderingsanläggning med vattenskrubbteknik som renar biogas från reningsverket i Östersund. Anläggningens kapacitet är 200 m³ rågas/h.



Bild 4: Uppgraderingsanläggning med vattenskrubbteknik vid Gövikens reningsverk i Östersund (Bild: BioMil AB)

9.2.2 PSA (Pressure Swing Adsorption)

Den uppgraderingsmetod som i Sverige ligger på andra plats vad avser antalet installationer är PSA-teknik med cirka en tredjedel så många installationer som tryckvattenabsorption. Tekniken bygger på att koldioxid och metan adsorberas olika starkt på zeoliter eller aktivt kol. Processen sker i ett antal kärl (anläggningar med fyra respektive sex stycken finns i drift) som är fyllda med adsorptionsmedel se schematisk bild i Bild 5. Med hjälp av ett ventilsystem växlas funktionen för de olika kärnen under ett visst tidsförlopp så att ett semikontinuerligt system erhålles. Adsorptionsmedlen adsorberar vatten och svavelföreningar irreversibelt, varför svavelrening och torkning av biogasen måste ske före PSA-anläggningen. En PSA-anläggning producerar därför alltid en gas med lågt svavelinnehåll och låg fukthalt.

En viss del metan adsorberas tillsammans med koldioxid. Vidare är utrymmet mellan partiklarna i adsorptionskärlen fyllt med gas av den kvalitet som skall uppgraderas. Vid regenerering av adsorptionsmedlet sänks trycket i flera steg och metan återvinns delvis i processen. Slutregenerering sker med vacuum pump och restgasen från detta steg innehåller en mindre mängd metan som innebär en metanförlust.

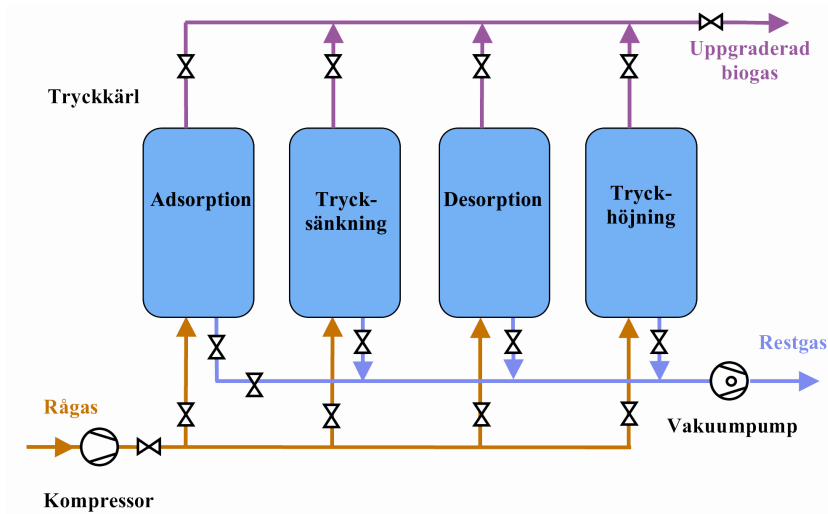


Bild 5: PSA (källa: RVF, 2005)

Speciella egenskaper för PSA

Metoden kräver inte tillgång till vatten och inga utsläpp av vätska, förutom eventuellt kondensvatten från rågasen, uppstår från processen.

Restgas från regenereringen innehåller endast koldioxid och en mindre mängd metan. För att undvika metanutsläpp till atmosfären är det möjligt att leda restgasen till en panna eller annan utrustning för förbränning.

Både svavelväte och vatten måste avskiljas före adsorptionsprocessen eftersom dessa ämnen adsorberas irreversibelt av adsorbenten. Detta ger hög säkerhet för att produktgasen skall vara fri från svavelväte och ha lågt vatteninnehåll.



Bild 6: Uppgraderingsanläggning med PSA-teknik (den vita byggnaden i förgrunden) på biogasanläggningen utanför Bjuv. (Bild: Mattias Hennius, E.ON Gas AB)

Exempel på referensanläggning

Nedanstående bild visar en uppgraderingsanläggning med PSA-teknik som renar biogas från biogasanläggningen på Wrams Gunnarstorps Gods utanför Bjuv. Anläggningens kapacitet är 450 Nm³ rågas per timme.

9.2.3 Kemisk absorption

Vid kemisk absorption, eller kemisorption, används en kemikalielösning som absorptionsmedel. Kemikalien reagerar med den komponent som skall avskiljas, i detta fall koldioxid. Processen är uppbyggd på ett likartat sätt som metoden med vattenskrubber och har en absorptionskolonn och ett regenereringssystem. Den stora skillnaden är att koldioxid reagerar kemiskt med absorptionsmedlet. Ett flertal kemikalier för avskiljning av koldioxid finns kommersiellt tillgängliga. Vanligast förekommande är olika typer av etylaminer. I Sverige finns hittills endast två anläggningar som använder en kemisorptionsprocess med etylamin. Aminen reagerar i praktiken inte alls med metan, vilket innebär att endast koldioxid och, i förekommande fall, svavelväte avskiljs.

Regenerering av absorptionsvätskan från koldioxid sker med hjälp av ånga eller hetvatten och har hög energiförbrukning. Metoden kan även användas för avskiljning av svavelväte, men regenerering från svavelväte kräver ännu större energimängd. Detta innebär att det är lämpligt att avskilja svavelväte separat före koldioxidreningen. Eftersom avskiljningen av koldioxid sker med en kemisk reaktion, krävs ingen trycksättning av biogasen, utan reningen kan ske vid atmosfärstryck.

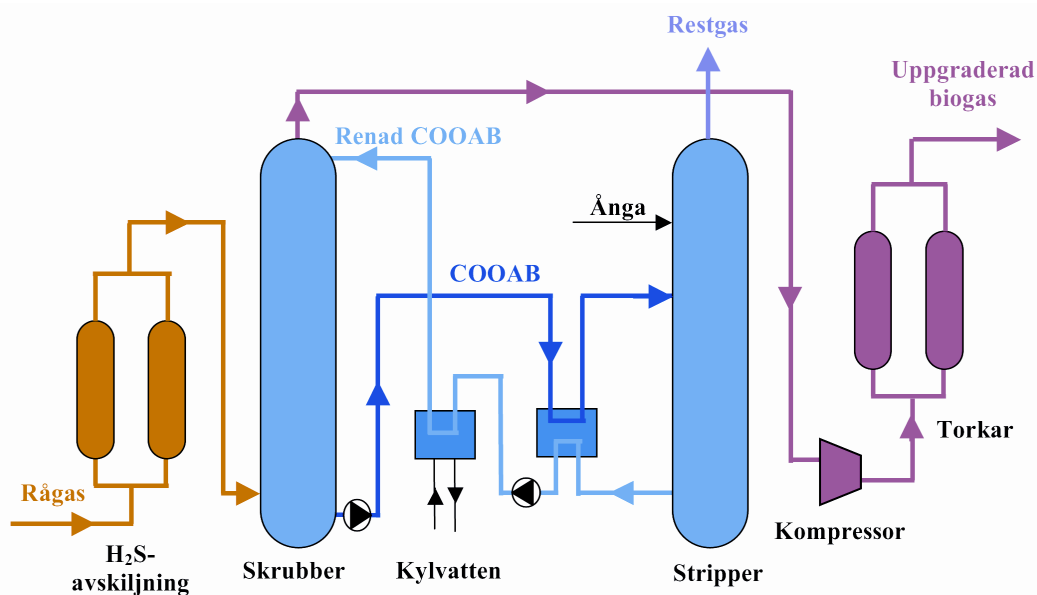


Bild 7: Kemisk absorption (COOAB-processen) av koldioxid (källa: RVF Utveckling)

Speciella egenskaper för kemisk absorption

Eftersom metoden bygger på kemisk reaktion mellan absorbenten och koldioxid, absorberas mycket små mängder metan. Detta innebär att förlusterna av metan blir obefintliga. Vid regenereringen erhålls koldioxid med hög renhet, typiskt >99,5 vol-%. Processen kräver inget förhöjt tryck, vilket innebär att inget onödigt kompressionsarbete krävs. Komprimering av gasen kan ske efter uppgradering.

Tillgång till vatten krävs ej och inga vätskeformiga utsläpp finns förutom eventuellt kondensvattnen från rågas.

Svavelväte absorberas av etylaminen, vilket innebär att säkerheten är god för att produktgasen skall ha ett lågt svavelinnehåll.

Nackdelarna med kemisorption är dels att en kemikalie hanteras och att ett visst utsläpp av kemikalien sker, dels att energiåtgången för regenerering är stor. Det krävs att avsättning finns för spillvärmerna från regenereringen för att metoden skall vara energimässigt intressant, eller att billig värme vid tillräckligt hög temperatur finns att tillgå. Temperaturen på det värmande mediet bör vara över 120 °C.

Exempel på referensanläggning

Nedanstående bild visar en uppgraderingsanläggning som renar biogas från reningsverket i Göteborg. Anläggningens kapacitet är ca 1 600 Nm³ rågas/h.



Bild 8: Uppgraderingsanläggning med kemisk absorption (COOAB) i Arendal, Göteborg (Bild från <http://www.goteborgenergi.se>)

9.2.4 Kryoprocesser

I en kryoprocess utnyttjas förhållandet att koldioxid kondenseras till vätska vid betydligt lägre tryck och högre temperatur än vad som är fallet för metan. Biogasen kyls ned och trycksätts, varvid koldioxid kan avskiljas i flytande eller fast form. Kryoprocesser kräver inte något absorptions- eller adsorptionsmedel.

Vatten måste avskiljas före kryoprocessen för att undvika frysning. Svavelväte bör också avskiljas separat. Ett exempel på hur tekniken kan utformas ses i Bild 9. I den första modulen kyls inkommande gas så att vatten kondenseras. Med vattnet följer även en del andra föroreningar. I den andra modulen torkas gasen ytterligare och svavelväte och siloxaner fås att avgå med condensatet som leds till en behandlingsanläggning exempelvis till inkommande vatten till ett reningsverk. I det tredje steget kyls gasen så att koldioxiden fås att kondensera. Ut från detta steg erhålls således flytande koldioxid och metangas. Härefter finns möjlighet till ytterligare kylning för att erhålla flytande metan (LBG).

Om intresse finns för att erhålla flytande koldioxid som en biprodukt till uppgraderad gas, är detta fullt möjligt. För att minska det externa energibehovet för kylning kan dock flytande koldioxid

förångas i processen. Om inget behov finns av flytande koldioxid är detta förfarande att föredra eftersom det minskar förbrukningen av elektricitet i anläggningen.

Elbehovet för uppgradering kan uppskattas till cirka 0,25 kWh/Nm³ tillförd rågas om koldioxid återförångas och till cirka 0,35 kWh/Nm³ om koldioxiden tas ut flytande.

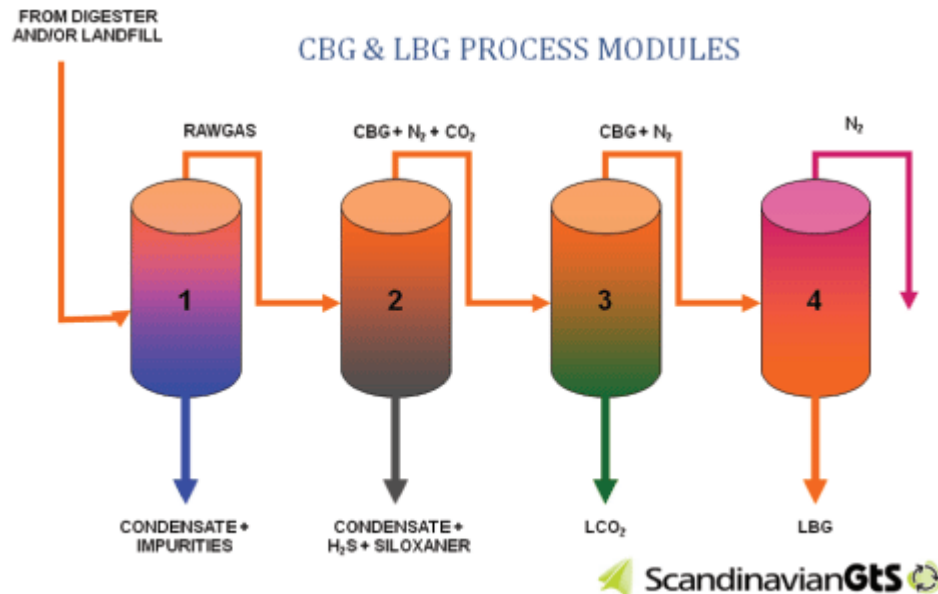


Bild 9: Princip för kryoteknik för uppgradering av biogas (källa: Scandinavian GtS)

Speciella egenskaper för kryoprocesser

Koldioxid och metan kan erhållas i flytande form. Eftersom gasen minst kylts ned till under daggpunkten för koldioxid, är säkerheten hög för att produktgasen skall ha lågt vatteninnehåll.

Exempel på referensanläggning

Kryoteknik är det vanligaste sättet att renframställa enskilda gaser ur luft, men är relativt obeprövat för uppgradering av biogas. Det finns inga anläggningar i Sverige där denna process används för rening av biogas. Varberg kommun har handlat upp en anläggning. Tekniken är ännu inte helt färdigutvecklad och beprövad, vilket gör att en anläggning som använder denna teknik sannolikt behöver modifieras och optimeras på olika sätt innan den kan förväntas fungera optimalt.

9.3 Kondensering

För att göra den uppgraderade biogasen tillgänglig för tunga fordon, som t ex Södras timmerbilar, är det fördelaktigt att förvätska gasen. Flytande biogas (LBG) har en större densitet än komprimerad biogas (faktor 2 till 2,5), vilket gör att mer bränsle kan tas med i bilens tankar. Samtidigt blir tankarna lättare, då komprimerad gas kräver tjockare tankväggar, så att mycket större volymer kan tas med i tankar och på tankbilar.

Flytande biogas öppnar även för enklare distribution till tankstationer som inte är anslutna via gasledning. Transport av LNG till tankstationen är effektivare än vid komprimerad gas, så att det blir möjligt att dra ner kostnaden och/eller utvidga avsättningsområdet.

En tankstation som försörjs med LBG kan förse fordon med både flytande och gasformigt bränsle (det senare via förångning av gasen) och kallas då för LCBG-station. LBG-tankar är även mycket lämpade som backup hos tankstationer knutna till lokal biogasproduktion.

Nackdelen med förvätskningen av gasen är att den kräver mer energi än komprimeringen till fordonsgas. Detta måste kunna räknas hem via ovan nämnda fördelar för att flytande biogas ska vara intressant. Som följande tabell visar blir dock tankstationerna billigare och energisnålare med LNG, vilket kan minska merkostnaden på produktionsplatsen.

	CBG-tankstation	LCBG-tankstation
Investeringskostnad	3-4 MSEK	3,7 MSEK
Energiförbrukning	0,35 kWh/Nm ³	0,1 kWh/Nm ³
Underhåll	0,15 SEK/Nm ³	0,05 SEK/Nm ³

Tabell 9: Jämförelse mellan CBG- och LCBG-tankstationer

För att producera LBG finns det följande alternativ:

- Förvätskning efter konventionell uppgradering
- Uppgradering i kryogena processer med integrerad förvätskning

För att det ska vara möjligt att kondensera den uppgraderade gasen till flytande biometan måste halterna av H₂O, H₂S och CO₂ vara mycket låga, annars uppstår isbildning på värmeväxlare i kondenseringsenheten. Se krav på högsta tillåtna halter i följande tabell.

Ämne	Enhet	Krav
CO ₂	ppm _v	< 35
H ₂ O	ppm _v	< 0,2
H ₂ S	ppm _v	< 4

Tabell 10: Krav för förvätskning av uppgraderad gas

Kraven innebär att gas från PSA eller vattenabsorption behöver vidare behandling i t ex molsikt för att kunna användas för produktionen av flytande bränsle. Däremot är det möjligt att uppfylla kraven i kemiska absorptionsprocesser.

9.3.1 Leverantörer

Marknaden för flytande biogas är under stark utveckling. På senare tid har ett antal företag presenterat lösningar som är anpassade till biogassektorn.

Hamworthy, NexGen, Cryostar SAS

Dessa företag kommer från den etablerade LNG marknaden och har lång erfarenhet från förvätskning av naturgas bl a på LNG-fartyg. Företagen har under de senaste åren börjat arbetet med att ta fram små enheter som är anpassade till biogassektorn, men som baseras på konventionell teknik.

Scandinavian GtS

Holländska Gastreatment Services har för den nordisk marknaden tillsammans med Scandinavian Biogas Fuels bildat bolaget Scandinavian GtS. Företaget har hittills byggt en pilotanläggning med uppgradering av rågasflödet 30 Nm³/h. Ett ytterligare steg för kondensering till flytande biometan anslöts till pilotanläggningen under 2008/2009 och är i testfasen.

Det pågår för närvarande upphandlingen resp. uppförande av SGtS:s första anläggningar i Sverige som kommer att placeras i Sundsvall och Varberg.

Anläggningen består av flera kylsteg med ett flertal värmeväxlare. Den utkondenserade koldioxiden kan antingen användas i processen för att sänka energiförbrukningen eller tas ut som ren koldioxid för vidare extern användning.

Enligt Scandinavian GtS är metanförlusten < 0,5 %. Uppgraderingsprocessen producerar i princip lika mycket värme som kyla. Kylning till kylmaskiner sker med ett vattenflöde. Kylsystemet kan antingen baseras på genomströmmande spolvatten eller med ett recirkulerande vattensystem. Uppvärmning av vattnet är från 20 °C till 45 °C.

Terracastus

Terracastus är ett joint venture mellan Ohio-baserade Acrion Technologies och Volvo Technologies och marknadsför en teknik som kombinerar en tvätt med flytande koldioxid ("CO₂ wash") för borttagning av föroreningar med ett membransteg för avlägsning av koldioxid. Därefter följer en konventionell metankondensering. Processen syftar mest till att göra deponigas tillgänglig för gasuppgraderingen.

Acrion har testat sin teknik i en pilotanläggning i Ohio där man i flera månader producerat flytande deponigas för lastbilsdrift. Förvätskningen gjordes då med hjälp av flytande kväve. Dessutom har man via licenstagaren FirmGreen™ Energy, Inc. uppfört en fullskaleanläggning för uppgradering och produktion av komprimerad biogas i drift i Ohio.

En specialitet med Terracastus är att de är beredda att agera som finansiär resp. delägare i en anläggning på över 500 Nm³/h för att underlätta introduktionen av sin teknik i Sverige.

Prometheus Energy

Prometheus Energy har teknik för att uppgradera deponigas med flytande biometan som produkt. Tekniken är utvecklad för deponigas, men den är även tillämpbar till biogas. Uppgraderingstekniken bygger i grunden på ett patent från Cryo Fuel Systems, numera Prometheus Energy.

Gas komprimeras och renas från föroreningar. Koldioxid fryses ut till torris och en gas innehållande kväve och metan leds därefter till kondenseringssteget. All gas kondenseras och kväve avlägsnas genom destillation och flashing.

I utredningen "Renewable energy in the U.S, Biogas", publicerad januari 2008, påstås att Prometheus teknik har visat sig ha stora tekniska problem¹. Påståendet bekräftas av att Prometheus redan januari 2007 gick ut med att anläggningen producerade 100 Nm³ LBG per timma. Ännu är inte anläggningen i kontinuerlig drift vid maxkapacitet.

Sammanfattningsvis kan konstateras att marknaden erbjuder en rad lösningar för småskalig produktion av flytande biogas. Tekniken bedöms ha mognad till marknadsnivå och öppna nya användningsmöjligheter för biogasen. Däremot finns det ingen teknik som är beprövad i större omfattning och som kan visa upp referensanläggningar i Sverige eller Europa. Därför bör det räknas med en större osäkerhet när det gäller investeringsnivån och drifttillgängligheten, samt en möjligen längre idriftkörningsfas ifall problem med den nya tekniken behöver lösas.

9.4 Investering

I det följande betraktas två olika storlekar för gasuppgraderingen:

1 Källa: Brad Rutledge, Senior Project Manager Weststart-CALSTAR

1. 400 Nm³/h, motsvarande minimalblandningen
2. 760 Nm³/h, motsvarande den certifierbara maximalblandningen

Bild 10 visar prisuppgifter för konventionella uppgraderingsanläggningar av olika storlek från slutet av 2008:

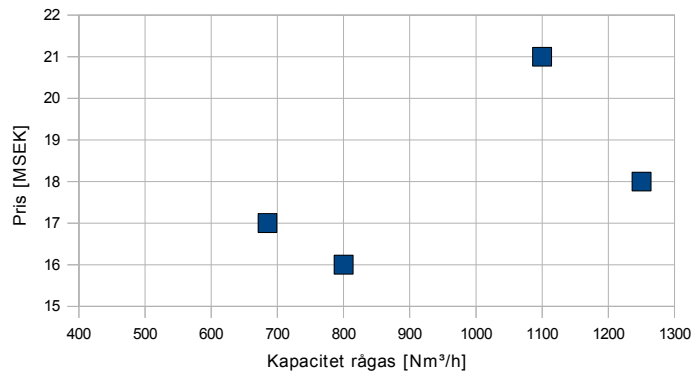


Bild 10: Prisuppgifter för uppgraderingsanläggningar

Prisuppgifterna gäller för modulbyggda anläggningar (dvs i container). Platsbyggda anläggningar med byggnader blir ca 3-4 MSEK dyrare.

Mot denna bakgrund bedöms kostnaden för de aktuella storlekarna enligt följande:

- 400 Nm³/h: ca 15 MSEK
- 760 Nm³/h: ca 17 MSEK

Leveranstiden brukar ligga vid 12 månader från beställning till övertagande.

Utrustning för förvätskning av 400 Nm³/h metan (motsvarande ca 650 Nm³/h rågas) inkl tankningsutrustning ligger vid drygt 6 MSEK (NexGen).

CryoStar och Prometheus erbjuder en komplett lösning för hela kedjan från rågas till tankning, dvs uppgradering, kondensering, lager och LCBG-tankstation. Priset för 1000 Nm³/h rågas ligger vid 45 MSEK [11].

9.5 Placering

Arealbehovet för uppgraderingen kan indelas i själva uppgraderingsanläggningen och uppställningsplatsen för mobila gaslager med tillhörande köryta.

Arealbehovet för uppgraderingsanläggningen skiljer sig inte väsentligt mellan leverantörerna och ligger vid ca 10x10 m för konventionella anläggningar. Det spelar heller inte någon avgörande roll om anläggningen byggs som prefabricerade containermoduler eller om den platsbyggs. Det föreligger inte några uppgifter om platsbehovet för kyrogen teknik, men den bedöms inte kräva betydligt mer plats än etablerade system.

Ungefär samma yta uppskattas behövas för kondenseringsanläggningen ifall flytande biogas ska produceras.

Det tillkommer platsbehovet för mobila gaslager. Enligt kapitel 10.3 och med en lagringskapacitet för CBG på 3 dygn kommer det att behövas uppställningsplatser för ca 8 (minimalblandning) respektive 16 (maximalblandning) mobila gaslager för CBG. För flakbyten är det lämpligt att ha en ledig plats för gasflak.

Ytermåtten på gasflaken är ca 6,2 x 2,55 m. Därtill krävs ett avstånd mellan lagren på ca 0,6 m (600 mm fritt mellan lager). Platsbehovet för gaslagren blir därmed ca 7x60 m (minimalblandning) resp. 7x115 m exkl. köryta.

Arealbehovet för mobila gaslager blir betydligt mindre om flytande biogas produceras (se även kapitel 10.4). I detta fall är det troligt att ett fast LBG-lager installeras intill kondenseringsanläggningen. En yta på ca 10x10 m bedöms vara tillräcklig för ett LBG-lager inkl kringutrustning.

Totalt kräver därmed LBG-systemet med uppgradering, kondensering och lager en yta på inte mer än ca 10x30 m. Systemet placeras med fördel intill rötningsanläggningen där arealtillgången är bäst. Kondenseringsanläggningen och LBG-tanken kan eventuellt placeras intill tankningsanläggningen för timmerbilarna för att minimera längden på kryogena ledningar.

Beroende på placering av komponenterna tillkommer det areal för att tillgodose säkerhetsavståndet enligt EGN (EnergiGasNormen).

9.6 Återvinning av CO₂

CO₂ kan återvinnas från en uppgraderingsprocess med kemisk absorption. Här behövs då ett efterliggande kondenseringssteg för CO₂ som kommer ut i gasfas från uppgraderingsanläggningen. Från en uppgraderingsanläggning med kryoteknik kommer CO₂ direkt i flytande form.

Tabell 11 är en uppskattning av potentialen till CO₂-produktionen.

Blandning	CO ₂ [ton/år]
Minimalblandning	3000
Maximalblandning	5600

Tabell 11: Uppskattning av mängd producerad CO₂

Elanvändningen för att kondensera CO₂ är cirka 0,45 kWh/kg¹.

CO₂ kan även avsättas som köldmedel för kyltransporter. I så fall tillkommer energianvändning för att lagra och distribuera CO₂. I ett kylaggregat ersätter 1 kg flytande CO₂ cirka 3,7 kWh diesel vilket ger en god energibalans för systemet.

1 Källa: Lars-Evert Karlsson, Läckeby Water AB.

10 Förbrukare och avsättning för gasen

Fordonsgasmarknaden är idag inte utvecklad i regionen. Erfarenheter från andra platser i Sverige har visat att det kan dröja flera år och kräver en aktiv marknadsföring för att försäljning av fordonsgas tar fart. En grundläggande förutsättning för detta är dock att marknaden erbjuder tankningsmöjligheter för fordonsgas. Eftersom det inte är rimligt att låta gasproduktionen följa efterfrågan, utan att man bygger rötningsanläggningen för en förväntad framtida efterfråga, kommer därför gastillgången att överstiga efterfrågan på fordonsmarknaden i ett inledningskede.

Följande alternativ finns för avsättning för biogasen:

- Förbränning i mesaugnen
- Förbränning i gasmotor
- Biogasmack i Mönsterås
- LBG (Liquid BioGas) för användning i timmerbilar och extern försäljning

10.1 Förbränning i mesaugnen

I ett inledningskede då inte annan avsättning föreligger skulle gasen kunna förbrännas i mesaugnen som ersättning för barkpulver, olja och tallolja. Gasen behöver inte uppgraderas i detta fall, så att hela energiinnehållet kan tas tillvara i ugnen. Eftersom svavelväte och andra illaluktande gaser oxideras bör inte luktproblem uppkomma.

Vissa justeringar och/eller kompletteringar i brännaren kommer att behövas för att kunna använda biogas i ugnen. För anslutning av mesaugnen till gasproduktionen kommer ca 700 m gasledning behöva byggas.

10.2 Förbränning i gasmotor

Genom att använda biogasen som bränsle till en gasmotor kan både elektricitet och värme produceras. Med dagens prisstruktur och systemet för elcertifikat brukar detta alternativ vara mer intressant än ren produktion av värme. Jämfört med produktion av fordonsgas har kraftvärmeproduktionen även fördelen att ha 100 % avsättning av produkterna från början.

Däremot är investeringen i en gasmotor betydligt större än anpassningen av mesaugnen. En möjlig uppsättning för gasmotorer för respektive blandning visas i följande tabell:

Blandning	Gaseffekt [kW]	Utrustning (förslag)	Eleffekt [kW]	Värmeeffekt [kW]	Investering [MSEK]
Minimal	2600	1 · Jenbacher 420	1092	1092	7,5
Maximal	4900	2 · Jenbacher 420	2058	2058	15
Maximal ej cert.	5300	2 · Jenbacher 420	2226	2226	15

Tabell 12: Möjlig utrustning för gasmotorinstallation. Observera att Jenbacher är bara ett förslag, det finns även andra, delvis billigare leverantörer av högvärdiga gasmotorer.

Jenbacher 420-motorn har med 42 % en bra elverkningsgrad, och även den termiska verkningsgraden är 42 %. Istället för 2 motorer av 420-serien skulle en Jenbacher 620 kunna användas, med 1-2 MSEK lägre investering. Den har dock bara 40 % elverkningsgrad, så att totalekonomin brukar vara sämre. Priserna ovan gäller en komplett gasmotorinstallation i container.

Intäkterna vid användning av gasmotorer delar upp sig i elen och värmen. Då anläggningen producerar mer än 100 kW_{el} måste elproduktionen beskattas, vilket innebär att man kan räkna med en intäkt som ligger i nivå med kraftpriset för el, ca 40 öre/kWh. Det tillkommer intäkter för elcertifikat som i genomsnitt låg vid 29 öre/kWh det senaste året, samt ev ersättning för nätnyttan. Totalt skulle ersättningen för elproduktionen ligga vid ca 29 öre/kWh gas, eller 2,8 SEK/Nm³ metan.

Intäkten från värmeproduktionen beror på det lokala värdet för värmen. Vid ett värmepris på 50 öre/kWh stiger totalintäkten från kraftvärmeproduktionen till 50 öre/kWh gas, eller 4,9 SEK/Nm³ metan.

10.3 CBG-tankstation i Mönsterås

Som Bild 11 nedan visar är det ont om mackar för fordonsgas i östra Småland. Närmaste tankställe är Kalmar. I Växjö finns det också biogas, dock inte till publik försäljning.

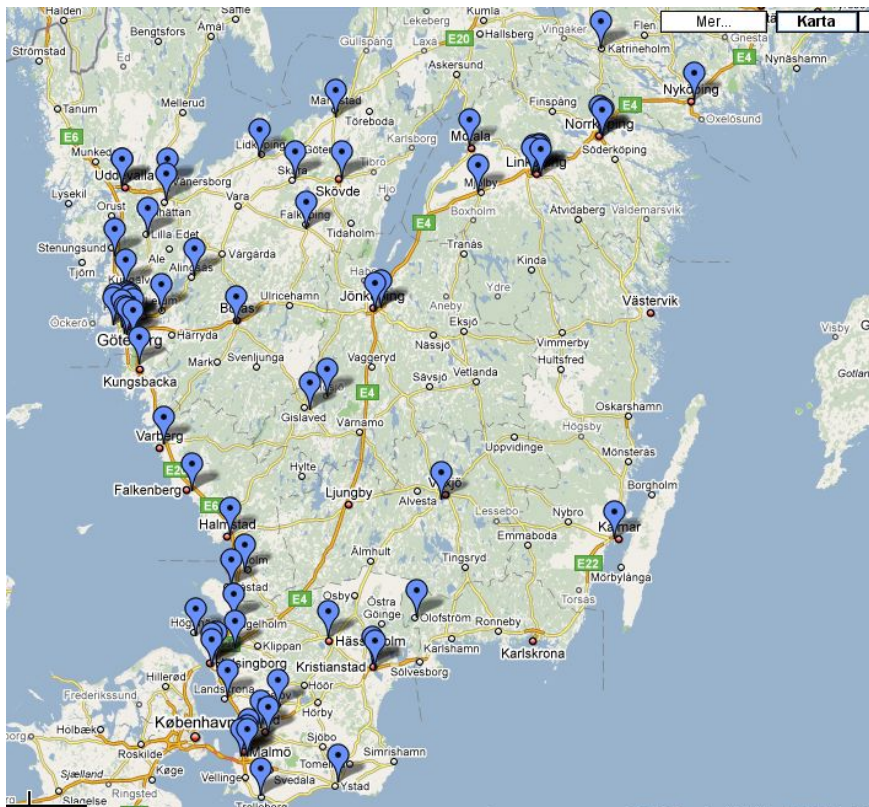


Bild 11: Karta över tankställen för fordonsgas i södra Sverige. Källa: <http://mephisto.nu/cng>

Producerad mängd gas för fallet med minimal inblandning (23 GWh) skulle motsvara 2,6 miljoner liter bensin. Bränsleförbrukningen i Mönsterås kommun är ca 130 GWh/år¹. För att få avsättning för gasen skulle 18 % av transporterna behöva gå på fordonsgas.

Försäljningspriset på 100 % biogas för fordon är i dagsläget 9,77 kr/bensinliter vilket motsvarar ca 10,85 kr/Nm³.

För transporten av gasen till Mönsterås finns det två alternativ – via en ny gasledning längs med fjärrvärm nätet samt via lastbilstransport på flak. En gasledning in till Mönsterås skulle kosta ca 5 MSEK i investering. I detta fall skulle en mindre kompressor på SMCS transportera gasen ge-

1 Baserat på uppgifter från Regionförbundet i Kalmar län på bränsleförbrukning i länet och befolkningsmängd i dess kommuner

nom ledningen som dimensioneras för 4 bar(ö), och en fullgod kompressorstation i Mönsterås trycksätter gasen till tankningstrycket på 200 bar.

Vid alternativet med flaktransport byggs en kompressorstation hos SCMS. Vid kompressorstationen ska det då finnas uppställningsyta för gasflak för att ta emot den komprimerade gasen. Beroende på storlek rymmer ett gasflak 2000-3000 Nm³ gas. Tabell 12 förtydligar hur alternativet med gasflak skulle påverka transportsituationen.

Blandning	Metanmängd [Nm ³ /dygn]	Antal flak per vecka
Minimal	6200	15-20
Maximal	11800	30-40
Maximal ej cert.	12600	30-45

Tabell 13: Transport av CBG

På tankstationen kopplas flaken in i ett lokalt system med boosterkompressor som svarar för sluttrycket i bilarnas tankar.

10.4 LBG

För större lastfordon är komprimerad biogas inte lämplig eftersom gastanken blir så skrymmande. LBG är då ett bättre alternativ, och det har även andra fördelar. Jämfört med komprimerad biogas är den lättare att lagra, och den kan lättare distribueras till mottagare utan gasnät.

SCMS:s egen fordonsflotta förbrukar 1100 m³ diesel/år, vilket motsvarar ca 11 GWh. För fallet med minimalblandningen skulle därmed ca hälften av biogasen behövas för att tillgodose Södra Cells eget bränslebehov. LBG- tankar för lastbilar finns i storlek upp till 511 l, vilket motsvarar ca 300 Nm³ biogas eller 330 l diesel. Kostnaden för att konvertera en lastbil till LBG dualfuel är ca 210 000-230 000 kr [11].

Flytande biometan transporteras i trailers. En standardiserad trailer är utformad som en stationär tank med dubbla tankar. Lagringsutrymme är normalt 56 m³ och LBG kan lagras vid högst 10 bar. Då 90 % av volymen kan användas för flytande metan så motsvarar det en lastkapacitet på 21,3 ton flytande biometan. Bild 12 visar en LBG-trailer.



Bild 12: Trailer för transport av LBG (Källa: www.cryo.se)

Nedanstående tabell visar antalet LBG-transporter. Det är tydligt att antalet transporter är betydligt mindre än för komprimerad gas.

Blandning	Metanmängd [ton/dygn]	Metan till Mönsterås [ton/dygn]	Antal LBG-transporter per vecka
Minimal	4,45	2,3	< 1
Maximal	8,45	6,3	ca 2
Maximal ej cert.	9,00	6,85	2 – 3

Tabell 14: Transport av LBG

Vid en LCBG station omvandlas flytande biometan till komprimerad gas. En tryckstegringspump pumpar in flytande biometan till en förångare där den flytande fasen övergår i gasfas. Ett luktmedel tillsätts till den komprimerade gasen via en doseringspump. Gasen förångas in till ett högtryckslager dimensionerat för upp till 300 bar. Gasen kan därefter fyllas till fordon med antingen snabbtanking eller långsamtanking.

Det finns även teknik för att tanka flytande biometan direkt till ett fordon. Bild 13 visar en tankstation som ger möjlighet att både tanka komprimerad gas och flytande biometan. På fordonet finns en förångare installerad som förångar flytande biometan till gas innan gasen leds in till motorn. Systemet innebär att en LCBG-station inte behöver någon kompressor, vilket minimerar både kapital- och driftkostnaden.

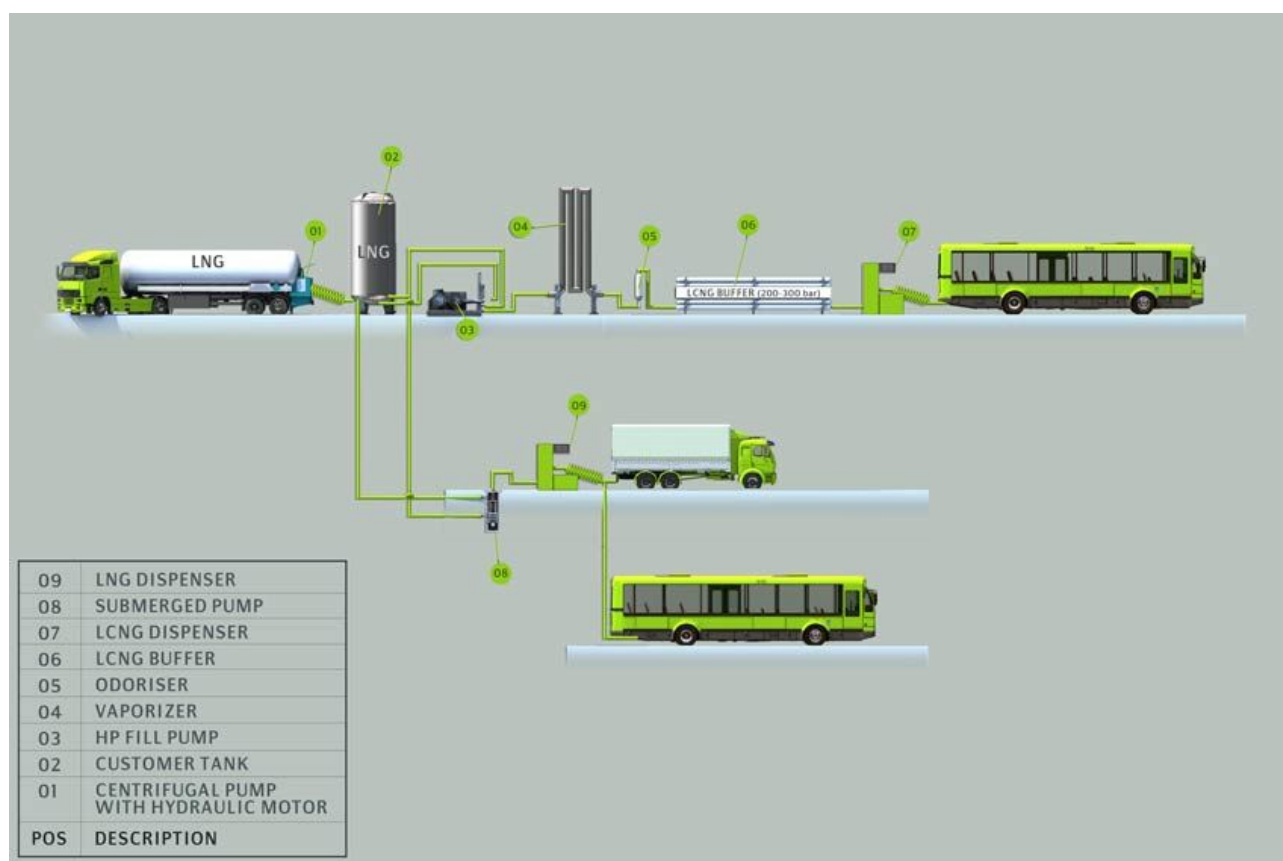


Bild 13: Tankstation där både flytande biometan och komprimerad gas kan tankas (Källa: www.vanzettiengineering.com)

Enligt [11] och uppgifter från Cryo AB och Cryostar SAS kostar en tankstation för LCBG ca 4 MSEK. Tillverkaren NexGen Fuelling säljer mindre varianter för 70-80 bilar som kostar ca 1 MSEK. Priset på LBG är oklart, eftersom det ännu inte finns någon marknad för det. Liquid Natural Gas (LNG) har också rönt stort intresse på senare tid, men inte heller där finns ett säker-

ställt pris. Uppgraderingen och kondensering är kostsam, men tankningen är billigare eftersom ingen kompression krävs.

Trelleborgs kommun och rederierna som använder Trelleborgs hamn är intresserade av möjligheten att använda LBG som bränsle i färjor. Om LBG som fartygsbränsle slår igenom kan LBG vara särskilt intressant med tanke på närheten till Oskarshamn.

Eftersom tekniken är ny i detta sammanhang kan det ha ett större marknadsföringsvärde för Södra Cell.

10.5 Slutsats

Det bästa ur miljösynpunkt är att biogasen ersätter olja, bensin eller diesel. Förbränning i mesaugnen som ersättning för barkpulver är av miljömässiga och ekonomiska skäl bara aktuellt som alternativ till fackling vid bristande avsättningsmöjligheter.

LBG ses som ett mycket intressant alternativ som möjliggör lagring och transport av biogasen samt öppnar för användning av biogas i lastbilar såsom SCMS:s timmerbilar. En mer noggrann kalkyl på SCMS:s kostnader och besparingar för alternativet skulle krävas för att undersöka potentialen närmare. I andra fall hade den tekniska utmaningen med kryoteknik kunnat utgöra ett hinder, men med den tekniska kompetensen hos SCMS är det extra intressant att kunna bygga en anläggning som ligger i framkant. Intresset för LNG och LBG är mycket stort, och tekniken framställs ofta som en framtidsbransch. Enligt en studie från SGC är det dessutom alltid billigare med LBG än med CBG om man har avsättning för CO₂. [11]

Avsättningsmöjligheter för LBG kan vara begränsade i en början. Tack vare den enkla tekniken som kommer till användning i LCBG-tankstationer, samt deras flexibilitet, är det dock troligt att det kommer att byggas fler sådana stationer i en rimlig närhet till SCMS. Med sin stora energidensiteten kan LBG även transporteras till mer avlägsna områden med akut brist på biogas. LBG kan även användas i LNG-backuplager som har byggts vid ett flertal biogastankställen för att trygga försörjningen.

Det är inte sannolikt att få avsättning för gasen som fordonsgas i Mönsterås kommun. För alternativet med komprimerad biogas skulle det krävas att biogasen delvis fick en annan avsättning, t ex elproduktion i en gasmotor.

För att en gasmotor ska vara ett gynnsamt alternativ krävs att det finns avsättning för värmen och att värdet på elen är högt.

11 Processchema

Två förenklade processscheman har tagits fram med förslag på hur biogasanläggningen kan utformas för våtrötning respektive torrötning. De delar av processen som endast eventuellt ska finnas med är ofärgade, t ex pelletering.

11.1 Våtrötning

Substraten kräver i det här fallet tre olika typer av förbehandling. Grödor och ensilage finfördelas och blandas med oavvattnat fiberslam för att späda ut slurryn. Varmvatten används för att värma upp den ingående strömmen. Musslor behöver finfördelas, och hygieniseras därefter tillsammans med gödsel. Eftersom strömmen är relativt liten och kontinuerlig kan den blandas med de andra strömmarna och föras in i röt kamrarna utan föregående kylning. Strömmen från en eventuell sterilisering behöver emellertid kylas innan rötningen. Frånluften från mottagningstankarna samlas upp och behandlas i biofilter, ozonskrubber eller annan process för luktreduktion.

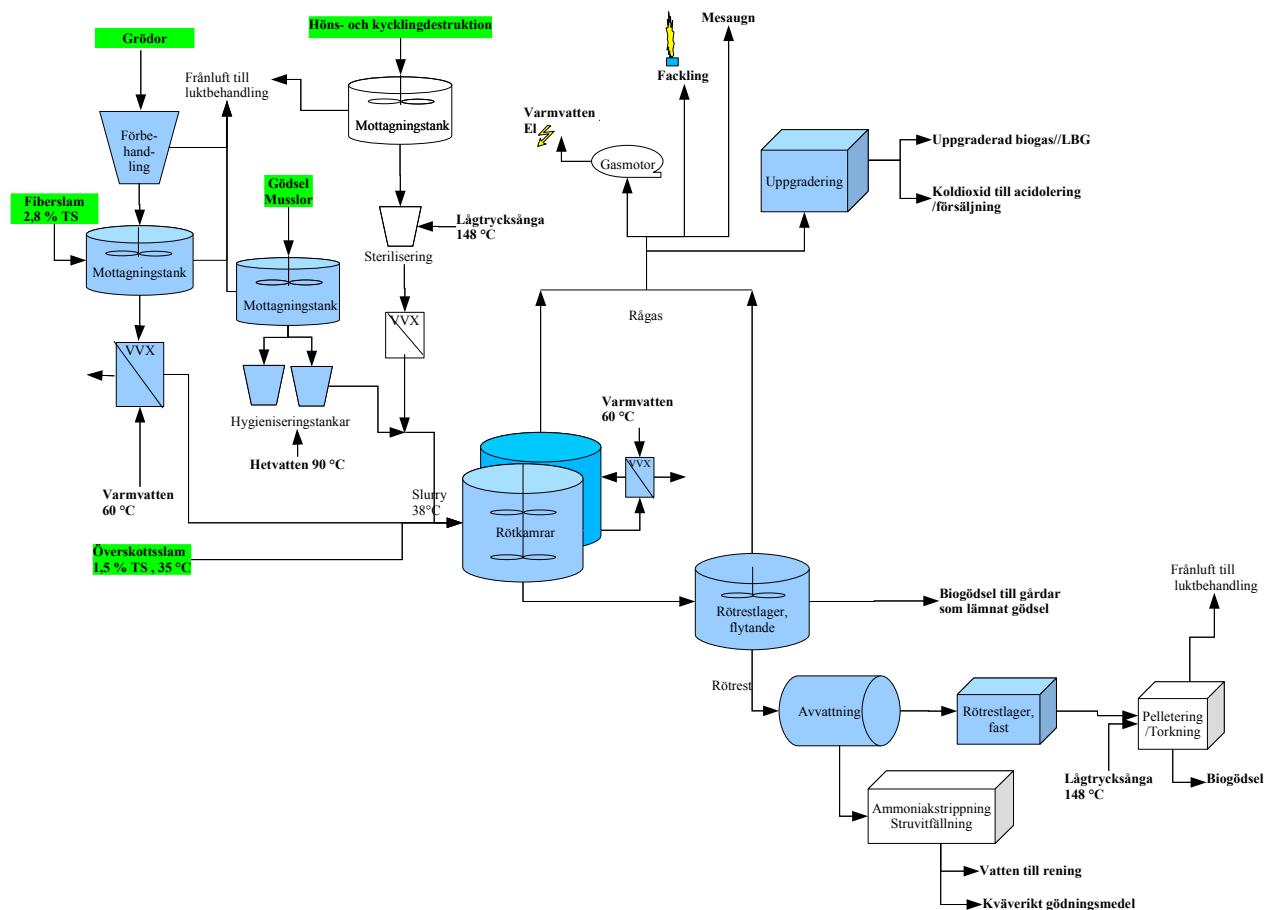


Bild 14: Blockschema för våtrötningensalternativet. Komponenter som kan anses som option är ofärgade.

Två röt kamrar med en volym på 7000 m³ vardera behövs för fallet med maximalblandningen och certifierbart biogödsel. Värmeväxlare där röt massan växlas mot varmvatten körs i intervall för att hålla temperaturen runt 38 grader. Rågasen som bildas i processen får avsättning i gasmotor eller mesagn som alternativ till uppgradering. Beroende på mesagnens tillgänglighet är det eventuellt nödvändigt att installera en fackla för att förbränna gas vid driftsproblem.

Rötresten samlas upp i ett omrört lager, där en liten mängd rågas avgår (uppskattningsvis 10 % av totalproduktionen). De lantbrukare som har lämnat gödsel till anläggningen hämtar sitt biogödsel därifrån för att få ungefär samma konsistens som de brukar ha. Volymen som krävs för rötrestlagret beror på hur stora lagringsutrymmen som finns hos lantbrukarna. Övrig rötrest avvattnas, och den fasta fraktionen lagras innan en eventuell pelletering/torkning. Den flytande fraktionen kan behandlas för att koncentrera kväveinnehållet.

11.2 Torrrotning

Processchemat för torrrotningen skiljer sig från våtrotningen på några viktiga punkter. Avvattnat fiberslam och övriga substrat matas direkt in i röttningsprocessen utan att blandas i en mottagningsstank. Hygieniseringen är ofärgad, eftersom det är möjligt att undvika denna om processen är termofil (se även kapitel 4.3). En temperatur på 55 °C under 10 timmar kan troligen godkännas som hygienisering, så att gödsel och musslor skulle matas in i rötchkammaren direkt. Detta alternativ innebär att investeringskostnaden minskas, men att risken för instabilitet i processen ökar. En tillräckligt hög C/N-kvot är förutsättningen för att det ska fungera väl. Eventuellt kan t ex halm tillsättas till processen.

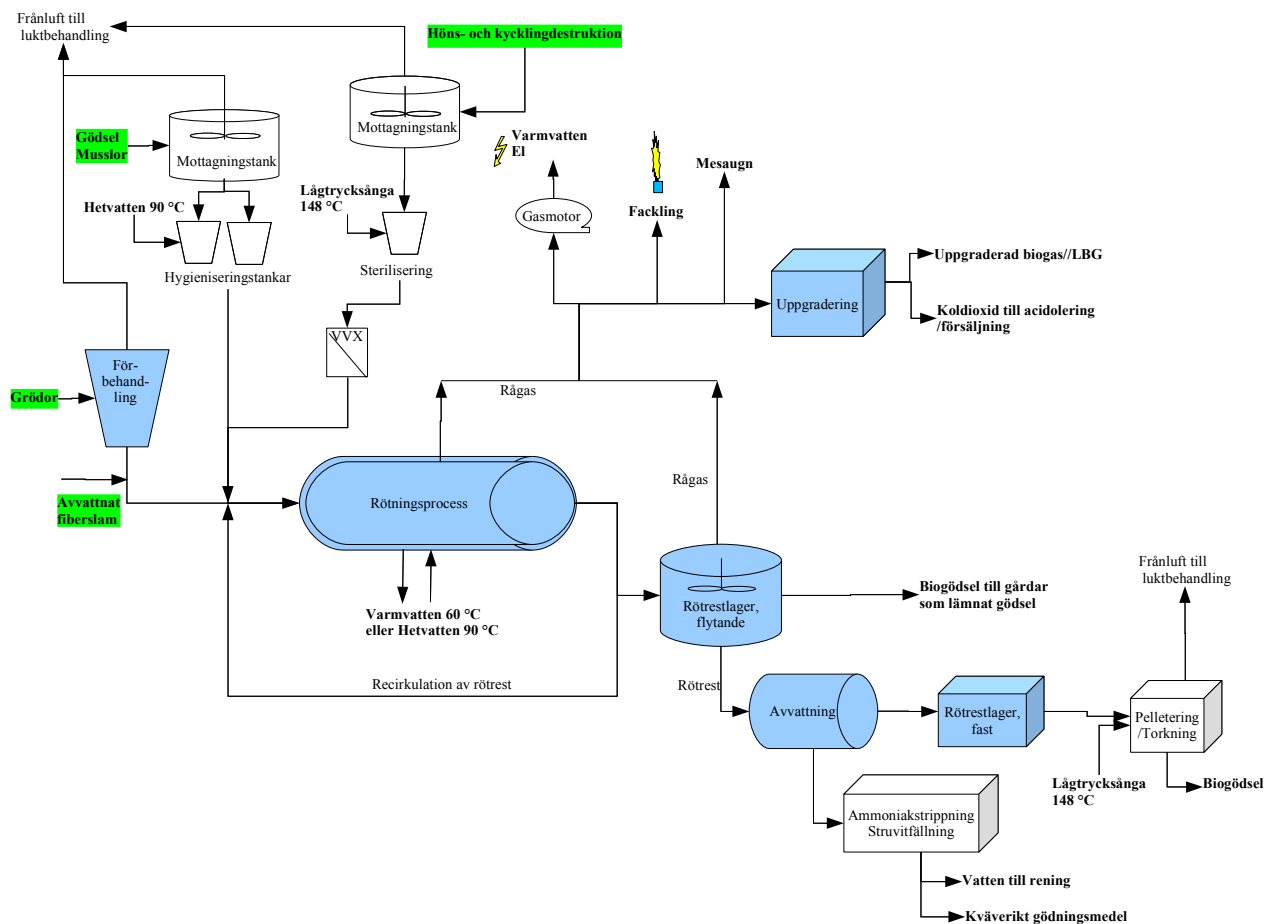


Bild 15: Blockschemat för torrrotningens alternativ. Komponenterna som kan anses som option är ofärgade.

Röttningsprocessen är ritad som en liggande tubreaktor, vilket inte behöver vara fallet (se kapitel 4.1). Uppvärmningen sker ofta inte med extern värmeväxlare som för våtrotning, utan exempelvis via ytterhöljet, rör inuti tubreaktorn eller värmda transportskruvar (Dranco). Rötchkammaren värms med hetvatten i det termofila fallet. Hantering av rötrest och rågas är oförändrat jämfört med våtrottningsprocessen.

12 Referenser

- [1] Animaliska biproduktförordningen (ABP), <http://www.sjv.se/amnesomraden/djurveterinar/foderochdjurprodukter/lagstiftning/animaliskabiprodukter/kategorisering>
- [2] Linke B., Leitfaden Biogas, Institut für Agrartechnik e.V. Potsdam, maj 2003
- [3] Bujoczek G., High Solid Anaerobic Digestion of Chicken Manure, J. agric. Engng Res. (2000) 76, 51-60
- [4] BioMil AB. Biogasanläggningar med 300 GWh årsproduktion – system, teknik och ekonomi. SGC 2007
- [5] Swedish Biogas International AB, Möjligheter för biogas i Kalmar län – en idéstudie, 2008-12-09
- [6] JTI:s rapport R 357 ”Torrötning – kunskapssammanställning och bedömning av utvecklingsbehov”, 2007
- [7] Rosoma, Herr Langpohl, www.rosoma.de
- [8] Calli, B., Mertoglu, B., Inac, B., och Yenigun, O. (2005). *Effects of free ammonia concentrations on the performance of anaerobic bioreactors*. Process Biochemistry. 40: 1285-1292.
- [9] Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. (2008). *Inhibition of anaerobic digestion process: A review*. Bioresource Technology. 99: 4044-4064.
- [10] Fricke, K., Santen, H., Wallman, R., Hütter, A. och Dichtl, N. (2007). *Operating problems in anaerobic digestion plants resulting from nitrogen in MSW*. Waste Management. 27: 30-43.
- [11] Rapport SGC 167, LCNG-studie – möjligheter med LNG i fordonsgasförsörjningen i Sverige (2006)