

Produktion och distribution av komprimerad och flytande biogas

Marcus Gustafsson^a, Igor Cruz^b, Niclas Svensson^a, Magnus Karlsson^b

^aIndustriell miljöteknik/^bEnergisystem, Linköpings Universitet

Biogas spås utgöra ett betydande bidrag till ett framtida fossilfritt transportsystem. Men vilka metoder för produktion och distribution av biogas till fordon är mest effektiva, och när blir det mer effektivt att göra flytande biogas?

Biogasproduktion är ett effektivt sätt att kombinera flera nyttor, bland annat energiproduktion och avfallshantering, och därigenom bidra till en cirkulär ekonomi. I Sverige, till skillnad från de flesta andra länder som har inhemsk biogasproduktion, används biogas främst som fordonsbränsle och först i andra hand för el- och värmeproduktion [1]. För att biogas ska nå fordonsgaskvalité krävs uppgradering och rening, vilket innefattar separation av koldioxid och spårämnen från metangasen. Den vanligaste tekniken i Sverige är vattenskrubbern, där koldioxid och andra gaser absorberas och avskiljs under tryck [2]. Kemisk skrubber med aminlösning är en teknik som ökar i användning, tack vare den lägre elanvändningen och möjligheten att producera nära på ren metan med koldioxidhalt under 50 ppm [2], [3]. Aminskrubbern kräver dock värme för att regenerera lösningsvätskan. Andra tekniker på marknaden är organisk skrubber, membranseparering och PSA (*pressure swing adsorption*) [2].

LBG – flytande biogas

På senare tid har även en hel del uppmärksamhet ägnats åt tekniker för att producera biogas i flytande form, s.k. *liquefied biomethane* eller *liquefied biogas* (LBG). Genom att kyla ner gasen till -162 °C , under kokpunkten för metan, i stället för att komprimera den till 250 bar blir energidensiteten, energiinnehållet per volymenhet, 2,5 gånger högre [4]. Detta öppnar för möjligheten att använda biogas i tunga fordon med hög bränsleförbrukning. Det blir även mer effektivt att transportera gasen i flytande form för att sedan använda den i gasform, jämfört med att transportera komprimerad gas i trycksatta flaskor. Detta kan också göra att biogasen når en större del av marknaden i Sverige, där gasnätets utbredning är begränsad och lokal. Förvätskning av uppgraderad biogas görs genom att värmväxla gasen mot ett köldmedium. De tekniker som finns på marknaden, N_2 -cykeln och MR-cykeln, nyttjar kväve, som har lägre kokpunkt än metan, respektive en blandning av olika köldmedier (*mixed refrigerant*) som kyler gasen i olika steg [5]. Ett annat koncept, som varit under utveckling under en längre tid, är att använda kryoteknik för att avskilja koldioxid och förvätska metan i samma process [3]. Tekniken bygger på att koldioxid kondenserar eller, beroende på trycket, sublimerar vid -78 °C medan metan kondenserar först vid -161.5 °C . Dock kvarstår en del problem att lösa för att tekniken ska fungera som tänkt. Om koldioxiden kondenseras går det inte att ta vara på all metan, eftersom en del av det löser sig i koldioxiden, och om koldioxiden sublimeras måste processen köras cykliskt med stopp för avfrostning, vilket ökar energianvändningen [3]. Kryogen uppgradering av rå biogas är därför långt ifrån lika utbrett som förvätskning av biogas som uppgraderats med konventionella tekniker.

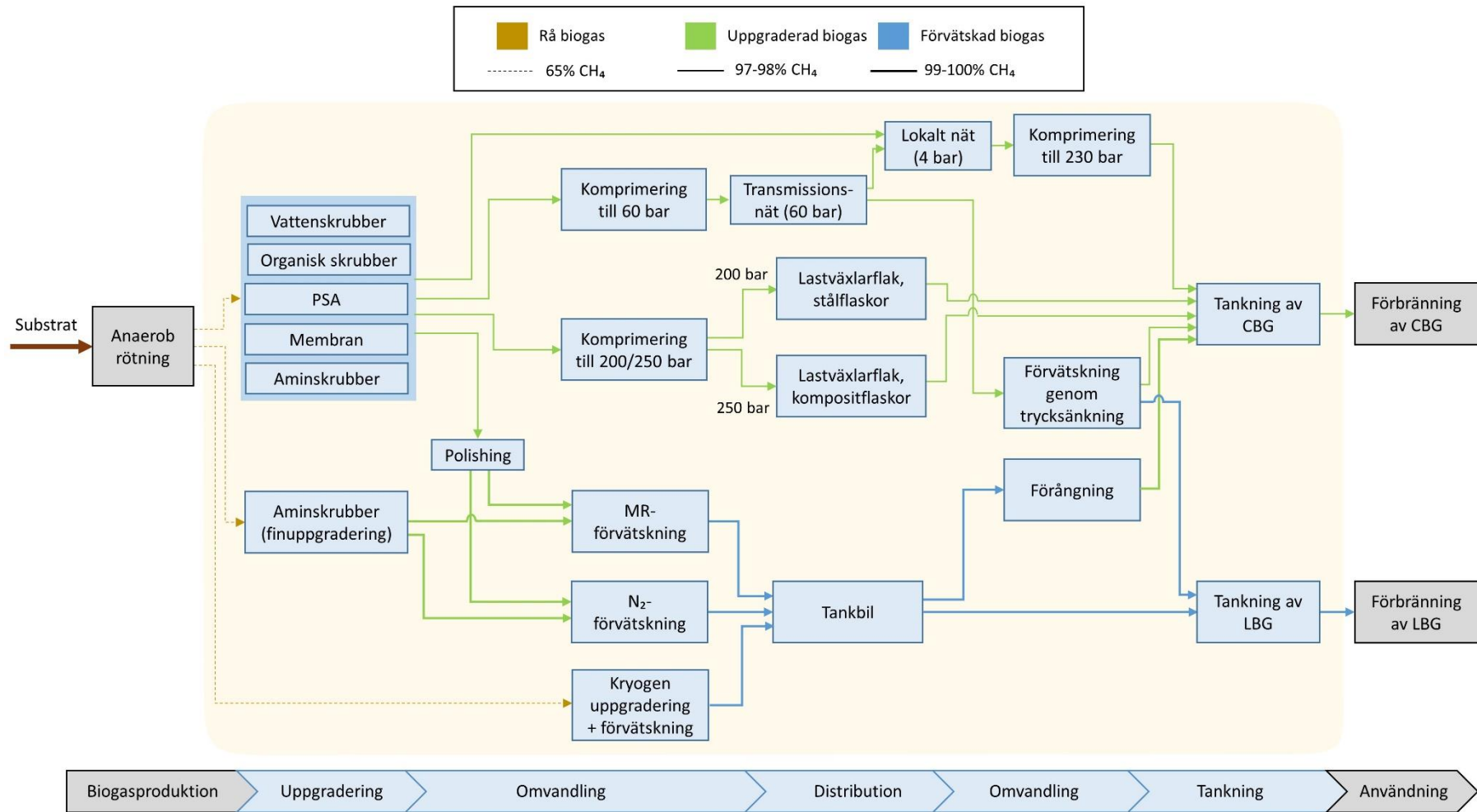
Biogasens väg till pumpen

I Sverige är naturgasnätet inte lika utbyggt som i övriga Europa. Den uppgraderade biogasen transporteras därför ofta i stål- eller kompositflaskor på lastväxlarflak, komprimerad till 200 – 250 bar, med undantag för västkusten och några lokala stadsnät [4]. De nyare kompositflaskorna har större

kapacitet och är lättare än de äldre stålflaskorna, vilket ger en lägre specifik transportkostnad, dock till en högre investeringskostnad. Upp till tre flak kan transporteras med en lastbil. Förvätskad gas kan transporteras i tankbilar med omkring tre gånger större kapacitet än tre lastväxlarflak med kompositflaskor och åtta gånger större jämfört med tre lastväxlarflak med stålflaskor [4]. De många tillgängliga teknikerna för uppgradering, förvätskning och distribution av biogas ger omkring 50 möjliga scenarier för gasens väg till användaren (Figur 1). Detta inkluderar inte olika substratsammansättningar och tekniker för att producera rå biogas, som här har antagits vara lika för alla scenarier.

Som tidigare nämnts kan omvandling från gas till vätska användas som ett sätt att möjliggöra distribution av biogas över längre distanser där det saknas gasnät. Om det däremot finns ett gasnät och ett behov av flytande gas hos användaren kan förvätskning ske vid tankstället genom att sänka trycket på gasen och utnyttja kyleffekten som uppstår för att göra ett delflöde av gasen (ca 10 %) flytande [6]. Vid distribution av biogas i transmissionsnät (60 – 70 bar) tillsätts vanligen omkring 8 vol-% gasol för att anpassa gasen till värmevärdet hos naturgas. I lokala nät är det oftast biogasen som är referensen för gaskvalité, och där tillsätts därför ingen gasol [6].

Kryogena tekniker har i allmänhet höga krav på CO₂-halt, eftersom CO₂ fryser eller kondenserar vid en högre temperatur än metan och kan skapa problem i processen [3], [7]. Riktvärdet som används är 50 ppm. Av de konventionella teknikerna för uppgradering av biogas är det endast aminskrubbern som, genom att lägga till ett extra steg, kan klara av att möta kravet på CO₂-halt. Övriga uppgraderingstekniker kräver ytterligare finputsning ("polishing") av den uppgraderade gasen före förvätskning, vilket vanligen görs genom PSA. Vid förvätskning genom trycksänkning kan en högre CO₂-halt hanteras, upp till 2,5 %, eftersom den koldioxid som kondenserar förångas via en värmeväxlare [6].

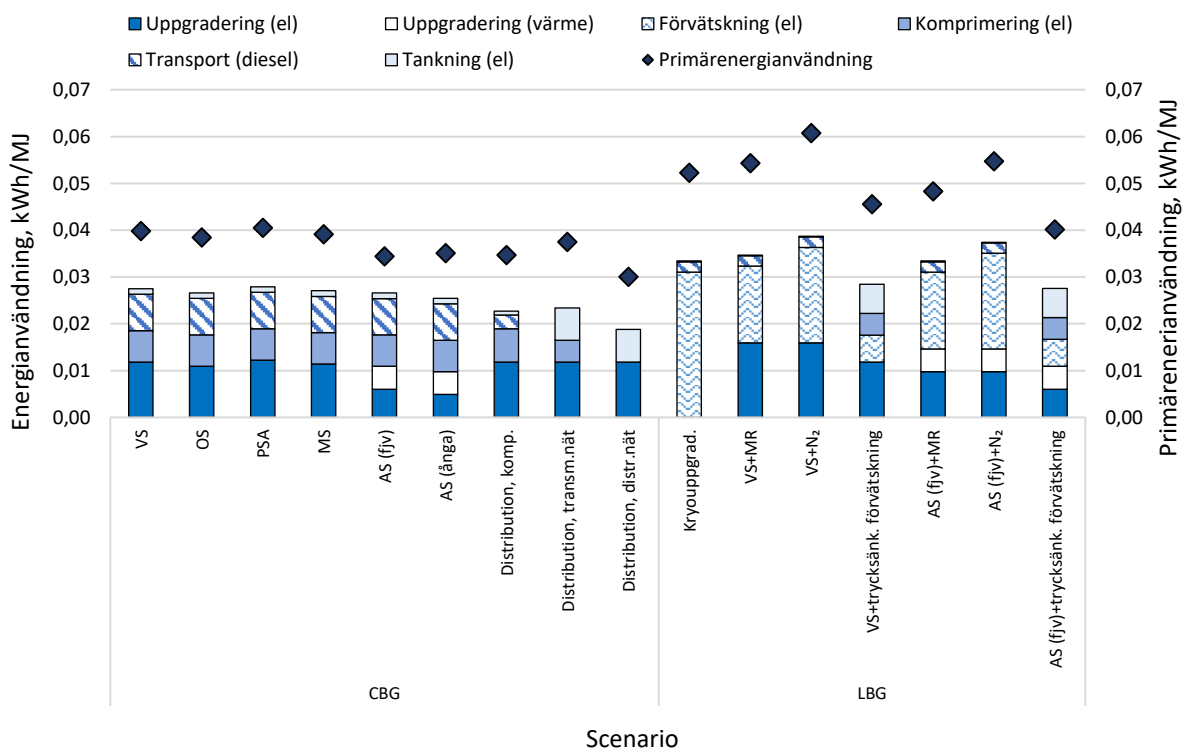


Figur 1 – Schematisk bild av de beaktade scenarierna för uppgradering, förvätskning och distribution av biogas

Energibalans

Energianvändningen för olika scenarier för uppgradering, förvätskning och distribution av 1 MJ biogas visas i Figur 2. Som distributionsform för CBG har valts lastväxlarflak med stålfaskor, som är det vanligaste sättet att distribuera gas idag. Alla konventionella uppgraderingstekniker har ungefär lika stor elanvändning, utom aminskrubbern som använder hälften så mycket el, men därtill en nästan lika stor mängd värme. Bland teknikerna för förvätskning av biogas har N₂-cykeln och kryogen uppgradering likartad energianvändning, medan MR-cykeln energianvändning är lägre och alternativet med förvätskning genom trycksänkning ytterligare något lägre. För N₂-cykeln och MR-cykeln är energianvändningen något högre än för uppgraderingen som sker före förvätskningen. Aminskrubbern kräver mindre energi än vattenskrubbern och övriga uppgraderingstekniker för att nå den CO₂-halt som krävs för förvätskning. Primärenergianvändningen står överlag i proportion till den slutliga energianvändningen; dock värderas elanvändning högre i ett primärenergiperspektiv än användning av värme eller diesel.

I figuren visas energianvändningen för distribution över en sträcka på 100 km. För så korta avstånd kan den effektivare transporten av flytande gas inte kompensera för den ökade energianvändningen för förvätskning. Vid längre sträckor blir valet av metod för distribution snabbt avgörande och av större betydelse än valet av uppgraderingsteknik.

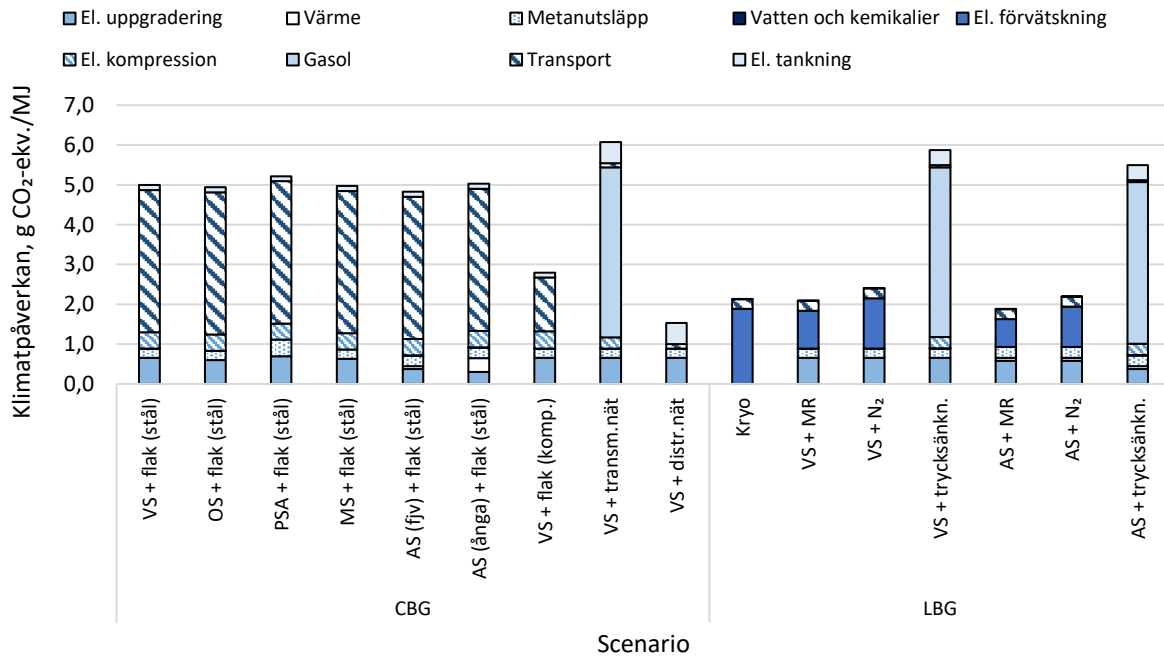


Figur 2 – Specifik energianvändning per process samt total primärenergianvändning för olika scenarier för produktion och distribution av CBG och LBG, vid 100 km distribution

Klimatpåverkan

Skillnaderna i energianvändning mellan olika tekniker avspeglar sig även i deras respektive klimatpåverkan (Figur 3). Här får dock distributionsfasen ett större genomslag; redan vid 100 km har distribution med lastväxlarflak större klimatpåverkan än uppgradering. Störst klimatpåverkan har de

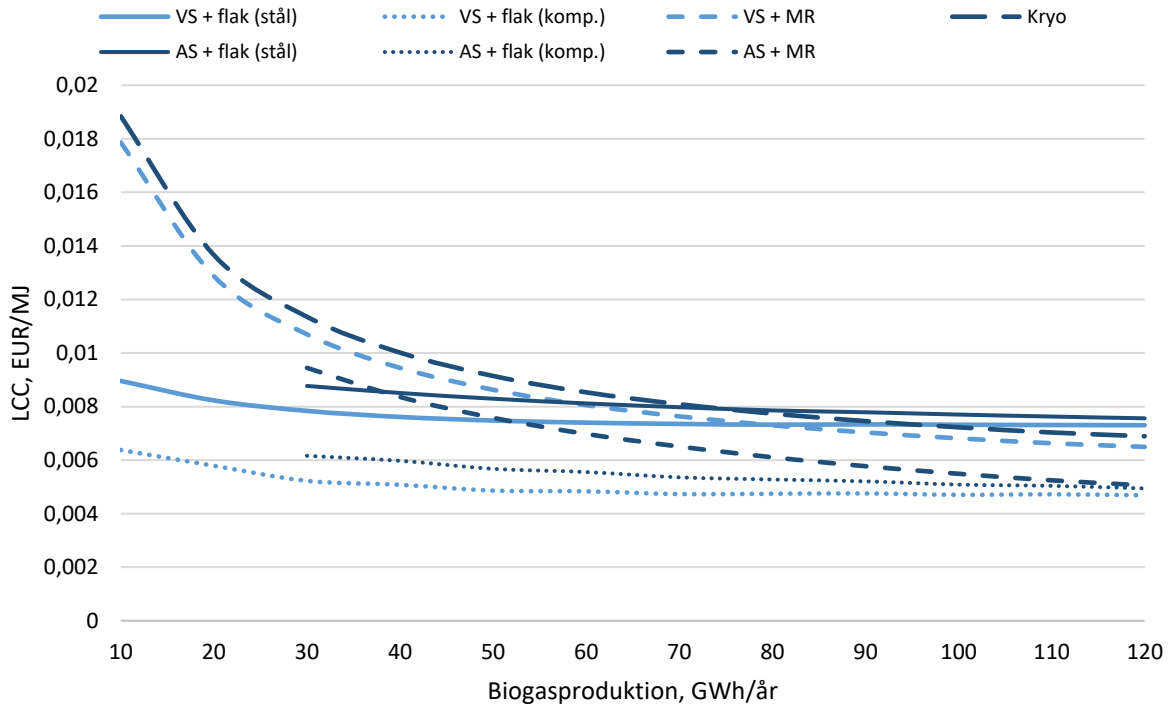
scenarier som innefattar distribution i transmissionsnät (60 – 70 bar), på grund av tillsatsen av gasol. Det kan jämföras med ett lokalt distributionsnät, som inte kräver gasoltillsats och har lägre klimatpåverkan än samtliga uppgraderingstekniker. Användning av vatten och kemikalier har liten klimatpåverkan jämfört med energin som används; däremot kan metanutsläpp ha relativt stor påverkan på klimatet, i synnerhet om de inte (som här) regleras genom katalytisk förbränning som omvandlar metanet till koldioxid.



Figur 3 – Specifik klimatpåverkan för olika scenarier för produktion och distribution av CBG och LBG, vid 100 km distribution

Ekonomisk analys

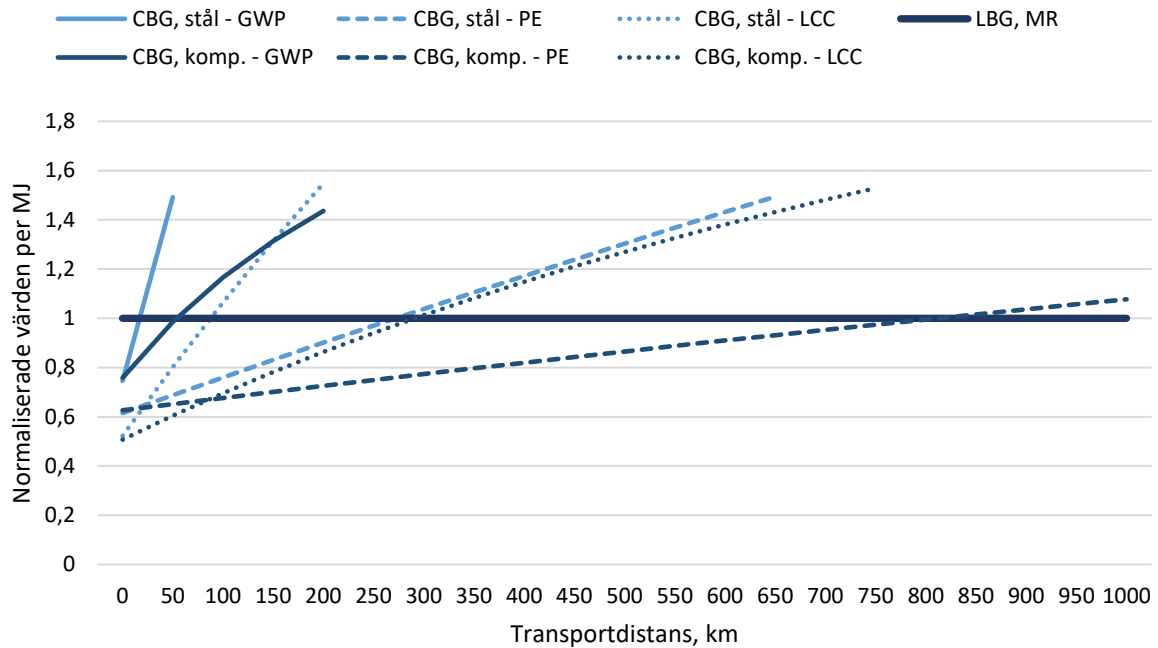
Ur ekonomisk synvinkel finns det klara fördelar med storskalig produktion, framförallt när det gäller flytande gas (Figur 4). För ett scenario med MR-förvätskning och distribution över 100 km blir livscykelkostnaden dubbelt så hög vid en årlig produktion av 10 GWh/år som vid 120 GWh/år. I figuren visas scenarier med vattenskrubber/aminskrubber och MR-förvätskning, samt kryogen uppgradering och förvätskning. Vattenskrubbern har en lägre total kostnad än aminskrubbern, förutom i fall då biogasen ska förvätskas, eftersom det extra finreningssteget ökar energianvändningen. Vid den här sträckan blir aminskrubber + MR-förvätskning ekonomiskt fördelaktigt gentemot CBG i stålflaskor för anläggningar med kapacitet över 30 – 40 GWh/år och bättre än CBG i kompositflaskor kring 120 GWh/år.



Figur 4 – Livscykelkostnad för olika scenarier för produktion och distribution av CBG och LBG som funktion av årlig produktion, vid 100 km distribution

Break-even för transport

I Figur 5 illustreras brytpunkterna i transportdistans där det blir mer energieffektivt, kostnadseffektivt och ger lägre klimatpåverkan att förvätska och distribuera biogas i flytande form än att distribuera den i komprimerad form. Värdena i figuren gäller för distribution per lastbil med två lastväxlarflak respektive tankbil med 25 ton LBG, och är normaliserade mot scenariot "LBG, MR", som innefattar uppgradering med vattenskrubber, förvätskning genom MR-teknik och transport med tankbil. Scenarierna med transport på lastväxlarflak inkluderar också vattenskrubber som uppgraderingsteknik. Att förvätska och distribuera gasen i flytande form ger lägre klimatpåverkan än transport på lastväxlarflak med stålflaskor vid avstånd över 16 km med MR-förvätskning och över 26 km med N₂-förvätskning. Lastväxlarflak med kompositflaskor har lägre klimatpåverkan än transport i flytande form upp till 54 km för MR-förvätskning och 90 km för N₂-förvätskning. Lägst klimatpåverkan ger dock distribution i gasnät (ej med i figuren), förutsatt att det är tillgängligt och inte kräver propantillsats. För livscykelkostnad ligger brytpunkterna vid 90 km och 105 km för stålflaskor gentemot MR- respektive N₂-förvätskning och vid 290 km respektive 350 km för kompositflaskor. Även här är gasnätet det bästa alternativet, åtminstone om det finns tillgängligt och inte kräver investering för utbyggnad. Ur ett primärenergiperspektiv blir brytpunkten för transportdistans längre (270 – 360 km respektive 810 – 1070 km), då dieseln som används i lastbilarna har en lägre primärenergifaktor än elektriciteten som används i uppgradering och förvätskning. Nyttjande av befintligt gasnät kräver mindre primärenergi än övriga transportalternativ.



Figur 5 – Relativ klimatpåverkan, primärenergianvändning och livscykelkostnad för olika distributionsalternativ i förhållande till ett scenario med förvätskning genom MR-teknik och transport i kryo-tank

Diskussion och slutsatser

I ett framtida scenario där produktion av biogas centraliseras till storskaliga anläggningar kan vägen till marknaden bli lång, vilket ställer krav på effektiva transporter med låg kostnad och minimal klimatpåverkan. Flytande biogas (LBG) öppnar nya marknader för biogas; dels genom möjlighet till användning i tunga transporter och sjöfart, dels genom effektivare distribution till användare av CBG. En tankbil med LBG kan transportera bränsle med omkring tio gånger så högt värmevärde som en lastbil med CBG i stålflaskor på lastväxlarflak, vilket gör att distribution i form av LBG kan bli ekonomiskt fördelaktigt vid sträckor över 90 km och ge minskad klimatpåverkan redan vid 16 km. I avsaknad av ett nationellt distributionsnät för biogas och naturgas kan förvätskning därför bli en genväg till en geografisk expansion av biogasmarknaden.

Skillnaderna mellan olika uppgraderingstekniker är relativt små när det gäller energianvändning, miljöpåverkan och kostnad. Aminskrubbern utmärker sig genom en lägre elanvändning än övriga och kan uppnå lägre CO₂-halt i den uppgraderade gasen, vilket är särskilt fördelaktigt då biogasen ska förvätskas. Kryogen uppgradering och förvätskning är inte en mogen teknologi på samma sätt som de mer konventionella sätten att behandla biogas. En möjlig fördel med processen är att den innefattar produktion av torris (flytande CO₂), som skulle kunna användas för att ersätta annan produktion av torris för användning inom t.ex. livsmedelsindustri eller kyltransporter. Det är även möjligt att ta tillvara på CO₂ som separerats från biogas vid andra uppgraderingsprocesser, men kräver då ett särskilt nedkylningssteg för koldioxiden.

Storleken på en biogasanläggning har stor betydelse för driftskostnaden. Mogna och etablerade tekniker tenderar att bli mer effektiva, men för att producera flytande eller komprimerad biogas krävs ändå en viss skala och ett visst produktionsflöde. Det gäller framförallt förvätskning av biogas, som blir konkurrenskraftigt först kring 30 – 40 GWh/år. För större anläggningar finns det å andra sidan mycket

att tjäna på att producera LBG, då det möjliggör att nå ut över ett större område, såväl som användning inom tunga transporter.

Denna studie har finansierats av Biogas Research Center (BRC), som i sin tur finansieras av Energimyndigheten. Vi vill även rikta ett tack till referensgruppen: Lars-Evert Karlsson, Wärtsilä; Erik Nordell, Tekniska Verken Linköping; Markus Olsson, Gasum; samt Jörgen Ejlertsson, Anna Karlsson, Xu-Bin Truong och Björn Magnusson, Scandinavian Biogas.

Referenser

- [1] T. Persson och D. Baxter, "Task 37 Biogas Country Overview", IEA Bioenergy, 2014.
- [2] K. Hoyer, C. Hulteberg, M. Svensson, J. Jernberg, och Ø. Nørregård, "Biogas upgradering - Technical review", Energiforsk, 2016:275, 2016.
- [3] F. Bauer, C. Hulteberg, T. Persson, och D. Tamm, "Biogas upgradering - Review of commercial technologies", Svenskt Gastekniskt Center, SGC 2013:270, 2013.
- [4] J. Benjaminsson och R. Nilsson, "Distributionsformer för biogas och naturgas i Sverige", Grontmij, 2009.
- [5] A. Pettersson, M. Losciale, och S. Liljemark, "LCMG - pilotprojekt för LMG som fordonsbränsle i Sverige", Svenskt Gastekniskt Center, SGC 177, 2007.
- [6] A. Pettersson, M. Losciale, och S. Liljemark, "LCNG-studie - möjligheter med LNG i fordonsgasförsörjningen i Sverige", Svenskt Gastekniskt Center, SGC 167, 2006.
- [7] K. Tybirk, F. E. Solberg, P. Wennerberg, F. Wiese, och C. G. Danielsen, "Biogas Liquefaction and use of Liquid Biomethane. Status on the market and technologies available for LNG/LBG/LBM of relevance for biogas actors in 2017", 2018.