

Hur används biogas bäst? (H1140116)

Elham Ahmadi Moghaddam, Serina Ahlgren och Åke Nordberg*
Institutionen för energi och teknik, SLU, Box 7032, 750 07 Uppsala
*Projektledare: ake.nordberg@slu.se

Bakgrund

Energisystem baserade på biogas (metan och koldioxid) har många fördelar jämfört med andra system som nyttjar råvaror från lantbruket. Användning av biogas minskar utsläppet av växthusgaser dels genom att fossil energi ersätts och dels genom att läckage av metan och lustgas till atmosfären minskar när gödsel rötas (Börjesson m.fl., 2010). Vidare är all växtnäring inklusive kväve fortfarande tillgänglig efter rötning, i motsats till energiomvandling baserad på förbränning av biomassa där kvävet försvinner med rökgaserna.

I Sverige producerades under 2014 biogas motsvarande ca 1,8 TWh, varav 57% uppgraderades till fordonsgas (biometan) och resten omvandlades till värme och el, eller användes inom industrin (Energimyndigheten, 2015). Biogaspotentialen från lantbruket bedöms till ca 3-7 TWh (Luostarinen, 2013). Vid gårdsanläggningar (< 1 miljon Nm³ metan/år) är förutsättningarna för kraftvärmeproduktion bäst, men de för närvarande låga elpriserna försvårar lönsamheten. Dessutom kan det vara svårt att finna avsättning för värmen, vilket utgör ca 50-60% av energimängden. Vid större gemensamt ägda samverkansanläggningar (> 1 miljon Nm³ metan/år) är förutsättningarna att uppgradera och komprimera biogasen (CBG, ca 200 bar) för fordonsdrift bättre, men energidensiteten är trots det relativt låg i jämförelse med flytande bränslen. Vidare är infrastrukturen med gasledningar begränsade i Sverige, vilket i sin tur försvårar distribution och därmed begränsar marknaden för biogas.

En viktig faktor för biogasproduktionens utveckling och framtid är hur gasen kan användas på "bästa" sätt, dvs med hänsyn till energibalans, energitäthet, ersatt fossil energi, miljöpåverkan och användarperspektiv. Biogas kan uppgraderas till flytande biometan (LBG) med kryoteknik (Johansson, 2008), vilket leder till att energidensiteten blir ca 3 ggr högre än CBG. Framställning av LBG sker idag vid biogasanläggningen i Lidköping. Utöver att förvätska biometan med kraftig nedkylning pågår utveckling av andra s.k. "Gas-to-liquid" (GTL)-tekniker, vilka omfattar reformering av biometan till syntesgas, en blandning av bl.a. vätgas (H₂) och kolmonoxid (CO). Syntesgas utgör basen för syntetisering till en rad olika flytande drivmedel, t.ex. Fischer Tropsch diesel (FTD), metanol och dimetyleter (DME). GTL-teknik har traditionellt används i mycket stora anläggningar vid fossilgasfält, men utvecklingen mot mindre anläggningar pågår, bl.a. har företaget Velocys (Oxford Catalyst Group) utvecklat ett sk mikrokanalsystem som medger mindre anläggningar med högre verkningsgrad än konventionella storskaliga system (LeViness m.fl., 2011). Konvertering av biogas till flytande drivmedel ger således en energitätare energibärare, vilket underlättar distribution, lagring och användning. Vidare kan syntesgas användas för att producera mineralgödselkväve (Ahlgren m.fl. 2008; 2010), vilket är en grundförutsättning för en effektiv jordbruks- och livsmedelsproduktion. Produktion av ammoniak (NH₃) från biometan är den samma som från fossilgas, dvs H₂ från reformering reagerar med kvävgas (N₂) i den s.k. Haber-Bosch processen vid hög temperatur och tryck (EFMA, 2000).

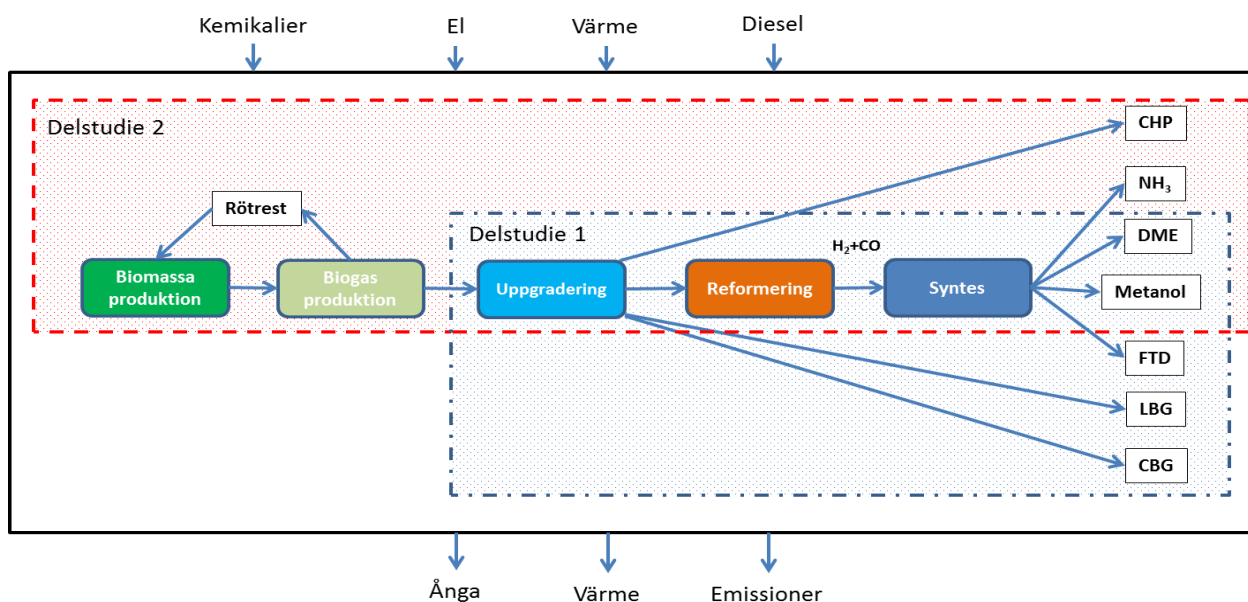
Vi kan konstatera att det finns olika potentiella tekniker, som i framtiden skulle kunna producera flytande bränslen och plattformskemikalier från biogas, framför allt vid en produktionsskala motsvarande samverkansanläggningar.

Syfte och mål

Syftet är att i ett systemperspektiv studera olika strategier för användning av biogas, producerad från lantbruksrelaterade substrat i samverkansanläggningar, med avseende på energibalans, miljöpåverkan och användarperspektiv. Målet är att identifiera optimal användning under olika förutsättningar och ta fram kunskap inför framtida prioriteringar av forskning som ett underlag för lantbruksnäringen mot bakgrund av den snabba utveckling som sker på den förnybara drivmedelsmarknaden.

Projektet har huvudsakligen genomförts som två delstudier med olika systemgränser och scenarier för konvertering av biogas (Figur 1). De två delstudierna besvarar olika frågeställningar:

1. Om vi har en viss mängd biogas som ska användas till att driva bussar, vilket drivmedel är då bäst ur ett energi- och klimatperspektiv?
2. Om vi har en viss mängd mark för odling av majs som går till biogas, vilket är då bästa sättet att använda biogasen ur ett energi- och miljöperspektiv?



Figur 1. Schematisk beskrivning av systemgränser och studerade processer för delstudie 1 (blå systemgräns) och delstudie 2 (röd systemgräns)

Material och metoder

Systembeskrivning: Delstudie 1

Den första delstudien omfattade konvertering av biogas från en produktion av 1140 Nm³ (1 atm, 0 °C) biogas/h med en sammansättning på 60 % CH₄; 39,8 % CO₂ och 2000 ppm H₂S, motsvarande en anläggning på ca 60 GWh/år. Fem olika scenarier för konvertering av biogas till fordonbränsle studerades (Figur 1). Det första baserades på konventionell konvertering till komprimerad biometan (CBG). De fyra övriga utgjordes av konvertering till de vätskeformiga bränslena LBG, FTD, metanol och DME. Konverteringsanläggningarna förutsätts ligga i anslutning till biogasproduktionen och ha tillgång till fjärrvärmenät. Vidare transporteras bränslet 100 km till tankstation för tankning av och förbränning i bussar.

I CBG-scenariot renas och uppgraderas biogasen med vattenskrubber och komprimeras till 200 bar i gasflaskor. CBG transporteras med lastväxlarflak till tankstationen. I LBG-scenariot uppgraderas biogas med vattenskrubber samt med en kemisk skrubber för efterföljande

reduktion av CO₂ till 50 ppm innan förvätskning vid -161 °C. LBG lagras och transporteras i isolerade tankar till tankstationen. För CBG och LBG används publicerad data huvudsakligen från svenska studier (Bauer m.fl. 2013; Benjaminsson och Nilsson, 2009 m.fl.).

Avseende GTL-teknikerna gjorde svårigheterna att finna tillräcklig indata att samarbete inleddes med Christian Hulteberg, LTH, som tidigare modellerat olika förgasningsprocesser. Scenarierna för FTD, metanol och DME har modellerats i AspenTech's Aspen Plus 7.3.2 där GTL-tekniken baseras på s.k. mikrokanalsystem (LeViness m.fl., 2011). Uppgradering skedde med aminskrubber, vilken valdes eftersom överskottsvärme från syngas- och syntetiseringsprocessen kan användas för regenerering av aminlösningen. Biometan konverteras till syngas i en ångreformerare (800 °C), som värms genom att använda ett delflöde av gasen. Vidare anpassas förhållandet CO:H₂ genom två vatten-gas-skift reaktioner (450 °C respektive 220 °C).

FT-reaktorn modellerades som en isothermisk pluggreaktor med Co-katalysator och krackning av tyngre fraktioner för ökat utbyte. Inställningar görs så att maximalt med diesel (C₁₀-C₁₅) bildas (Tunå m.fl. 2012). FTD lagras och distribueras som diesel. Metanolsyntesens återföringsratio sattes till 5:1 (Satterfield, 1991). Produktströmmen kondenserades varvid metanol och vatten avlägsnas och metanolen destillerades till 99,9 %. Framställning av DME utgick från syntetiserad metanol. Produkterna från DME-reaktorn kyls och metanol, DME och vatten separeras under tryck i en två-stegs destillation, varvid metanolfractionen återförs till reaktorn. En del av syngasen används för produktion av värme och el. DME lagras under tryck och distribueras på samma sätt som gasol (LPG).

Systembeskrivning Delstudie 2

I denna studie expanderades systemet till att även inkludera produktion av biomassa och röttningsprocessen (Figur 1), dvs odling, gödsling (rötrest och mineralgödsel), skörd och fälttransporter samt 20 km transport till biogasanläggning (Gissén m.fl., 2014).

Biogasanläggningen producerar biogas motsvarande 100 GWh/år baserad på majs från drygt 2 500 ha med en skörd på 13 ton torrsustans/ha. Vid biogasanläggningen ensilerades grödan och beskickades till röt-kammaren med en del av vätska från avvattning av rötresten. Biogasen uppgraderades med vattenskrubber och injicerades i ett regionalt gasnät för utnyttjande på en annan plats. Rötrest (flytande och fast) lagrades och användes i majsproduktionen.

Aktiviteterna från odling till biometanframställning i systemet är gemensam för samtliga scenarier och benämns ”biomassa-till-biometan”-steget.

De fyra scenarierna från biometan till färdig produkt som studerades omfattade kraftvärmeproduktion med en gasturbin och utgjorde basscenariet. De övriga tre scenarierna omfattande produktion av syntesgas samt syntetisering av metanol, DME och ammoniak. Underlag för metanol och DME produktion baserades på data från delstudie 1 och produktion av ammoniak baserades på Tunå m.fl. (2014), där syngasen komprimeras och vätgasen reagerar med kvävgas från luften i en exoterm katalytisk reaktion vid 100-250 bar och 350-550 °C. Producerad ammoniak kyls och lagras vid lågt tryck (Ahlgren, 2008).

Utvärderingsmetodik

Systemanalysen baserades på LCA-metodik enligt ISO standard 14040 och 14044 (ISO 2006 a, b) och har utförts i Excel®. Studierna utformades som bokförings-LCA. Energibalans beräknades som förhållande mellan det framställda bränslets lägre värmevärde och den insatsenergi i form av primärenergi (PE) som krävs för hantering, transport och processer i form av el (Nordisk elmix i grundstudien; 35 % vattenkraft, 11 % biomassa, 32 % kärnkraft,

20 % fossil och 2 % vind, sol och geotermisk el), värme, diesel och övriga insatsvaror i produktionskedjan. Analysen tar inte hänsyn till produktionen av utrustning, maskiner och byggnader eftersom de brukar ha liten påverkan (Michel, 2010). Bedömning av miljöpåverkan omfattade emissioner av växthusgaser i form av global warming potential (GWP) uttryckt som CO₂-ekvivalenter. För beräkning av lustgasemissioner i delstudie 2 användes standardiserad metod från IPPC (2006) med anpassning till svenska förhållanden (Börjesson och Tuvevsson, 2011). Metanemission från uppgradering valdes till 2 %. I delstudie 2 inkluderades även emissioner som leder till övergödning (uttryckt som PO₄³⁻-ekvivalenter) och försurning (uttryckt som SO₂-ekvivalenter). Vidare jämfördes skillnader mellan de biobaserade produkterna och fossila alternativ (Ecoinvent, 2015) genom att kvantifiera nettoemissionerna.

Den funktionella enheten sattes i delstudie 1 till 1 Nm³ producerad biogas, och till 1 ha odlad majs per år i delstudie 2.

Vid konvertering av biometan till FTD, metanol och DME kommer även värme och ånga att produceras i olika omfattning. När flera produkter produceras måste insatsmedel och miljöpåverkan fördelas mellan dessa. I delstudie 1 valdes allokering baserad på det lägre värmevärdet (LHV) och i delstudie 2 valdes att substituera de biobaserade produkterna med motsvarande fossila produkter framställda med fossilgas för jämförelse mellan scenarierna.

Känslighetsanalys har utförts för att belysa osäkerheter i resultaten. I delstudie 1 studerades förändringar i allokeringsmetod (ekvivalent elproduktion istället för LHV), transportavstånd (1 000 km istället för 100 km) och val av elmix. Känslighetsanalysen i delstudie 2 omfattade val av elmix, variation i N₂O emissioner från mark samt reducerade metanemissioner från uppgradering.

Resultat

Delstudie 1

Erhållet energiutbyte i form av drivmedel var högst för CBG och LBG (Tabell 1). De syntetiserade bränslena (FTD, metanol och DME) genererar samtliga även värme och ånga, där FTD ger en ansevärd mängd ånga och det lägsta drivmedelsutbytet. Den insatta mängden primärenergi (el, diesel och värme) för produktionen är högst för LBG pga elbehov till uppgradering och förvätskning. Behovet av primärenergi för de syntetiserade bränslena är allokerade baserat på LHV och resulterar generellt i lägre värden än för LBG och CBG. Den huvudsakliga primärenergien för de syntetiserade bränslena är relaterad till syngasproduktion och syntetisering.

Energibalansen, uttryckt som ratio mellan energiinnehåll i erhållet drivmedel och primärenergibehovet, är högst för CBG tätt följd av metanol och DME i grundstudien (Tabell 1). Även om drivmedelsutbytet är likartat för CBG och LBG är energibalansen för LBG lägre pga ett högre primärenergibehov. Om transportavståndet ökas från 100 km till 1 000 km kommer dock energibalansen för CBG kraftigt reduceras pga den låga energidensiteten i CBG jämfört med flytande bränslen, vilket leder till ett ökat primärenergibehov för transport av CBG. Byte från Nordisk till kolbaserad elmix leder generellt till lägre energibalans pga en högre primärenergifaktor för kolbaserad el (11,4 MJ/kWh) jämfört med nordisk elmix (7,8 MJ/kWh). Byte av allokeringsmetod påverkar endast de syntetiserade bränslena, som även genererar värme och ånga. Allokering med ekvivalent elproduktion representerar exergivärdet i de olika energiformerna och tilldelar därför en högre andel av primärenergien till drivmedlet.

Därmed kommer energibalansen för dessa drivmedel att minska något jämfört med grundstudien.

Tabell 1. Energiutbyte, insats av primärenergi (PE) samt energibalans, inkluderat känslighetsanalys för scenarierna i delstudie 1

	Energiutbyte			PE input total	Energibalans: Drivmedelsenergi/PE input			
	Drivmedel	Värme	Ånga		Grundstudie	Känslighetsanalys		
	MJ/Nm ³ biogas					1 000 km transport	Kolbaserad elmix	Allokering
CBG	21,2			4,0	5,2	2,0	3,8	5,2
LBG	21,2			5,6	3,8	3,4	2,6	3,8
FTD	9,2	2,9	10,3	4,0	2,3	2,1	1,6	1,7
Metanol	16,2	1,5	1,8	3,2	5,0	3,3	3,6	4,5
DME	16,2	1,6	1,3	3,9	5,0	3,4	3,5	4,5

Emissioner av växthusgaser omfattar både direkta emissioner (vid processning av biogasen) samt indirekta emissioner (orsakade av insatsmedlen el, värme och diesel). Total GWP var i grundstudien högst för CBG och LBG (Tabell 2), vilket orsakas av metanemissioner vid uppgradering och elbehov för komprimering eller förvätskning. För de syntetiserade bränslena var elbehov vid produktion av syngas och syntetisering den största källan till växthusgasemissioner. En ökning av transportavståndet från 100 km till 1 000 km är ytterligare till fördel för de syntetiserade bränslena ur ett GWP perspektiv. Byte till en kolbaserad elmix ökade som väntat växthusgasemissionerna avsevärt för samtliga bränslen och visar att valet av elmix är en mycket viktig faktor vid denna typ av analyser. Byte av allokeringsmetod resulterade i att skillnaden i emissioner mellan de syntetiserade bränslena och CBG samt LBG minskade något eftersom större del av emissionerna allokeras till drivmedlet för de syntetiserade bränslena.

Tabell 2. Klimatpåverkan för de olika scenarierna i delstudie 1, inkluderat känslighetsanalys

		CBG	LBG	FTD	Metanol	DME
		g CO ₂ -ekv/Nm ³ biogas				
Grundstudie	Uppgradering	289	298	35	70	73
	Kompression	45	-	-	-	-
	Förvätskning	-	157	-	-	-
	Syngas/Syntes	-	-	185	106	136
	Transport	8	1	1	2	2
	Tankstation	18	6	5	8	10
	Förbränning	57	68	18	32	32
	Summa GWP	417	530	244	218	253
Känslighetsanalys	1 000 km transport	500	541	254	235	278
	Kolbaserad elmix	3007	3837	1786	1587	1844
	Allokering	417	530	339	249	278

Delstudie 2

Den insatta mängden PE för ”biomassa-till-biometan”-delen av systemet uppgick till 28 GJ/ha och år, vilket var gemensamt för samtliga scenarier. Biogasproduktion och uppgradering utgjorde ca 70 % av total PE, vilket huvudsakligen var el för uppgradering. Majsodling

utgjorde 12 % av PE och transport 7 %. Den totala PE insatsen, dvs inkluderat både ”biomassa-till-biometan”-delen och konvertering till de olika produkterna, var som väntat lägst för kraftvärmeproduktion (Tabell 3). Den högsta PE insatsen var för ammoniakframställning medan DME och metanol hade lägre PE-insats. Den huvudsakliga primärenergien för de syntetiserade produkterna är relaterad till syngasproduktion och syntetisering.

Energiutbytet delas upp i en huvudprodukt (elektricitet, DME, metanol och ammoniak) och biprodukter (värme och ånga). Den ånga som genereras i ammoniakproduktionen används internt i processen och ger därför inget nettoutbyte (Tabell 3). Värmen är av en kvalitet som lämpar sig för användning till fjärrvärme. Kraftvärmeproduktionen hade den bästa energibalansen följt av DME och metanol medan ammoniak gav den lägsta energibalansen.

Tabell 3. Energiutbyte, insats av primärenergi (PE) samt energibalans för scenarierna i delstudie 2

	Energiutbyte			PE insats total	Energibalans (Totalt energiutbyte/PE insats)
	Produkt	Värme	Ånga		
	GJ/ha/år				
Kraftvärme	63	53	0	29	4,0
DME	116	10	8	44	3,0
Metanol	98	9	11	41	2,8
Ammoniak	63	39	0	58	1,8

Total GWP för ”biomassa-till-biometan”-delen av systemet uppgick till 4,2 ton CO₂-ekv/ha och år, där biogasproduktion och uppgradering svarade för 2 ton CO₂-ekv/ha och år (huvudsakligen beroende på elanvändning och metanemissioner). Odlingen stod för 1,3 ton CO₂-ekv/ha, vilket framförallt kommer från markens N₂O emissioner.

När framställning av de olika produkterna inklusive förbränning av DME och metanol lades till ”biomassa-till-biometan”-delen gav ammoniak högst total GWP följt av DME, metanol och kraftvärmeproduktion (CHP); (Tabell 4). Övergödningspotentialen (EP) beror till över 90 % av odlingsdelen pga utlakning, emissioner av NH₃ och emissioner från dieselanvändning och är därför likartad för samtliga scenarier (Tabell 4). Förurningspotentialen (AP) var högst för ammoniak, där processning från biometan till ammoniak svarade för 3,7 kg SO₂-ekv/ha och år. Kraftvärmeproduktionen hade lägst AP och motsvarar i princip den AP som ”biomassa-till-biometan”-delen gav upphov till, dvs 7,7 kg SO₂-ekv/ha och år (Tabell 4).

När de olika biometanbaserade produktionsvägarna jämförs på basis av den funktionella enheten (ha/år) kan kraftvärmeproduktionen sägas vara det bästa alternativet avseende energibalans och miljöpåverkan medan DME och metanol har bättre prestanda än ammoniak. I denna jämförelse tas dock inte hänsyn till att det genereras olika slutprodukter. Genom att jämföra med motsvarande fossila alternativ och ta fram skillnaden i emissioner som netto-emissioner kan en sådan jämförelse göras för de olika produktionsvägarna och de miljöpåverkanskategorier som studerades.

Det framgår tydligt i tabell 4 att ersättning av fossila alternativ ger reduktion i GWP för samtliga produktionsvägar. DME uppvisar den största reduktionen följt av kraftvärme och metanol medan ammoniakproduktionen har den lägsta reduktionen. Vidare kommer AP att reduceras betydligt när fossila alternativ ersätts, framförallt för DME, metanol och

kraftvärme. EP är dock högre för den biometanbaserade produktionen i samtliga fall beroende på odlingssystemets påverkan.

Tabell 4. Klimatpåverkan, övergödning- och försurningspotential för scenarierna i delstudie 2, inkluderat fossila motsvarigheter, nettoemissioner (biometanbaserad minus fossil motsvarighet) och känslighetsanalys

	GWP (ton CO ₂ -ekv/(ha/år))				EP (kg PO ₄ ³⁻ -ekv/(ha/år))				AP (kg SO ₂ -ekv/(ha/år))			
	CHP ¹	DME	Metanol	NH ₃	CHP ¹	DME	Metanol	NH ₃	CHP ¹	DME	Metanol	NH ₃
Biometanbaserad	4,2	4,7	4,6	5,2	17,2	17,4	17,4	17,5	7,7	9,2	9,2	11,3
Fossil motsvarighet	10,9	12,0	9,9	7,5	0,8	1,1	0,5	0,9	29,0	39,1	27,2	17,7
Netto emissioner (NE) (biometan-fossil)	-6,7	-7,3	-5,3	-2,3	16,4	16,3	16,9	16,6	-21,3	-29,9	-18,0	-6,4
NE kolbaserad elmix	2,5	8,9	9,6	20,3	20,3	23,1	23,1	26,2	53,8	102,5	103,7	177,7
NE svensk elmix	-6,8	-7,6	-5,5	-2,6	16,4	16,2	16,8	16,6	-21,5	-30,2	-18,4	-6,8
NE högre N ₂ O emission	-1,6	-2,3	-0,3	2,8	16,4	16,2	16,8	16,6	-21,3	-29,8	-18,0	-6,3
NE lägre N ₂ O emission	-7,4	-8,1	-6,1	-3,0	16,4	16,2	16,8	16,6	-21,3	-29,8	-18,0	-6,3
NE Uppgradering	-7,4	-8,1	-6,1	-3,0	16,4	16,2	16,8	16,6	-21,3	-29,8	-18,0	-6,3

¹ CHP = combined heat and power, dvs kraftvärme

Ett byte från nordisk elmix till kolbaserad elmix i känslighetsanalysen gav som förväntat en kraftig ökning i GWP och AP (tabell 4). Samtliga biometanbaserade produktionsvägar kommer då att ge högre GWP och AP än de fossila alternativen. Om istället svensk elmix (till stor del baserad på el från kärnkraft och vattenkraft) används kommer den biometanbaserade produktionen att reducera GWP och AP ytterligare jämfört med om nordisk elmix används.

Emissioner av lustgas (N₂O) dominerade växthusgasemissioner från odlingsdelen i systemet och är förknippat med en stor osäkerhet avseende emissionsfaktorer. Högre faktorer enligt IPCC guidelines (2006) resulterade i försämrade prestanda för samtliga biometanbaserade produktionsvägar där ammoniak förändrades från att ha gett en reduktion i GWP till att ge högre GWP än det fossila alternativet. Övriga produktionsvägar uppvisade dock fortfarande en reduktion jämfört med fossila alternativ. Lägre N₂O emissionsfaktorer enligt IPCC förbättrade följaktigt de biometanbaserade produktionsvägarnas reduktionspotential jämfört fossila alternativ. En minskning av metanemissioner vid uppgradering från 2 % till 0,5 % förbättrar också de biometanbaserade produktionsvägarna i samma omfattning som när en lägre N₂O faktor antas.

Diskussion

De två delstudierna som genomförts i projektet har olika systemgränser och funktionella enheter, vilket gör de inte är helt jämförbara. Den första delstudien utformades för att i första hand belysa energibalanser och växthusgasemissioner vid den tekniska framställningen från biometan till slutlig användning och förbränning. När framställning av olika flytande drivmedel från biometan jämförs med konventionell komprimering till ca 200 bar (CBG) framgår det att energibalansen endast är något lägre för metanol och DME under de förhållanden som studien baserades på. Vidare visar de biometanbaserade flytande drivmedlen förhållandevis låga växthusgasemissioner uttryckta som CO₂-ekvivalenter/Nm³ biogas i jämförelse med konventionell CBG. Ur ett användar- och marknadsperspektiv lämpar sig CBG framför allt på en lokal eller regional marknad när distribution sker i mobila enheter med hög vikt i förhållande till den låga energidensiteten. När transportavståndet för bränslet ökades från 100 km till 1000 km framstod metanol och DME som de "bästa" bränslena avseende energibalans och växthusgasemissioner. Med dessa drivmedel finns därmed bättre förutsättningar att nå en nationell marknad när det finns begränsningar i gasinfrastrukturen. I en situation med väl utvecklad gasinfrastruktur och bättre förutsättningar att injicera biometan

i ett gasnät skulle möjligheten att nå en större marknad förbättras, men samtidigt skulle det även ge möjlighet till större centraliserade anläggning för GTL-processer.

Den andra delstudien utformades delvis baserad på resultaten från den första delstudien i och med att metanol och DME hade framstått som de mest lovande bränslena. Vidare expanderades systemet till att även inkludera produktion av biogassubstrat och rötningsprocessen samt att ta med övergödnings- och försurningspotential (EP respektive AP). Kraftvärmeproduktion valdes som basfall eftersom det den vanligaste användningen i ett europeiskt perspektiv. Resultaten visade att energibalansen var bäst för kraftvärme och att det gav lägst GWP och AP vid jämförelse av de olika biometanbaserade produktionsvägarna. När de genererade produkterna jämfördes med respektive fossilt alternativ förändrades dock bilden. DME framstod då som den produkt som reducerar växthusgasemissioner och försurningspotential mest. Det framgår också att odlingssystemet för majs kommer att bidra till en högre EP i jämförelsen med fossila alternativ för respektive produkt.

Valet av ursprung för den el som används i denna typ av studier visade sig generellt vara mycket viktig för framförallt GWP och AP. Valet kan givetvis diskuteras, men det är viktigt att vara medveten om dess påverkan och att den i vissa fall är viktigare för resultaten än vilken biogasbaserad produktionsväg som väljs.

Det bör noteras att denna studie är av futuristisk karaktär eftersom de nya processtekniker som undersökts inte finns tillämpade i den skala som studien omfattar. Det är dock viktigt att i ett tidigt skede undersöka potentiella tekniker och processer för nya biogasbaserade produkter, vilka kan öka marknadstillgänglighet och samtidigt ge bättre prestanda än de konventionella fossilbaserade produkterna. Sammanfattningsvis framstår metanol och DME som produkter med relativt god energibalans och låg miljöpåverkan baserat på denna studie. Att bedöma de ekonomiska förutsättningarna i detta läge är givetvis svårt och förknippat med många antaganden. I litteraturen kan man dock finna en referens (Pedersen och Schulz, 2012) där en tekno-ekonomisk studie genomförts för en biogasanläggning som producerar metanol via ångreformering. Anläggningen producerar ca 100 GWh/år och genererar 13 500 ton metanol per år, vilket är jämförbart med delstudie 2. Med förutsättningar på 10 % ränta, 20 års avskrivningstid och 8 000 timmarsdrift per år hamnar den totala årskostnaden på ca 34 miljoner danska kronor, inkluderat kapital- och driftskostnad för biogasanläggning, uppgradering, syngasproduktion och syntetisering. Intäktsvärdet på värme har satts till ca 3 miljoner danska kronor per år. Produktionskostnaden beräknas därmed till ca 2,5 danska kr/kg metanol, vilket kan jämföras med marknadspriset (Methanex Non Discounted Reference Price) som var i samma storleksordning i augusti 2016. Pedersen och Schultz (2012) har modellerat processen och den innehåller komponenter och delsteg som skiljer sig från delstudie 2. Man bör därför givetvis betrakta siffrorna med stor försiktighet, men samtidigt indikerar beräkningarna att det kan finnas incitament att vidareutveckla teknik och göra fortsatta studier baserade på empirisk data när dessa finns tillgängliga. Den sammantagna bedömningen är att framställning av metanol och DME från biogas kan vara intressant utifrån energibalans, miljöpåverkan, marknadsförutsättningar, användarperspektiv och ekonomi.

Publikationer

Den första delstudien har publicerats i tidskriften "Fuel Processing technology":

[Energy balance and global warming potential of biogas-based fuels from a life cycle perspective](#)

Delstudie 2 "Assessment of Novel Routes of Biomethane Utilization in a Life Cycle Perspective" kommer att skickas in till tidskriften "Frontiers in Bioengineering and Biotechnology/Bioenergy and Biofuels" i början av september.

De två publikationerna avses att ingå som en del i Elham Ahmadi Moghaddams doktorsavhandling.

Slutsatser

Produktion av gas- och vätskeformiga drivmedel från biogas till slutanvändning och förbränning i bussar visade att:

- CBG (komprimerad biometan), metanol och DME visade högst energibalans (5,2; 5,0 respektive 5,0 MJ bränsle/MJ primärenergi) vid ett transportavstånd för bränslet på 100 km (lokal marknad).
- Vid ökning av transportavståndet till 1000 km (nationell marknad) hade DME, LBG (förvätskad biogas) och metanol bäst energibalans (3,4; 3,4 respektive 3,3 MJ output/MJ PE)
- Klimatpåverkan (GWP) var lägre för metanol, FTD och DME än för CBG och LBG

Inkludering av odling av energigröda som substrat och biogasanläggning med uppgradeing i systemet visade att:

- Totalt energiutbyte per insatt primärenergi var högst för produktion av kraftvärme (4,0) följt av DME (3,0), metanol (2,8) och ammoniak (1,8).
- Vid ersättning av fossila motsvarigheter reducerade samtliga undersökta produktionsvägar (kraftvärme, DME, metanol och ammoniak) klimatpåverkan och försurning där DME uppvisar bäst reduktionspotential.
- Osäkerhet i emissioner av N₂O från odlingsmark kan leda till att ammoniakproduktion uppvisar större klimatpåverkan än dess fossila motsvarighet.

Generella slutsatser:

- Val av elmixens ursprung har en stor betydelse i denna typ av studier och kan vara viktigare för resultaten än vilken biogasbaserad produktionsväg som väljs.
- Den sammantagna bedömningen är att framställning av metanol och DME från biogas är intressant utifrån energibalans, miljöpåverkan, marknadsförutsättningar, användarperspektiv och ekonomi samt att studien ger incitament att vidareutveckla teknik och göra fortsatta studier baserade på empirisk data när dessa finns tillgängliga.

Resultatförmedling till näringen

Intresset för att konvertera biogas till flytande drivmedel finns på flera håll i landet. Drivkraften för utveckling mot mer energitäta drivmedel är framförallt aspekter på distribution, lagring och användning. T.ex. i Västra Götalandsregionen finns idag ett betydande överskott av biogas som distribueras som CBG till bl.a. Mälardalsregionen. Kontakt och diskussion har skett med bl.a. Per-Ove Persson, Hushållningssällskapet Skaraborg, samt Cecilia Wahlberg, Hushållningssällskapet i Västerbotten och Olov Öhrman vid ETC, Piteå. Vidare har projektgruppen blivit kontaktad av Hans Jansson, Ecopar AB, som är engagerad i småskalig reformering av biogas och syntes till FTD. Den 11/9 2015 genomfördes ett seminarium om biometanol i Malmö arrangerat av Region Skåne med ca 45 deltagare där vårt projekt presenterades. De medverkande kom bl.a. från motorutvecklare, distributörer och den marina industrin där biometanol ses som ett bränsle med goda egenskaper och en stor potentiell marknad, inte minst inom sjöfarten.

Projektet har även presenterats vid den vetenskapliga konferensen Biogas Science, Szeged, Ungern, 21-24/8 2016: [Novel Routes for Biogas Use](#) Information om projektet finns på institutionens webbsida: [Hur används biogas bäst?](#)

Projektet har även presenterats vid utbildning av civilingenjörer i energisystem, SLU.

Referenser

- Ahlgren, S., Bernesson, S., Nordberg, A. & Hansson, P.-A., 2010. Nitrogen fertiliser production based on biogas - Energy input, environmental impact and land use. *Bioresource Technology* 101(18), 7192-7195.
- Ahlgren, S., Baky, A., Bernesson, S., Nordberg, A., Norén, O., Hansson, P.-A., 2008. Ammonium nitrate fertiliser production based on biomass - Environmental effects from a life cycle perspective. *Bioresource Technology*, 99, 8034-8041.
- Bauer, F., Hultheberg, C., Persson, T. and Tamm, D. 2013. Biogas upgrading – Review of commercial technologies. SGC Report 2013:270.
- Benjaminsson, J. and Nilsson, R. 2009. Distributionsformer för biogas och naturgas i Sverige. Grontmij
- Börjesson, P., Turesson, L. 2011. Agricultural crop-based biofuels-resource efficiency and environmental performance including direct land use changes. *J of Clean. Prod.*, 19 (2), 108-120
- Börjesson, P., Turesson, L., Lantz, M. 2010. Livscykelanalys av svenska biodrivmedel. Rapport nr 70. Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola.
- Ecoinvent, 2015. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- EFMA, 2000. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. Production of Ammonium Nitrate and Calcium Ammonium Nitrate. Booklet No. 6 EFMA, Brussels.
- Energimyndigheten, 2015. Produktion och användning av biogas och rötresten år 2014. ES 2015:03.
- Gissén, C., Prade, T., Kreuger, E., Nges, I. A., Rosenqvist, H., Svensson, S. E. & Björnsson, L. (2014). Comparing energy crops for biogas production—yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilization. *Biomass and bioenergy*, 64, 199-210.
- IPPC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Published:IGES, Japan.
- ISO, 2006a. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- ISO, 2006b. Environmental management - Life cycle assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044:2006). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- Johansson N. 2008. Production of liquid biogas, LBG, with cryogenic and conventional upgrading technology – Description of Systems and Evaluations of Energy Balances. Examensarbete, Institutionen för Teknik och Samhälle, Miljö- och Energisystem. Lunds Tekniska Högskola.
- LeViness S, Tonkovich AL, Jarosch K, Fitzgerald S, Yang B and McDaniel J. 2011. Improved Fischer-Tropsch Economics Enabled by Microchannel Technology.
- Luostarinen S. 2013. *Energy potential of manure in the Baltic sea region: biogas potential & incentives and barriers for implementation*. Baltic manure business opportunities.
- Michel, J., Weiske, A., Möller, K. 2010. The effect of biogas digestion on the environmental impact and energy balances in organic cropping systems using the life-cycle assessment methodology. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25:204-218.
- Pedersen, TH., Schultz, RH. 2012. Technical and Economic Assessment of Methanol Production from Biogas. Dept. of Energy Technology, University of Aalborg, Denmark. Master Thesis.
- Satterfield, C.N. 1991. *Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice*, Krieger Publishing Company.
- Tunå, P., Hultheberg, C., Hansson, J., Åsblad, A., Andersson, E. 2012. Synergies from combined pulp&paper and fuel production, *Biomass and Bioenergy*, 40, 174-180.