

LIGHTHOUSE REPORTS

Förnybar flytande biogas (LBG) till sjöfart i praktiken



En förstudie utförd inom Trafikverkets branschprogram
Hållbar sjöfart som drivs av Lighthouse. Publicerad februari 2024

Förnybar flytande biogas (LBG) till sjöfart i praktiken



Författare

Desirée Grahn, Anders Hjort, Karl Jivén, IVL Svenska Miljöinstitutet

Ellinor Forsström, Jonatan Gehandler, Sixten Dahlbom, RISE

I samarbete med

Göteborgs Hamn, Gävle Hamn, Terntank, Furetank, Biogas Syd, Biogas Sydost, Energigas Sverige, Wallenius Sol och Wallenius Marine

IVL rapportnr. C10034

ISBN nr. 978-91-7883-702-1

Summary

Reducing the environmental and climate impact of shipping propelled by liquefied natural gas (LNG) requires the introduction of alternative fuels such as liquid biogas/biomethane (LBG) (Jivén et al., 2022). Today, only a small part of the biomethane produced in Sweden is liquefied into LBG and an even smaller part is used as fuel for shipping.

The price and availability of biogas is governed by supply and demand in an international market where shipping, industry and heavy trucks demand biogas. The biogas then needs to be processed into upgraded biogas (biomethane) or LBG quality in order to be transported and used in the respective sectors inside and outside of Sweden. The trend is for a larger proportion of biogas to be liquefied into LBG. The market has thus gone from a local market, where biogas was produced in the city's wastewater treatment plant and the city buses ran on biogas, to an international market where biogas often is transported in the same way as fossil gas and marketed using the fossil gas together with certificates.

The project "*Renewable liquid biogas (LBG) for shipping in practice*" was carried out by IVL Swedish Environmental Research Institute and RISE in 2023 together with stakeholders from the shipping sector, ports and industry organizations for biogas. The project has studied the conditions required to make LBG available to shipping in practice at Swedish ports.

The study shows that the major obstacles to an established use of LBG in the shipping sector in Sweden today are pricing/willingness to pay that is affected by international market prices, lack of suitable logistical solutions as well as the absence of the piece of the puzzle that is the business model and cooperation needed to make available the large volumes of biogas that shipping may demand. The stakeholders in the project estimate their total need of biogas to 3 TWh in a short term, and 10 TWh in a longer term.

The project has identified a number of conclusions and recommendations for future work, including that the potential for biogas is large and untapped, but that new solutions for the distribution and logistics of LBG are needed. There is a clear interest from maritime actors as they see biogas as a strategic solution and the dialog between actors in the industry remains important. A change in the tax system could be needed so that more actors can use the green gas principle for LBG. In addition, a functioning "marketplace" is needed, which simplifies for sellers and buyers of LBG, and agreements/contracts are needed that are long-term and to a greater extent based on the costs of producing and providing LBG.

Sammanfattning

För att minska miljö- och klimatpåverkan från sjöfart som använder flytande naturgas (LNG) krävs introduktion av alternativa bränslen såsom flytande biogas (LBG) (Jivén et al., 2022). Idag är det bara en liten del av den biogas som produceras i Sverige som förvätskas till LBG och en ännu mindre del som används som bränsle för sjöfarten.

Pris och tillgång på biogas styrs av utbud och efterfrågan på en internationell marknad där sjöfart, industrin och tunga lastbilar efterfrågar biogas. För att kunna användas inom transportsektorn så behöver den producerade biogasen förädlas till uppgraderad biogas (biometan) eller förvätskas till LBG för att kunna transporteras och användas i respektive sektor i och utanför Sverige. Utvecklingen går mot att en större andel biogas förvätskas till LBG. Marknaden har därmed gått från en lokal marknad där biogasen producerades i stadens reningsverk och stadsbussarna kördes på biogasen till att bli en internationell marknad där biogasen många gånger transporteras på samma sätt som fossilgas och saluförs med hjälp av fossilgasen ihop med certifikat.

Projektet ”*Förnybar flytande biogas (LBG) till sjöfart i praktiken*” genomfördes av IVL Svenska Miljöinstitutet och RISE under 2023 tillsammans med aktörer från sjöfartssektorn, hamnar och branschorganisationer för biogas. Projektet har studerat vilka förutsättningar som krävs för att tillgängliggöra LBG till sjöfart i praktiken vid svenska hamnar.

Studien visar att de stora hindren för en etablerad användning av LBG inom sjöfartssektorn i Sverige idag är prissättning/betalningsvilja som påverkas av internationellt marknadspris, brist på lämpliga logistiska lösningar liksom avsaknad av pusselbiten som är den affärsmodell och det samarbete som behövs för att tillgängliggöra de stora volymer biogas som sjöfarten kan komma att efterfråga. Av de aktörer som ingår i projektet så uppskattar dessa ett behov på drygt 3 TWh på kort sikt och närmare 10 TWh på längre sikt.

Projektet har identifierat ett antal slutsatser och rekommendationer för arbetet framöver, bland annat att potential för biogas är stor och outnyttjad men att nya lösningar för distribution och logistik av LBG behövs. Det finns ett tydligt intresse från sjöfartsaktörer då de ser biogas som en strategisk lösning och dialogen mellan aktörer inom branschen är fortsatt viktig. Det behövs möjligen en förändring av skattesystemet så att fler aktörer kan använda sig av gröngasprincipen även för LBG. Dessutom behövs en fungerande ”marknadsplats”, som förenklar för säljare och köpare av LBG, samt överenskommelser/avtal som är långsiktiga och i större grad grundar sig på kostnaderna för att producera och tillhandahålla LBG.

Förkortningar

Biogas	En blandning av metan (CH ₄) och koldioxid (CO ₂), samt små mängder andra gaser, som produceras genom anaerob rötning av organiska material. Biogas kan även produceras genom exempelvis förgasning och kallas då syngas.
BLEVE	Boiling liquid expanding vapor explosion
EMSA	Europeiska sjösäkerhetsbyrån (En. European Maritime Safety Agency)
Fossilgas	Naturgas
IMO	International Maritime Organization
IACS	International Association of Classification Societies
iLUC	Indirekt förändrad markanvändning
ISCC	International Sustainability & Carbon Certification
KLIMP	Klimatinvesteringsprogrammen
LBE	Lagen om brandfarliga och explosiva varor
LBG	Flytande biogas (En. Liquefied biogas, Bio-LNG eller Liquefied Biomethane)
1 kg LBG	motsvarar ca 13 kWh
1 GWh	motsvarar ca 75 ton LBG
1 TWh	motsvarar ca 75 000 ton LBG
LIP	Lokala investeringsprogram
LNG	Flytande naturgas (En. Liquefied natural gas)
LPG	Gasol (En. Liquefied petroleum gas)
MIE	Minsta antändningsenergi (En. Minimum ignition energy)
QRA	Kvantitativ riskbedömning (En. Quantitative risk assessment)
RPT	Snabb fasövergång (En. Rapid phase transition)
SBT	Science Based Targets
SEP	Ytstrålningseffekt (En. Surface emissive power)

Rapporten använder benämningen biogas som samlingsnamn för olika typer av metan från förnybara källor. Biogas kan då innebära: rå biogas, rågas, fordonsgas, uppgraderad biogas, syngas, biometan, LBG, LBM och Bio-LNG. Författarna är däremot medveten om att

- vissa stödsystem enbart talar om biometan eller uppgraderad biogas vilket utesluter rågas, rå biogas

- att det krävs en annan kvalitet på biogas än ”rågaskvalitet” för att förvätska till LBG, LBM eller Bio-LNG alternativt mata ut på naturgasnätet. Denna kvalitet är lika med ren biometan.
- handel med certifierad biogas kräver också att det är ren biometankvalitet

Innehåll

1	Inledning och syfte.....	7
1.1	Syfte.....	8
1.2	Avgränsningar	8
2	Metod.....	9
2.1	Projektets referensgrupp.....	9
2.2	Kartläggning	9
2.3	Intervjuer.....	9
2.4	Workshop.....	10
2.5	Risk- och säkerhetsfrågor	10
3	Förutsättningar.....	11
3.1	Tillgång till flytande biogas (LBG).....	11
3.2	Infrastruktur	13
3.3	Politiskt beslutade styrmedel som påverkar prisbilden på LBG i Sverige	16
3.4	Affärsrelaterade aspekter	20
4	Massbalans eller fysisk transport.....	27
4.1	Hur går det till?	27
4.2	Sammanställning av för och nackdelar	28
5	Risker och riskhantering med LBG-bunkring.....	30
5.1	Karaktäristiska egenskaper för LBG	30
5.2	Generisk bunkringsprocedur	33
5.3	Risker	34
5.4	Tillstånd för hantering av brandfarlig vara	39
6	Diskussion.....	40
6.1	Hur säkerställs tillgång till de volymer som efterfrågas?	40
6.2	Smarta avtal är viktigt	41
6.3	Inga tekniska hinder identifierade gällande att ersätta LNG med LBG ...	42
7	Slutsats och rekommendationer.....	43
8	Referenser	45

1 Inledning och syfte

För att minska miljö- och klimatpåverkan från sjöfart krävs introduktion av alternativa bränslen såsom flytande biogas (LBG, liquefied biogas, Bio-LNG eller liquefied Biomethane på engelska). År 2021 förbrukades totalt cirka 500 TWh bunkerbränsle inom sjöfartssektorn inom EU och cirka 25 TWh (5 %) av detta uppskattas vara LNG (flytande naturgas/liquefied natural gas) (European Commission, 2023).

Den totala bunkringen av fartyg i Sverige motsvarar cirka 30 TWh bränsle per år (2021) varav ca 7 % utgörs av LNG (Energimyndigheten, 2023a). I projektet ”*Can LNG be replaced with Liquide Bio-Methane (LBM) in shipping*” gjordes en uppskattning av hur stor andel av den totala bunkringen som kan tänkas bli LNG och stor volym det skulle motsvara. Studien konstaterar att om 15 % av den totala bunkringen i Sverige skulle vara LNG, så skulle det motsvara cirka 4 TWh LNG. (Jivén et al., 2022) Det utgör då potentialen för biogasanvändningen i sjöfarten. Det förutsätter dock att biogaens är i flytande form och idag är det bara en liten del av den biogas som produceras i Sverige som förvätskas till LBG, och en ännu mindre del som går till sjöfarten. Nyttan med att öka användandet av LBG producerad i Sverige är att det bidrar till ökad hållbarhet för sjöfarten eftersom LBG har:

- god klimatprestanda (Jivén et al., 2022).
- LBG kan även bidra till produktion av biogödsel till jordbruket som kan ersätta importerad, fossil mineralgödsel.
- möjlighet att bidra till en ökad social hållbarhet genom ökad försörjningstrygghet eftersom LBG kan bidra till utfasning av importerad naturgas.
- möjlighet att bidra till ökad ekonomisk hållbarhet genom att inhemsk producerad och bunkrad LBG i Sverige kan innebära

Biogödsel

Biogödsel minskar behovet av importerad mineralgödsel. Biogödsel är ett viktigt organiskt gödselmedel i lantbruket och tillför marken både mull och växtnäringsämnen. Om t ex allt matavfall från hushållen i Sverige samlas in, rötas och används som växtnäring räcker det för att ersätta 7 % av det fosfor som importeras i form av mineralgödsel. Källa: (Biogödsel.se, 2022)

att sjöfartsaktörerna kan undvika den senaste tidens höga priserna på importerad LNG och LBG (Observera att marknadspriset på LBG som bunkras i Sverige kan följa det internationella marknadspriset på LNG och även påverkas av utbud och efterfrågan av LBG på en internationell marknad. Det innebär att utöver marknadspriset på LNG kan även en möjlig marknad med högre betalningsvilja än i Sverige påverka priset på LBG producerad i Sverige).

Tillväxten av fartyg som kan drivas med LNG har ökat stadigt över åren. Idag är knappt 6 procent av världens fartyg (mätt i Gross tonnage kapacitet) möjliga att driva med LNG men ser man på de fartyg som idag ligger i order hos varv att byggas kommer över 40 procent av dessa att kunna drivas med LNG eller flytande biogas (LBG). Mätt i antal fartyg finns idag i flottan globalt drygt 1 000 fartyg som kan drivas med LNG och drygt 800 fartyg till ligger redan i order. (DNV, 2023)

1.1 Syfte

Projektet ”Förnybar flytande biogas (LBG) till sjöfart i praktiken” har genomförts under 2023 med det övergripande målet att studera vilka förutsättningar som krävs för att etablera användning av LBG som bränsle inom sjöfarten i Sverige.

Målet med detta projekt var att bedöma regional potential hos utvalda hamnar och regionala förutsättningar för att förse fartyg med förnybar flytande biogas (LBG) med hjälp av olika infrastrukturlösningar i dessa hamnar. Projektet ämnade att ge ökad kunskap om potentialen för LBG vid hamnar (inklusive logistik, kostnader och säkerhet) och i vilken utsträckning fysisk transport av inhemskt producerad biogas/LBG är ett intressant alternativ för sjöfartssektorn. Säkerhetsfrågor som är aktuella vid etablering av LBG i hamnar har översiktligt studerats.

Studien har genomförts med hjälp av litteratursökningar, intervjuer och workshop. Säkerhetsdelarna av rapporten baseras i stor utsträckning på litteratur om LNG då LBG i sin sammansättning är väldigt lik LNG (European Maritime Safety Agency (EMSA), 2018). Målgrupper för projektresultat är fartygsägare, bränsleproducenter, beslutsfattare, tillsynsorgan och andra aktörer med intresse av marina bränslen.

Projektet har arbetat brett med frågeställningen kring att få till ökad produktion och användning av biogas i svenska hamnar. Fokus har lagts på de områden som i tidigare studier identifierats som viktiga att arbeta med såsom förverkligande av potential för hållbar produktion av biogas och hur det stora intresset för LBG bland svenska rederier kan förvaltas.

1.2 Avgränsningar

En ökad efterfrågan på biogas i Sverige innebär inte nödvändigtvis att det etableras mer biogasproduktion i Sverige (eftersom en viss volym kan importeras) men det kan skapa incitament för att flera produktionsanläggningar för biogas och LBG realiserar. Utöver biogas så produceras även biogödsel vid rötning av organiskt avfall och möjligheten till ökad användning av biogödsel är en indirekt effekt av ökad produktion av biogas, vilket inte utreds i detta projekt men är viktigt för att minska användningen av importerat fossil mineralgödsel.

Fokus i avsnitt 5 har varit på bunkring av LBG från lastbil till fartyg medan eventuell lagring av LBG i hamnen inte har beaktats. I bilaga 2 sammanfattas även en del av den litteratur och de standarder som finns publicerade inom området.

Vidare är kapitel 5 begränsad i sin omfattning och är därför inte heltäckande. Istället belyses utvalda risker och skyddsåtgärder samt ges referenser till ett antal av de standarder och rapporter som finns publicerade inom området. Fokus för studien är risker kopplade till LBG och i viss utsträckning att ge förslag på riskminimerande åtgärder. Följande aspekter har inte beaktats: eventuella passagerare/tredje part, simultana aktiviteter och farligt gods i omgivningen.

Rapportens avsnitt kopplat till risker gör alltså inte anspråk på att vara en komplett riskutredning, utan syftar till att ge en första orientering inom området bunkring av LBG i svenska hamnar.

2 Metod

Nedan beskrivs de olika delarna av projektet som summeras och analyseras i denna rapport.

2.1 Projektets referensgrupp

Projektet har haft en referensgrupp som har mötts kontinuerligt under projektet för att ge input på projektets arbete och besvarat frågor från projektgruppen. Referensgruppen har mötts tre gånger under året och har bestått av representanter ifrån Biogas Syd, Energigas Sverige, Furutank, Terntank, Wallenius Sol, Wallenius Marine, Biogas Sydost, Göteborgs hamn och Gävle hamn.

2.2 Kartläggning

Den inledande kartläggningen genomfördes för att få en överblick över produktionskapaciteten för biogas i Sverige idag, både i drift och planerad. Kartläggningen baserades på tidigare genomförd kartläggning av Jivén et al (2022) och med en uppdatering av resultat inom ramen för Klimatklivet¹ (Jivén et al., 2022; Naturvårdsverket, 2023, personal communication, November 23, 2023). Bland annat gjordes en genomlysning av vilka ansökningar som har skickats in till Klimatklivet och vilka av dessa som har beviljats. Under kartläggningen och när det inte framgick i underlaget så gjordes antaganden kring produktionskapacitet samt vad biogasen ska användas till. Resultatet av den initiala kartläggningen redovisas i avsnitt 3.1.

2.3 Intervjuer

Under våren 2023 genomfördes ett tiotal intervjuer med aktörer från sjöfartsbranschen samt representanter från biogasbranschen. Intervjuerna var semistrukturerade² och svaren nedtecknades under intervjuerna. Frågorna som ställdes finns i Bilaga 1.

De aktörer som intervjuades var:

- Rederier inkluderandes Terntank, Furetank, Wallenius Sol och Wallenius Marine

¹ Nationellt investeringsstöd till åtgärder som minskar utsläppen av koldioxidekvivalenter.

² Innebär att frågorna är förutbestämda och alla frågor ställs till samtliga kandidater, i samma följd. Därefter väljs följdfrågor utifrån det som kandidaten berättar.

- Branschorganisationer i form av Energigas Sverige, Biogas Syd, Biogas Sydost och Biodriv Öst
- Hamnar genom Gävle Hamn och Göteborgs Hamn
- Energi- och infrastrukturbolag i form av St1 och Nordion Energi

2.4 Workshop

I oktober 2023 genomfördes en heldagsworkshop med representanter från sjöfartsbranschen och biogasbranschen. Exempel på frågor som diskuterades var:

- Tillgång till biogas och utveckling av efterfrågan från sjöfartsbranschen
- Politik och styrmedel
- Distribution till hamnar
- Andra tekniska och säkerhetsmässiga frågor (kvalitet, förvätskningsteknik, logistik, övrig teknisk utveckling mm)
- Affärsrelaterade frågor

På workshopen deltog 25 representanter från rederier, energibolag, hamnar, intresseorganisationer, forskningsinstitut och forskningsfinansiärer.

2.5 Risk- och säkerhetsfrågor

Gällande analysen av Risker och riskhantering med LBG-bunkring utgår analyserna från en behovsutvärdering som genomförts i samarbete med referensgruppen, genom intervjuer och under projektets workshop. Behovet av inventering och beskrivningar kopplat till risker ansågs vara störst för hamnar där man tidigare inte hanterat LNG eller LBG och där ett informationsmaterial med vägledning för vad en hamn behöver tänka på, tex när ett fartyg skulle vilja bunkra LBG med lastbil, skulle vara värdefull. Rapportens avsnitt kopplat till risker gör alltså inte anspråk på att vara en komplett riskutredning, utan syftar till att ge en första orientering inom området bunkring av LBG i svenska hamnar.

I Bilaga 2 till rapporten finns en sammanfattning av publikationer som kan vara av intresse för den som avser att hantera LBG. En fullständig utvärdering av litteratur har inte genomförts utan genomlysningen har varit översiktlig. Därför presenteras viss litteratur med en kortare sammanfattning, medan annan litteratur bara pekas ut som intressant.

3 Förutsättningar

I följande avsnitt redovisas de förutsättningar som har identifierats som viktiga för att användningen av LBG inom sjöfarten ska kunna växa med fokus på svenska förhållanden. Resultaten baseras på den information som har framkommit inom projektet genom litteraturstudier, under intervjuer, workshop och referensgruppsmöten.

3.1 Tillgång till flytande biogas (LBG)

Tillgången på LBG på en viss plats beror på flertalet faktorer där tillgången på de kvantiteter organiskt avfall som krävs för att producera biogas och förvätska denna samt kostnad för transport av avfall, biogödsel och LBG påverkar om det går att få LBG på rätt plats till rätt pris.

Priset på LBG är en annan viktig faktor som styrs av utbudet och efterfrågan av biogas/LBG på en konkurrensutsatt marknad som bland annat påverkas av olika former av styrmedel som kan vara långsiktiga, kortsiktiga och skilja sig åt mellan länder.

Även storleken på anläggningen påverkar produktionspriset för LBG där det finns skalfördelar som innebär att större produktions- och förvätskningsanläggningar vanligtvis kan producera LBG till ett billigare pris än mindre anläggningar.

Dagens situation

I Sverige producerades ca 2,3 TWh biogas år 2022 varav ca 1,5 TWh uppgraderades till naturgaskvalitet och ca 0,2 TWh av denna volymen förvätskades till flytande LBG (Energigas Sverige, 2023). Som jämförelse så produceras det i dagsläget ca 35 TWh biogas i EU (European Biogas Association, 2023).

Efterfrågan på biogas i Sverige inom segmenten industri och landtransport har sjunkit på senare år, vilket återspeglas i att mindre biogas har importerats från andra länder (Energigas Sverige, 2023). Detta kan enligt flera aktörer bero på att biogasen har fått samma energi och koldioxidskatt som naturgas och propan vilket innebär att biogasen blir dyrare för slutkonsumenten än tidigare (SVT Nyheter, 2023).

Utbudet av inhemsk producerad biogas som vidareförädlas till biogas och eller LBG har däremot inte minskat utan i stället ökat eftersom det har uppstått en ökad efterfrågan från andra marknader och länder, som exempelvis Tyskland (Biokraft, 2023), där biogasen gynnas genom andra statliga styrmedel. En överblick över stödsystem i Tyskland [återfinns här](https://www.energigas.se/media/k4pokcvl/4_3-tatiana-demeusy.pdf)³. Systemet betalar en premie till

³ https://www.energigas.se/media/k4pokcvl/4_3-tatiana-demeusy.pdf

producenter av förnybar energi, utöver det marknadspris de får för att sälja sin el. Små producenter kan få en inmatningstariff som ger ett garanterat pris för deras el.

2022 importerades det mindre biogas till Sverige än år 2021 och importen var ca 1,9 TWh biogas via det sydvästsvenska gasnätet via Danmark (Energigas Sverige, 2023). Nettoimporten av flytande biogas (LBG) var 226 GWh år 2022. Länder som import sker ifrån är främst Norge, Belgien och Nederländerna. Den svenska produktionen av LBG var 156 GWh 2022. Den totala LBG-användningen i Sverige (produktion + nettoimport) 2022 uppskattas till 382 GWh. LBG används främst som drivmedel i tunga transporter och inom industrin (Energigas Sverige, 2023).

Det exporteras även uppgraderad biogas från Sverige till andra länder men statistik saknas på hur mycket som exporteras. Exporten sker bland annat via det sydvästsvenska gasnätet. En stor del av importen och exporten av biogas till och från Sverige hanteras genom massbalansprincipen och tillhörande certifikat som visar att biogasen är hållbar enligt EUs regelverk. Detta gäller även LBG som exempelvis importeras från annat EU land till Norge via massbalans och förvätskas innan import till Sverige. Mer information om massbalans finns i avsnitt 4.

Framtida situation

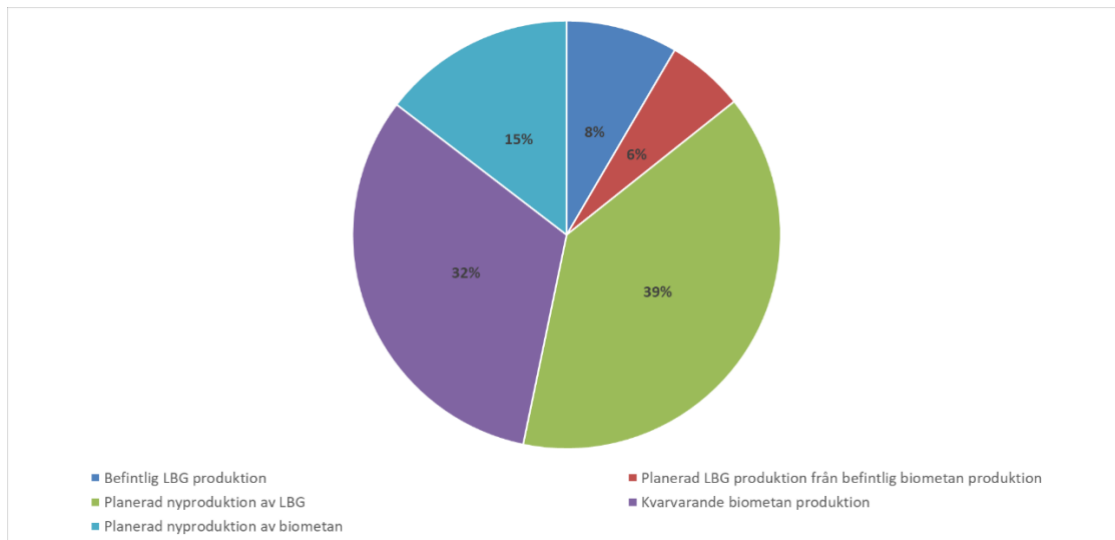
EU kommissionen har ett mål på 350 TWh biogas till 2030 och i Sverige föreslogs ett mål på 10 TWh biogas till 2030 (Europeiska kommissionen, 2022; Westlund et al., 2019). Delar av den svenska basindustrin har planer på att ersätta fossil kolkälla med biogas i processen och transportsektorn efterfrågar både fordonsgas och LBG som drivmedel.

Efterfrågan på CBG från vägtransportsektorn för väntas minska snabbare än efterfrågan på LBG förväntas öka. Detta på grund av ökad elektrifiering av framför allt bussar som i sin tur påverkas av EU regelverk som styr vilka typer av drivlinor som bör tillverkas enligt Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2019/1242 (European Union, 2019). Detta reflekteras i statistiken som visar på en minskning av leveranser av fordonsgas till bussar och en ökning av leveranser av LBG (Statistiska Centralbyrån, 2023a, 2023b).

Det framtida behovet av biogas i Sverige hos industrin och transportsektorn är enligt Jivén m.fl. (2022) ca 8 TWh/år 2030 medan biogaspotentialen i Sverige från avfall, biprodukter och biomassa som inte bidrar till indirekt förändrad markanvändning (iLUC) är 2–3 gånger högre (Jivén et al., 2022). Utmaningen här är att matcha efterfrågan med utbudet på en given plats där det kan hända att råvaran finns på annan plats längre bort.

Merparten av den planerade produktionskapaciteten för biogas i Sverige kan enligt kartläggning, som baseras på offentligt tillgänglig information, vara för produktion av LBG. Det planeras för nya anläggningar i framför allt Södermanland, Skåne,

Västra Götaland och Halland medan befintlig produktion av CBG har övergått till LBG i exempelvis Stockholm. Se figur 1 som visar att om de planerade anläggningarna blir av så kan produktionskapaciteten i Sverige bli upp till 4,1 TWh senast år 2028, vilket är slutåret för Klimatklivet. Hälften av den volymen är i så fall LBG.



Figur 1. Befintlig och planerad produktionskapacitet för LBG i Sverige.

Priset på biogas i andra länder som Tyskland förväntas vara ca 1–2 ggr högre än priset i Sverige några år framöver (Biokraft, 2023) och därmed förväntas fortsatt export av biogas via västsvenska naturgasnätet och i form av LBG. Kommersiell sjöfart är däremot fortsatt befriad från energi och koldioxidskatt och här kan betalningsviljan förändras när nya styrmedel träder i kraft (se bland annat avsnitt 3.3).

3.2 Infrastruktur

LNG som fartygsbränsle är ur ett historiskt perspektiv en relativt ny företeelse. I Göteborg utfördes till exempel de första bunkringsoperationerna med LNG fartyg-till-fartyg (ship-to-ship) respektive från bil till fartyg under 2017. Idag bunkras fartyg med LNG respektive LBG huvudsakligen från LNG-bunkerfartyg alternativt direkt från lastbil.

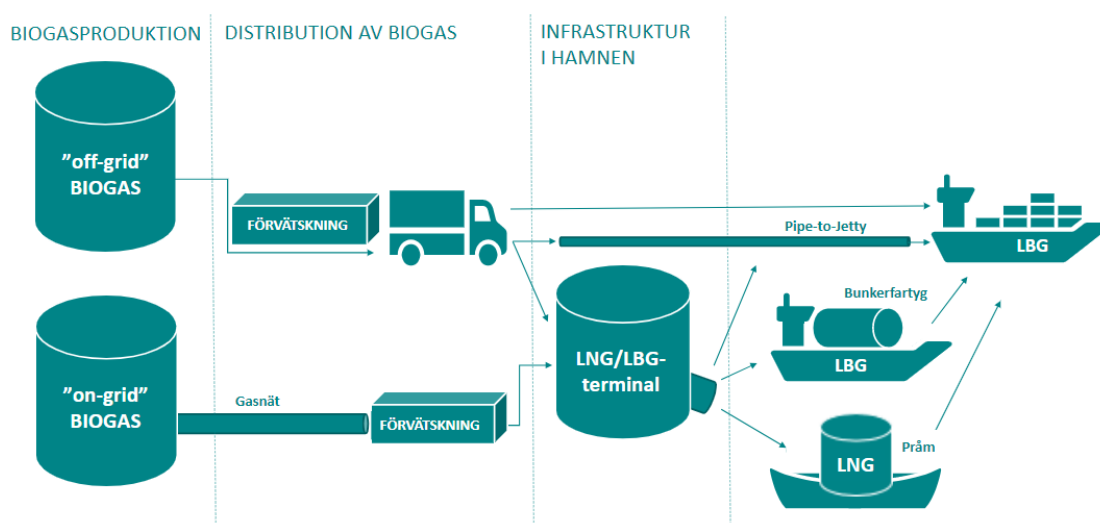
Inom sjöfarten har ett flertal aktörer som intervjuats eller varit med på workshop uttryckt ett starkt intresse för att över tid fasa ut LNG och ersätta med förnybar LBG. Hittills har rederier så som Tärntank, Furetank, Destination Gotland, Wasaline och Viking Line testat att använda sig av en blandning av LNG & LBG för driften av fartyg. En aspekt som lyfts som viktig att få på plats inför mer storskalig användning av LBG inom sjöfarten är just ändamålsenlig infrastruktur.

Bunkring av LBG till fartyg kan ske från ett bunkerfartyg (ship-to-ship), från lastbil till fartyg, från lastbil som kopplar in sig på fast rörledning i terminal eller med fast infrastruktur med lagring och rörledningar i terminalen som kan fyllas

med lastbilar, eller om det finns infrastruktur för inkoppling mot bunkerfartyg eller mot fasta naturgasnätet (stamnätet) med ett förvätskningssteg.

Förvätskningssteget behövs om trycksatt metan från stamnätet ska användas då denna metan behöver kylas och förvätskas för att kunna bunkras i form av LNG/LBG ombord på fartygen. En mindre mängd trycksatt biogas/naturgas kan dock, under vissa förhållanden, injiceras i en större mängd förvätskad biogas/naturgas (tex LNG) och med hjälp av ”överskottskyla” från den flytande metanen förvätska den mindre mängden trycksatt gasen.

I Figur 2 visas exempel på distributionsvägar där verkligheten kan innehålla fler delsteg.



Figur 2. Schematisk illustration över biogasens möjliga väg från produktion till leverans ombord på fartyg för användning som bränsle.

Dagens situation

Idag sker alltså bunkring av LBG med exempelvis lastbil direkt till fartyg, i form av LBG som dellast ihop med LNG (massbalans) med bunkerfartyg och med fast infrastruktur i terminaler.

Biogasen som används till LBG kan antingen produceras i Sverige eller produceras, förädlas och matas ut på naturgasnätet i annat EU land och sedan tas ut i exempelvis Norge (som är ihopkopplad med naturgasnätet via Danmark) via massbalans där den förvätskas. Från Norge transporteras sedan LBG fysiskt med ett LNG tankerfartyg till Sverige tex till LNG-terminal i Nynäshamn där den sedan förs över till bunkerfartyg som levererar direkt till fartyg.

Lastbil till fartyg i Göteborgs Hamn

I Göteborgs Hamn finns sedan 2018 rörledningarna dragna ut till två kajer i Energihamnen (kaj 519 och 521) där lastbilar kan kopplas in och flytande metan (LNG eller LBG) kan distribueras som bunkerbränsle till fartyg (motsvarande en takt på 100 m³/h). Däremot finns inget fast mellanlager varför lastbilar som ska distribuera LBG till fartyg måste korrelera tidsmässigt med fartygsanlöpen.

Det har också i praktiken visat sig vara ett problem för att praktiskt få till bunkring när det bara är två av kajerna i Energihamnen som har den här så kallade ”pipe-to-jetty” lösningen med uppställningsplatser för två lastbilar. Detta då det visat sig vara svårt att anpassa så att fartyg som planerar att bunkra LBG från lastbil i Göteborg i Energihamnen får tillgång till kajplats vid just någon av dessa två kajer.

Det finns därför idag planer på att bygga ut anläggningen i Göteborg med lagring av flytande metan samt även tankar om att tillföra kapacitet att förvätska metan och att koppla in denna förvätskningsanläggning på det fasta gasnätet. Förstudier för tank- och förvätskningsanläggning i Göteborg har genomförts och det finns ett miljötillstånd för en förvätskningsanläggning beviljat men investeringsbeslut är ännu inte taget.

Ett generellt problem som lyfts från branschen är att det är svårt att planera in bunkring med lastbil till den delen av sjöfarten som inte går i linjetrafik. Detta då det dels i många fall är svårt att på förhand avgöra vilken hamn fartygen kommer att anlöpa när det är dags att bunkra och ännu svårare att förutsäga ett precist tidsfönster när bunkringen kan ske.

Fartyg till fartyg

Bunkring med bunkerfartyg upplevs fungera bättre än bunkring med hjälp av lastbil men då blir det en fråga om hur LBG kan tillföras bunkerfartyget som används för att bunkra via detta system. Det kan antingen ske genom att biogas rent fysiskt förs ombord i bunkerfartyget eller att LBG handlas och istället levereras på certifikat via massbalansprincip.

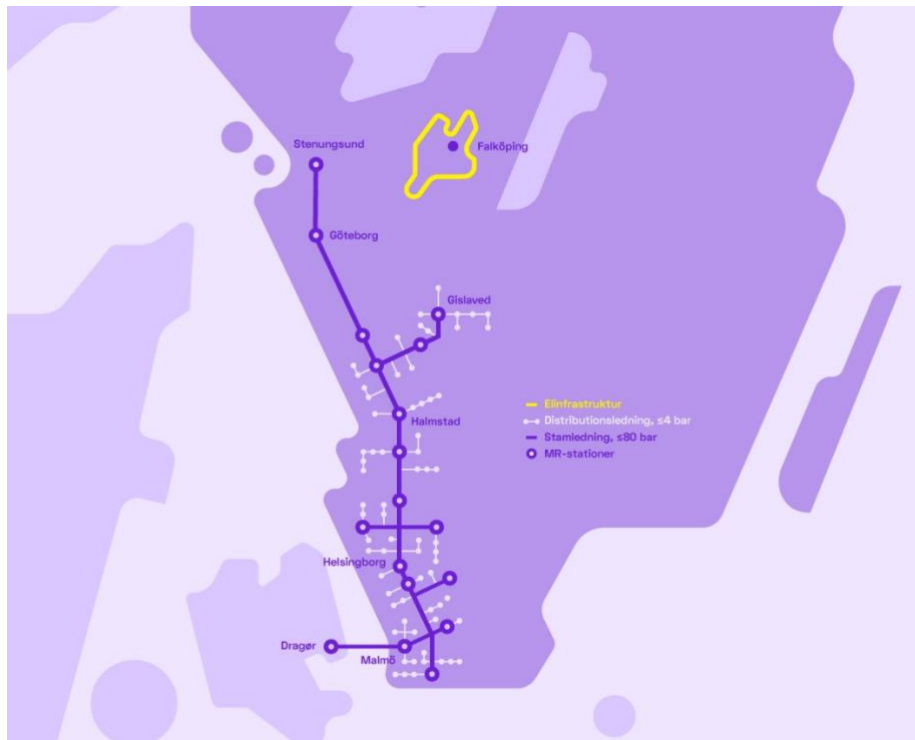
En massbalansprincip kan liknas med systemet för handel med grön el där biogasen kan handlas utifrån avtal i stället för transport och användning av fysiskt tillgänglig biogas. Systemet kontrolleras av tredje part för att säkerställa tillförlitligheten. (se även bland annat avsnitt 4 *Massbalans*).

Från Stamnätet

Det svenska gasnätet (se Figur 3) har 80 bars tryck i stamnätsdelarna (lila färg i figuren) och 0,1–4 bars tryck i distributionsnätet (vit färg i figuren). Stamnätet ägs av Swedegas och Weum har hand om distributionsnätet (båda är del av Nordion). Det fanns tidigare planer på att koppla gasnätet till en planerad LNG-terminal i Göteborgs Hamn men detta fick avslag av regeringen 2019. När det svenska gasnätet byggdes fanns ytterligare expansionsplaner men i dagsläget handlar det mest om förtätning och att ansluta nya kunder och segment.

Till tankstation för LBG

Transporten sker idag med tankbil med lagringskapacitet på ca 20-25 ton per transport på väg från producent eller terminal till tankstation. Cisternen vid tankstationen där LBG lagras har vanligtvis en lagringskapacitet på ca 50-70 ton. Stationen är även utrustad med system för att hantera boil-off (det vill säga om den flytande gasen förångas).



Figur 3. Det svenska gasnätet är sammankopplat med det europeiska via Danmark och sträcker sig från södra Sverige upp till Stenungsund. Stamnätet visas med lila linjer och distributionsnätet med vita linjer i figuren. (Nordion Energi, 2023)

3.3 Politiskt beslutade styrmedel som påverkar prisbilden på LBG i Sverige

Nationella subventioner regleras av EU:s regelverk. Det har på senare år oftast krävts att sökande har ett hållbarhetsbesked eller likvärdigt certifikat för att kunna tillgodogöra sig investeringsstöd för produktion av biogas, produktionsstöd för produktion av biogas eller skattesubventioner inom ramen för lagen om skatt på energi.

Hållbarhetsbesked

Ett hållbarhetsbesked är enligt Energimyndigheten ett beslut som utfärdas av Energimyndigheten. Det fungerar som ett bevis på att biodrivmedel som säljs vid pump respektive bibränslen som används för produktion av el, värme, kyla och/eller bränslen är hållbara. För aktörer som är rapporteringsskyldiga enligt regelverket är det krav på att anmäla sig och ansöka om ett hållbarhetsbesked. Aktörer som är rapporteringsskyldiga är exempelvis leverantörer av LBG som enligt 4 kap. lagen (1994:1776) om skatt på energi är skattskyldig för bränsle som helt eller delvis utgörs av biodrivmedel, oavsett mängd. (Energimyndigheten, 2023c)

Det går även att frivilligt ansöka om hållbarhetsbesked om exempelvis behov uppstår genom att annan lagstiftning såsom EU ETS kräver detta för att inte behöva räkna utsläpp från bibränslen som fossila. (Energimyndigheten, 2023c)

Hållbarhetsbeskedet behövs även för att ta del av olika stöd såsom investeringsstöd, skattenedsättning, tilldelning av elcertifikat. (Energimyndigheten, 2023c)

Ett hållbarhetsbesked innebär bland annat att biogasen inte bör vara producerad från gröda samt har en viss reduktion koldioxidekvivalenter jämfört med fossil motsvarighet. Kravet om minskning av utsläpp av växthusgaser för biogas innebär att om biogasen ska anses vara hållbar så ska användningen av biogasen medföra att utsläppen av växthusgaser understiger vissa nivåer jämfört med deras fossila motsvarigheter. Dessa nivåer är från 50-80 % reduktion beroende på när produktionsanläggningen tagits i drift. (Energimyndigheten, 2023c)

Ett certifikat som visar att en aktör har en frivillig certifiering som är godkänd hos EU kommissionen kan enligt Energimyndigheten användas som underlag vid ansökan om hållbarhetsbesked och kan därmed innebära att de flesta krav som ställs hos Energimyndigheten för att få ett hållbarhetsbesked redan är implementerade. (Energimyndigheten, 2023e) Godkända frivilliga certifieringssystem såsom ISCC återfinns på kommissionens hemsida (European Commission, 2023).

Produktionsstöd

Vid produktion av biogas och LBG används el och ibland bränsle som är skattebefriat enligt lagen om skatt på energi, eftersom biogas- och LBG-produktion anses utgöra framställning av en energiprodukt, så länge som detta sker på samma plats. Detta utgör därmed en form av stöd för produktionen av biogas, om än indirekt.

Det finns produktionsstöd för produktion av biogas från enbart gödsel men det finns även produktionsstöd för produktion av biogas och LBG (Energimyndigheten, 2023f) oavsett vad biogasen produceras från så länge som ett hållbarhetsbesked för produkten kan redovisas. Hållbarhetsbesked regleras inom ramen för förnybarhetsdirektivets hållbarhetskriterier. Det svenska produktionsstödet för biogas motsvarar ett stöd på:

- Stöd för uppgradering på 30 öre/kWh biogas
- Stöd för uppgradering för att sedan omvandlas till vätskeform (LBG) på 45 öre/kWh biogas (*varav biogasproduktion 30 öre/kWh och förvätskning 15 öre/kWh*)
- Stöd för att producera biogas från stallgödsel på 40 öre/kWh biogas

Detta produktionsstöd har tilldelats medel till och med år 2026 (Energimyndigheten, 2023b). Produktionsstöd för biogas har funnits några år och var från början riktat mot biogas från gödsel och har nu utvidgats till biogas från de flesta substrat.

Investeringsstöd

Sverige har tidigare haft statliga investeringsstöd med huvudfokus på klimat. ”Lokala investeringsprogram”, LIP, pågick mellan 1998 - 2002, där riksdagen

avsatte 6,2 miljarder kronor (Naturvårdsverket, 2008). LIP ersattes med ”Klimatinvesteringsprogrammen”, också förkortat till ”Klimp”, vilket pågick under åren 2003-2012 (Naturvårdsverket, 2013).

Dagens investeringsstöd som heter Klimatklivet har beviljat stöd till över 150 produktionsanläggningar (Naturvårdsverket, 2023). Detta investeringsstöd är tidsbegränsat och pågår till och med år 2028 enligt regeringens pressrelease (Regeringskansliet, 2023).

Gröngasprincipen (Distribution)

Den så kallade gröngasprincipen ger biogasproducenter och konsumenterna anslutna till ett naturgasnät möjlighet att handla biogas virtuellt på samma sätt som vid handel med grön el. Skattefördelningsprincipen för biogas och naturgas i rörledning är reglerad i lag (1994:1776) om skatt på energi. Principen gäller även när naturgasnäten inte sitter ihop fysiskt. Ett företag kan alltså föra in biogas som uppgraderats på ett naturgasnät någonstans i Europa och sälja det till en kund som tar ut det på ett annat naturgasnät i Sverige. Kraven är att det ska finnas avtal och att båda gasnäten ska innehålla en blandning av naturgas och biogas.

Gröngasprincipen främjar en ökad användning av biogas i Sverige genom att kunder som saknar tillräcklig biogasproduktion i närområdet kan köpa biogas från andra områden. Enligt Skatteverket så framgår det att principen endast gäller gasformiga skattepliktiga bränslen. (Skatteverket, 2012) Bestämmelserna är alltså inte tillämpliga på flytande gas.

Även biogas som produceras utanför Sverige och som tas in i landet via naturgasnätet kan bli godkänd i enlighet med hållbarhetslagen och dess regler kring massbalans och spårbarhet. Enligt EU-domstolen så får inte Sverige hindra att import sker via naturgasnätet. Motivet till det är att Sverige tillåter transporter av biogas via det inhemska naturgasnätet enligt den så kallade "grön gas-principen". Att tillämpa andra principer i det avseendet för utländsk biogas jämfört med inhemsk biogas utgör ett handelshinder. (Energimyndigheten, 2023d)

Slutanvändning

Tidigare var biogas som används för uppvärmning eller som motorbränsle skattebefriad så länge biogasen ansågs vara hållbar och hade ett hållbarhetsbesked. Det innebar att biogasföretagen som är lagerhållare inte behöver betala energi och koldioxidskatt på biogasen som säljs till de aktörer som använder biogas för uppvärmning eller som motorbränsle. Men i en dom från EU-domstolen ogiltigförklarar EU-kommissionens beslut om att låta Sverige skattebefria biogas och biogasol som förbrukats för uppvärmning eller som motorbränsle (Skatteverket, 2023). Det innebär att biogas i gasform beskattas som naturgas och flytande biogas beskattas som propan från och med mars 2023.

De företag som påverkas kan exempelvis vara:

- vägtransport såsom åkerier, bussbolag och privatpersoner

- vissa industriföretag som inte är ansluten till EU ETS och som använder gas för uppvärmning, både av lokaler och i industriprocesser
- aktörer som använder gasen för framställning av el som förbrukas i den egna verksamheten eller värme för uppvärmning av egna lokaler.

Däremot påverkas inte sjöfarten eftersom yrkesmässig sjöfart är skattebefriad oavsett val av bränsle för framdrivning av fartyget och därmed inte omfattas av skatt (energiskatt och koldioxidskatt). Inom arbetet med EU:s paket *Fit for 55* har även förslag tagits fram att beskatta även fartygsbränslen i ett Energiskattedirektiv (ETD) men sannolikheten att detta ska kunna komma i mål under den närmsta tiden bedöms som låg.

EU-direktiv och förordningar

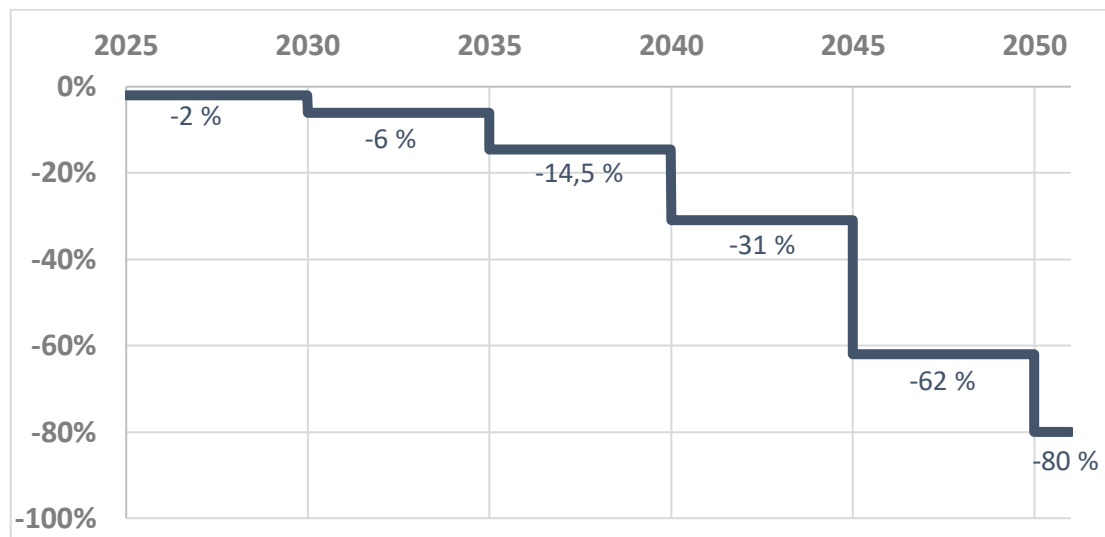
Inom EU har ett paket av åtgärder antagits inom ramen för det så kallade *Fit for 55*, som syftar till att minska utsläppen av växthusgaser inom unionen med 55% fram till 2030. Inom detta avtal har det bland annat beslutats att sjöfart inom och till och från hamnar utanför EU ska omfattas av EU:s handelssystem för utsläppsrätter för koldioxid, utsläppshandelssystemet *EU ETS*. Från och med 1 januari 2024 kommer fartyg som transporterar gods och eller passagerare och har en storlek över 5000 GT att fasas in i utsläppshandelssystemet genom att under 2024 betala för 40 procent av växthusgasutsläppen, under 2025 för 70 procent och från och med 2026 för hela utsläppsmängden. Från 2024 är det emissioner av koldioxid som omfattas men från och med 2026 innefattas även metan- och lustgasutsläpp. För resor mellan europeiska hamnar är hela utsläppen innefattade men för resor till och från hamnar utanför EU behövs utsläppsrätter för 50 % av utsläppen. I enlighet med den delegerade EU förordningen 2023/2776⁴ anses bränslen som uppfyller Förnybarhetsdirektivet (EU direktivet 2018/2001) och är producerade med biomassa, inte generera några koldioxidutsläpp om de används som marint bränsle i sjöfarten (för EU ETS). Dock ingår vissa utsläpp kopplat till produktionen av dessa bränslen i viss utsträckning av EU ETS genom andra inkluderade sektorer.

En annan viktig del för sjöfartens utveckling inom *Fit for 55* är införandet av förordningen *FuelEU Maritime*⁵ som bland annat reglerar växthusgasintensiteten för bränslen till sjöfart och slår fast att den ska minskas över tid, se Figur 4.

⁴ 2023/2776, 14.12.2023, COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2023/2776 of 12 October 2023 amending Regulation (EU) 2015/757 of the European Parliament and of the Council as regards the rules for monitoring greenhouse gas emissions and other relevant information from maritime transport, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202302776

⁵ Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1805>

FuelEU Maritime är en EU förordning som träder i kraft 1 januari 2025 och i samband med detta är kravet att växthusgasintensiteten för marina bränslen som används ombord på fartyg ska sänkas med 2 procent. Därefter kommer kraven stegvis att öka. Växthusgasintensiteten för de marina bränslena kommer att beräknas ur ett livscykelperspektiv (Well-to-Wake).



Figur 4. Krav på minskad växthusgasintensitet i bränslen till sjöfart i enlighet med FuelEU Maritime.

Sammantaget förväntas införandet av sjöfart in i EU ETS och förordningen FuelEU Maritime innebära att det framöver kommer starkare incitament för sjöfarten att använda sig av bränslen med bättre klimatprestanda än de fossila vilket också förväntas öka efterfrågan på biogas.

3.4 Affärsrelaterade aspekter

Med framväxten av en ny marknad för flytande biogas till sjöfarten finns ett antal affärsrelaterade aspekter som behöver falla på plats för att marknaden ska fungera och utvecklas.

Avtalsfrågor

Avtal mellan biogasproducenter och kunder kan både vara relativt korta eller långa (från 1 år till över 10 år) där priset för den uppgraderade biogasen kan vara fast eller indexerad gentemot exempelvis naturgaspriset. Fasta priser har exempelvis förekommit i Sverige på en lokal marknad såsom till bussar och indexing gentemot naturgaspriset är vanligt förekommande när certifierad biogas inhandlas på massbalans med hjälp av naturgas, vilket innebär att priset på naturgas då till viss del styr priset på biogas.

Längre avtal ger säkerhet för båda parter där biogasproducenterna vet att de har en kund till sin producerade gas och användaren vet att det finns tillgång till den gas som de är i behov av. Ett alternativ till att handla hela volymen med långa avtal är att en större andel av volymen handlas upp med långa avtal och att den sista volymen handlas upp av olika aktörer när behovet uppstår.

Biogasen som handlas via naturgasnätet är som beskrivits ovan vanligtvis indexerad mot naturgaspriset. Det har det senaste åren lett till att biogasen, precis som naturgasen, har fluktuerat kraftigt i pris. Det höga priset har ifrågasatts av vissa aktörer i media och branschtidningar (potentiella kunder till biogasbranschen, exempelvis sjöfartsaktörer och industrier) och skulle teoretiskt sett kunna ändras.

För exempelvis en förvätskningsanläggning med stort elbehov kan kostnaden för elektricitet bli relativt högt beroende på marknadsprissättningen på den nordiska elbörsen och kan exempelvis bero på stigande bränslepriser. Producenten av LBG behöver säkerställa att den variationen i kostnaden kan täckas med intäkterna från försäljningen. Därför skulle exempelvis en indexering mot elpriset kunna vara ett alternativ till dagens indexering för LBG. Det kan exempelvis handla om en klausul i avtalet som möjliggör för biogasproducenten att omförhandla priset om de inte längre kan uppvisa lönsamhet på grund av exempelvis elpriset.

Bunker Adjustment Factor (BAF) används vanligen inom sjöfarten för att hantera fluktuationer i bunkerpriser och är ett tillägg som betalas i händelse av ökade bränslekostnader (Panayides, 2019). Sjöfartsbranschen har därmed en vana att hantera fluktuerande kostnader redan idag.

Handel med LBG

Ägarstrukturen för producenter och även leverantörerna av biogas har över åren förändrats där det på 1980-2010 talet oftast var offentligt ägda energi-, avfallsbolag eller reningsverk som ansvarade för produktion och handeln med framför allt biogas. Oftast var marknaden lokal, försörjd av lokalt producerad biogas vid en produktionsanläggning med en kapacitet på cirka <50 GWh/år och ett fåtal tankstationer. Det fanns även ett fåtal privata och offentliga aktörer som var framträdande och som ägde flera produktionsanläggningar för produktion av biogas, matade ut biogas på naturgasnätet, var nätägare och drev ett nätverk av tankstationer.

Ägarstrukturen har sedan dess förändrats och gått mot en nationell marknad med ett fåtal producenter som satsar på större produktionsanläggningar (>50 GWh/år) för att uppnå skalfördelar vid produktion av biogas eller LBG. Dessa bolag har även köpt upp många av de tidiga producenterna och leverantörernas anläggningar i Sverige. Även andra internationella aktörer satsar på den svenska marknaden och har planer på ett större biogasanläggningar för produktion av biogas och LBG.

Handel med LBG har funnits i Sverige sedan den första produktionsanläggningen började producera LBG år 2011 där kunderna då var ägare av olika typer av fordon på väg som då kunde tanka både flytande och gasformig biogas medan stationen ibland enbart försågs med LBG. De existerande och planerade produktionsanläggningarna i Sverige har en produktionskapacitet på cirka 5-50 ton LBG/dag och en tankbil kan transportera ca 25 ton/transport.

Det tog däremot några år till innan marknaden för LBG började utvecklas vilket var när Volvo och även Scania började tillverka sina LBG lastbilar som idag går på de svenska vägarna och som tankar på de närmare 30 tankstationer för LBG som finns i Sverige. Tankstationerna försörjs med både LBG och LNG med fysisk lastbilstransport från Norge samt LBG producerad i Sverige. Tankstationerna ägs av ett fåtal aktörer och dessa aktörer är eller kommer snart bli producenter av LBG och är även leverantörer av LBG till andra marknader.

Det finns idag ingen etablerad gemensam ”marknadsplats” i Sverige enligt författarnas vetskap där biogas kan köpas och säljas på en gemensam marknad såsom det går med fossila bränslen som inkluderar naturgas och LNG. Tre motiv lyfts upp som särskilt viktiga till varför det skulle vara önskvärt vid handel med biogas till sjöfarten:

- Stora volymer ska handlas upp och det behovet kan därmed inte alltid täckas av en enskild biogasanläggning utan produktionsvolymen från flera anläggningar kan behöva köpas in för att täcka hela behovet. Som exempel har de rederier som varit med i referensgruppen produkttankers på ca 15 000 DWT årligen som förbrukar i storleksordningen 30 GWh per fartyg. Andra deltagare har rorofartyg på ca 30 000 DWT som förbrukar över 100 GWh per fartyg och år.
 - En typisk bunkring av ett produkttankfartyg om 15 000 DWT kan ligga på 150–200 ton metan (LNG/LBG) (vilket motsvarar ca 2 – 2,6 GWh LNG/LBG) och ett rorofartyg om 30 000 DWT kan som exempel istället bunkra 500 ton varannan vecka (vilket motsvarar ca 6,5 GWh LNG/LBG).
- Det skulle möjliggöra för mindre producenter, till exempel gårdsbaserade anläggningar (på vanligtvis 5–10 GWh) att enklare få avsättning för sin biogas i dessa nya marknadssegment.
- Detta är så som bunkerolja traditionellt handlas upp och är därmed ett etablerat sätt för aktörer att handla upp den här typen av bränslen.

Med fördel skulle marknadsplatsen fungera enligt en öppen marknadsprincip, exempelvis som Nord Pool för el. Ett antal alternativ är tänkbara för en marknadsplats framöver, några av alternativen kan eventuellt kombineras med varandra:

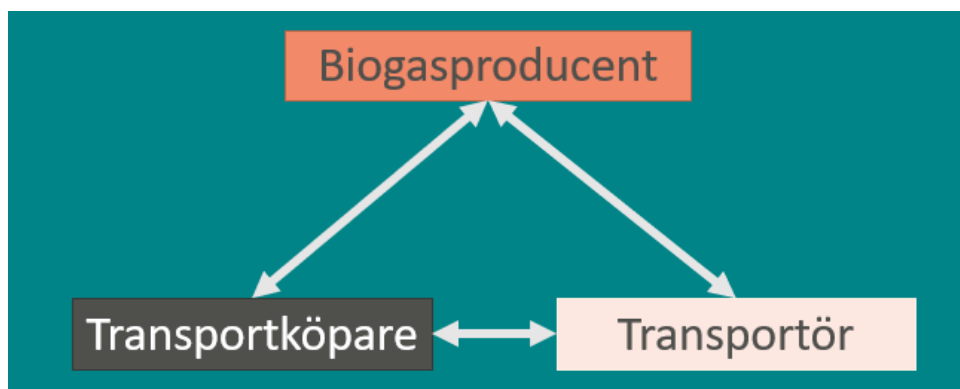
- Använda trader-funktioner. Traders kan använda sig av en öppen marknad och fylla gapet mellan producent och slutkund. Exempelvis köper och säljer en naturgas ”trader” naturgasprodukter på olika aktie- och råvarubörser vilket man även borde kunna göra med biogas.
- Book and Claim-lösningar, diskuteras i många olika sammanhang, däribland inom sjöfarten och för förnybara flygbränslen. Book and Claim-lösningar möjliggör för sjöfartsaktörer att er hålla de minskade koldioxidutsläppen frikopplat från den fysiska användningen av bränslet.

(Wang et al., 2023) Dvs genom en så kallad massbalansprincip som förklaras i avsnitt 4.

- Koordinerade inköp med längre tidsperspektiv. De rederier som har intresse av att handla upp biogas skulle kunna genomföra koordinerade inköp med längre tidsperspektiv. Syftet är att på så sätt skapa en större förutsägbarhet för tidpunkt och mängder av fysisk leverans av LBG när flera fartyg bunkrar på samma plats.
- Contracts for Differences (CFD) är också ett finansiellt verktyg som kan användas för att hantera förändringar i kostnad/pris för en produkt över tid. Köparen eller säljaren blir då ålagd att betala differensen i kostnad vid en given tidpunkt.

Prissättning och betalningsvilja

En nyckelfråga i sammanhanget är överenskommelse om pris för produkten mellan säljare och köpare. Här är det en fördel om transportköparen (kunden), biogasproducenten och transportören (rederiet) samverkar för att identifiera en win-win-win situation för alla involverade aktörer.



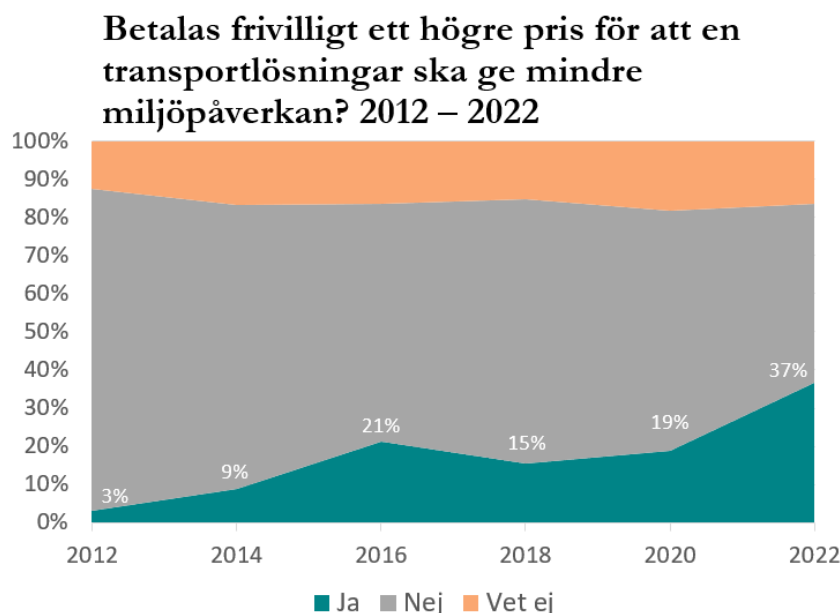
Figur 5. Illustration över samverkan mellan aktörer inom biogasproduktion och användning.

Det finns ett antal olika exempel på drivkrafter kring prissättningen för de olika aktörerna som är värda att lyfta upp.

Många av de företag som har definierat mål inom Science Based Targets (SBT) närmar sig en punkt då de behöver uppfylla sina Scope 3-mål. Det kommer troligtvis leda till att gröna alternativ för transporter efterfrågas i högre grad, med medföljande motkrav från transportören i form av högre pris för att täcka de ökade kostnaderna.

Chalmers, Göteborgs universitet och IVL Svenska Miljöinstitutet har vartannat år sedan 2012 genomfört enkätundersökningar hos tillverkande företag och partihandlare i Sverige med fler än 100 anställda, i ett arbete om kallas Transportinköpspanelen. Transportinköpspanelens syfte är att följa utvecklingen av hur företagen köper transporttjänster. Bland annat ställs frågan om företagen frivilligt kan tänka sig betala ett högre pris för en transportlösning med mindre miljöpåverkan. Som kan utläsas ur figuren nedan anger betydligt fler företag att de betalar mer för transport med mindre miljöpåverkan år 2022 jämfört med 2020.

Detta trots att 79% av företagen anger att transportpriserna ökat under denna period. (Chalmers, 2023)



Figur 6. Enkätundersökning på transportinköspanelen kring betalningsviljan för lösningar med lägre klimatpåverkan. (Chalmers tekniska högskola, 2023)

En ytterligare möjlighet för att använda sig av samverkan i ovanstående system biogasproducent-transportköpare-transportör är att lyfta de positiva tillkommande effekter av biogasproduktion som användning av biogas ger upphov till. Det kan användas av både transportköparen och transportören som marknadsföring. Tidigare studier har visat att biogassystemet med insamling av organiska avfallsströmmar, produktion av biogas som kan ersätta fossila drivmedel och återföring av näringsämnen till åkermark i form av biogödsel har bäring på alla de 17 globala hållbarhetsmålen inom Agenda 2030 (Hagman & Eklund, 2016). Förutom att vara ett klimatsmart bränsle så leder biogas bland annat till: ökad produktion av inhemska bränslen, minskad metanavgång från gödsel, minskat beroende av importerad konstgödsel, lokala arbetstillfällen mm. Den cirkulära och klimatsmarta lösningen som biogasproduktion är kan användas i marknadsföringssyfte för att öka intresset för produkten och tjänsten.

Produktionskostnad för biogas

Biomethane Industrial Partnership (BIP), ett industriellt partnerskap som initierats av European Biogas Association (EBA) för att främja arbete mot att uppnå EU's mål om produktion av 350 TWh hållbar biogas år 2035 (BIP Europe, 2023a), har gjort en kartläggning av produktionskostnaderna för biogas på europeisk nivå. Här bidrog 13 europeiska företag med produktionskostnader för sina anläggningar. Studien visar att kostnaden för produktion och uppgradering av biogas varierar mellan 54 – 91 euro/MWh. Studien visar även att det finns tydliga skalfördelar för anläggningarna. (BIP Europe, 2023b)

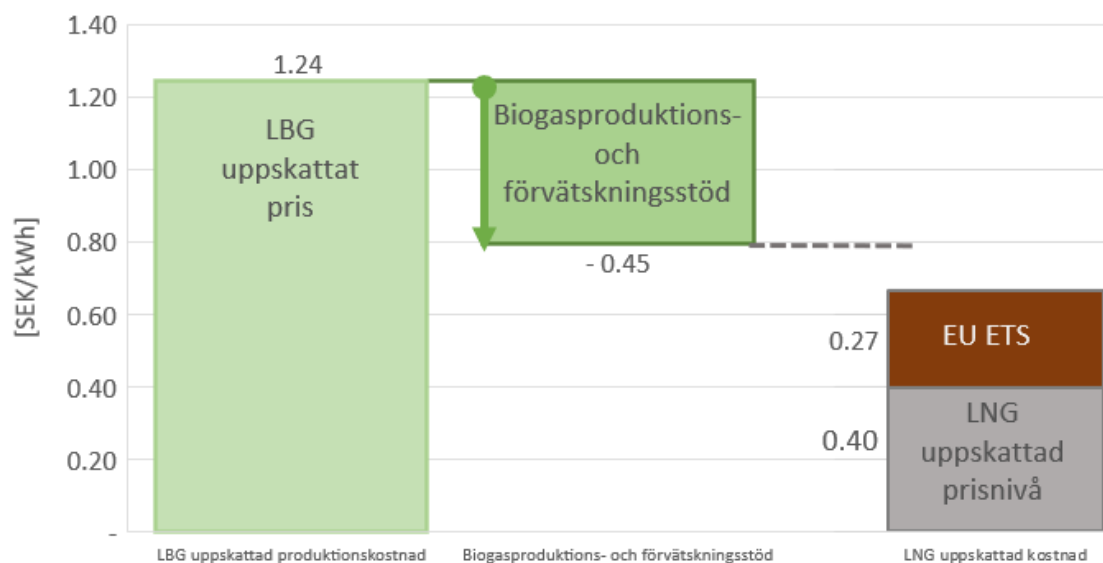
Tabell 1. Produktionskostnad för biogas i Europa. Omarbetad från källa: (BIP Europe, 2023b)

<i>Storlekskategori</i>	2	2	4
<i>Biogas (m³/h)</i>	500 – 1300	500 – 1300	>2000
<i>Uppgraderad biogas (m³/h)</i>	300 – 780	300 – 780	>1200
<i>Uppgraderad biogas (MW)</i>	3 – 8	3 – 8	>14
<i>Substrat</i>	Alla substrattyper	Exkl publika substrattyper*	Alla substrattyper
<i>Produktionspris (€/MWh)</i>	84	91	54
<p>* Publika substrattyper är allmänt tillgängliga avfallsströmmar som kan användas som substrat men vanligtvis kräver betydande förbehandling såsom utsorterat matavfall eller osorterat hushållsavfall. Dessa substrat är därmed inte förknippade med någon inköpskostnad utan många gånger får aktören som förbehandlar istället en sk ”gate fee” intäkt. De är dock förknippade med kostnader vid förbehandling som intäkten är tänkt att täcka.</p>			

Detta resultat kan jämföras med en studie av Bilgili från 2023 ”A systematic review on the acceptance of alternative marine fuels” som har sammanställt resultat från andra äldre studiers beräknade produktionskostnad på LBG till 40 – 180 euro /MWh. (Bilgili, 2023)

I och med att biogas som produceras i Sverige idag stöttas med biogasproduktions- och förvätskningsstöd och att sjöfarten framöver kommer att införlivas i EU:s utsläppshandelssystem, EU ETS, kommer LBG till sjöfart att kunna tillhandahållas till nivåer som liknar de som betalas för samma mängd energi LNG. Det är dock viktigt att ta med sig att det saknas information om hur länge nationell produktion och förvätskningsstöd kommer att finnas tillgängligt.

Vad priset för LBG kommer vara i slutändan kommer variera utifrån parametrar såsom marknadsförutsättningar, avtalsnivåer, typ av indexering (såsom mot naturgaspriset), kostnader för distribution osv. Ett räkneexempel visas i Figur 7, vilket inte ska tolkas annat än som ett exempel, som visar hur kostnaden för att bunkra LBG närmar sig kostnaden för att bunkra LNG.



Figur 7. Figuren visar en uppskattad kostnad som ett snitt för högt och lågt (40 – 180 Euro/MWh) för LBG (vänstra stapeln) samt vad ett från detta pris frändraget biogasproduktions- och förvätskningsstöd (mittensta stapeln). LNG-priset är satt på en nivå som det säljs i europeiska hamnar (tex Rotterdam) under kvartalen 2 till 4 under 2023 med tillförd kostnad för ETS (satt som 90 Euro/ton CO₂) (högra stapeln).

Energipriser varierar kraftigt över tid och LNG har exempelvis under perioden 2015 till 2020 handlats till prisnivåer runt 10 Euro/MWh men varit uppe över 150 Euro/MWh under juni till oktober 2022. Det uppskattade priset för LBG i räkneexemplet har utgått från ett snitt av hög respektive låg produktionskostnad om 40 – 180 Euro/MWh för LBG (se föregående stycke om studien från 2023 ”*A systematic review on the acceptance of alternative marine fuels*”). Från detta pris har sedan biogasproduktions- och förvätskningsstödet räknats bort. För LNG är kostnaden uppskattad utifrån ett LNG-pris på en nivå som det säljs för i europeiska hamnar (tex Rotterdam) under kvartalen 2 till 4 under 2023 (efter pristoppen som inleddes i anslutning till Rysslands krig mot Ukraina och med data hämtat från www.tradingeconomics.com). Kostnaden för ETS är sedan satt till 90 Euro/ton CO₂.

Observera att detta inte är helt jämförbara kostnader utan ska ses som en indikation på kostnadsnivån för LNG respektive LBG och också att marknadspriset på energi svänger kraftigt över tid.

4 Massbalans eller fysisk transport

Massbalans används idag vid handel med biogas i gasform som har uppgraderats till naturgaskvalitet där biogasen matas in i ett naturgasnät och kan tas ut på annan plats. Massbalanssystemet för naturgas och biogas i gasform kallas gröngasprincipen i Sverige och innebär bland annat att kraven på spårbarhet och massbalans är uppfyllt och godkänt enligt hållbarhetslagen.

Fysisk transport är på det sättet som LBG handlas med idag i Sverige där transporten sker med lastbil eller fartyg från plats för produktion till tankstation för LBG, industrier eller fartyg.

4.1 Hur går det till?

Gröngasprincipen som även förklaras i avsnitt 3.3 är en massbalansprincip som kan liknas med systemet för handel med grön el där biogas som uppgraderats till naturgaskvalitet kan handlas utifrån avtal och därmed inte behöver transporteras med fysisk transport till slutanvändaren. Systemet kontrolleras av tredje part för att säkerställa tillförlitligheten. Systemet har flera syften vilket inkluderar att:

- bibehålla spårbarheten⁶ på hållbarhetsegenskaperna (en viss reduktion av koldioxidekvivalenter jämfört med fossil motsvarighet samt säkerställa att enbart godkänt substrat enligt RED II används för produktion av biogas)
- kunna bokföra mängderna och samtidigt hålla partier separerade.
- säkerställa att likvärdig mängd biogas som matas in på naturgasnätet tas ut på annan plats

I Sverige reglerar lagen om skatt på energi skattefördelningsprincipen (gröngasprincipen) vilket förklaras i avsnitt 3.3 och som innebär att skatten följer biogasandelen via avtal och inte fysisk väg. Det innebär att:

1. certifierad biogas (som har hållbarhetsbesked) matas in på naturgasnät (som hanterar både biogas och naturgas),
2. handlas via naturgasnät (som hanterar både biogas och naturgas),
3. tas ut ur naturgasnätet och förbrukas/ används i gasform för att bibehålla samma klassificering (KN nummer) och därmed skattefördelning mellan certifierad biogas och fossil motsvarighet.

⁶ Spårbarhet krävs för att kontroll ska kunna göras av att de principer som finns för bedömning av restprodukt eller avfall som används för att producera biogas uppfylls. Spårbarhet tillämpas även för att se om markkriterier är uppfyllda och för att växthusgasberäkningen ska kunna göras korrekt.

För att säkerställa skattesubventionerna för LBG som hanteras så behöver däremot LBG alltid hanteras med fysisk transport inom Sverige. Däremot kan biogas i gasform köpas in via massbalans och sedan förvätskas till LBG genom att:

1. certifierat biogas förvärvas via massbalans i ett annat EU land där den då har matats in på ett naturgasnät i det landet,
2. biogasen kan sedan matas ut från naturgasnätet i ett annat EU land via massbalans, där den förvätskas till LBG och
3. transporteras till Sverige fysiskt från EU landet och
4. kan anses vara LBG och kan på så sätt bibehålla skattesubventionerna enligt Skatteverket (Skatteverket, 2018).

Observera att det ska gå bra skattemässigt att producera LBG vid flera anläggningar i Sverige, transportera till gemensam terminal och lagra dessa tillsammans innan bunkring.

4.2 Sammanställning av för och nackdelar

Nedan summeras för- och nackdelarna med gröngasprincipen och massbalans respektive fysisk transport av biogas.

Tabell 2. För- och nackdelar för massbalans/gröngasprincipen och fysisk transport av biogas.

	Massbalans	Fysisk transport
Pris	Ger möjlighet till optimering av logistiken vilket kan sänka kostnader	Kostnaden för transport av biogasen/LBG ingår i priset
Trovärdighet	Kräver ett robust system inklusive kontroll som accepteras av aktörerna. Däremot kan företag som ansluter sig till Science Based Targets (SBT) i vissa fall inte tillgodoräkna sig utsläppsminskningar som erhållits genom massbalans (Science Based Targets, 2023).	Kan möjligen skapa en större trovärdighet och i dagsläget kan det även vara ett krav från vissa aktörer som ansluter sig till SBT.
Tillgänglighet	Kan öka möjligheten att få tillgång till biogas även i fall där produkten inte fysiskt finns i närområdet. Kan också förenkla avsättning för producenter av biogas	Bestäms av om det finns relevant fysisk mängd av biogas/LBG att tillgå och köpa.

Om gröngasprincipen och därmed massbalans används för att förvätska biogas till LBG i Sverige genom anslutning av förvätskningsanläggning i naturgasnätet så möjliggör det att logistiken används optimalt och kan därmed minska kostnaderna.

Det ger även en god tillgänglighet av biogas. En nackdel kan möjligen vara att trovärdigheten sviktar.

Användning av liknande metoder som gröngasprincipen är dock väl etablerad i andra branscher och kontrolleras av tredje part. Alternativet, att ha fysisk transport av biogas till kunden säkerställer en högre trovärdighet men minskar tillgängligheten och kan även leda till ett högre pris för kunden.

5 Risker och riskhantering med LBG-bunkring

Alla bränslen medför specifika brandrisker. Introduktion av flytande biogas (LBG) i hamnar som inte tidigare hanterat kondenserade brännbara gaser innebär en förändrad riskbild för hamnen. Den totala risken beror på flera faktorer, till exempel närhet till andra verksamheter, närhet till bostäder, trafik, och typ av fartygstafrik (enbart kommersiell eller färjetrafik). Varje plats har unika förutsättningar som måste beaktas. Av den anledningen är det inte möjligt att göra en komplett specifik riskutredning.

Risker för LBG-bunkring är identiska med de risker som gäller för LNG och LBG/LNG används synonymt i det här avsnittet om risker. LBG är en brännbar, kylkondenserad gas vilket gör att den efter utsläpp förångas. Exempel på risker associerade med LBG är den brännbara blandning som uppstår vid blandning med luft (vid utsläpp eller om luft kommer in i systemet i samband med bunkring), dess väldigt låga temperatur som kan ge upphov till materialförsprödning och köldskador på människa, samt kvävning till följd av utspädning/undanträngning av luftens syre.

Begreppet risk är en funktion av hur troligt någonting är (sannolikhet) och vilka konsekvenser en specifik händelse kan ge upphov till. För att minska en risk är det således möjligt att arbeta både med sannolikhet och konsekvens. Med andra ord betyder det att även om ett utsläpp av LBG kan orsaka stora konsekvenser, så kan risken vara acceptabel; med rätt rutiner och installationer kan sannolikheten för en sådan händelse minimeras. För LBG är det viktigt att kunna hantera den låga temperaturen samt att minimera risken (dvs. både sannolikheten och konsekvensen) för utsläpp.

Risker är platsspecifika och måste göras utifrån specifika förutsättningar på varje plats. Det är således inte möjligt att producera en heltäckande generell riskanalys eller detaljera exakta skyddsåtgärder.

5.1 Karaktäristiska egenskaper för LBG

LBG består i huvudsak (i princip 100%) av metan som hålls flytande vid en mycket låg temperatur (kokpunkt vid atmosfäriskt tryck är -161 °C). Vid utsläpp (läckage eller större spill) kommer den låga temperaturen att orsaka kondensation av vatten i luften, något som kan ses som en vit rök. Antändlig gas-luftblandning sammanfaller approximativt med den vita röken.

Den gas som bildas vid förångning av LBG kommer till en början att vara tyngre än luft och därför spridas längs marken. Allt eftersom gasen värms upp kommer densiteten sjunka, vid ca -110 °C är gasen lika tung som luft, vid högre temperaturer än så kommer gasen att stiga (European Maritime Safety Agency (EMSA), 2018). På grund av den låga temperaturen finns risk för kylskador om mänsklig hud eller mjuk vävnad kommer i kontakt med kalla delar av systemet

eller LBG-utsläpp och hud riskerar att fastna. Risker med LBG-bunkring handlar om:

- Kylskador
- Utsläpp som kan leda till brand eller gasmolnsexplosion
- En explosionsliknande fasomvandling vid LBG-utsläpp på vatten
- En BLEVE (explosion) om en uppvärmd eller överfylld (s.k. stumfylld) LBG tank brister

Antändlighet

De fysikaliska parametrar som man normalt använder sig av vid klassificering av sannolikheten för brand omfattar flampunkt, brännbarhetsområde, minsta antändningsenergi (MIE) och termisk tändpunkt. Även bränsleångornas/gasernas densitet i relation till luft är av intresse då detta ger information kring hur ångor eller gas sprids vid ett utsläpp.

Brännbarhetsområdet för metan är 4,5–16,5 vol-%, vilket kan jämföras med exempelvis metanol (6,0–36,5 vol-%), etanol (3,3–19 vol-%) och diesel (0,6–7,5 vol-%). Samtidigt är flampunkten (Drysdale, 2011) för LBG -175 °C.

Flampunkten är således lägre än för vätskeformiga bränslen (såsom metanol 12 °C, etanol 17 °C, diesel >52 °C), något som åtminstone vintertid kan göra att risken för antändning ökar. Den termiska tändpunkten för metangas är 540 °C vilket kan jämföras med 450 °C för gasol och 220 °C för diesel. Den minsta energi som krävs av brännbar luft-/gasblandning (minimum ignition energy, MIE) är för metan 0,26 mJ (Drysdale, 2011), vilket är i samma härad som många andra kolväten såsom gasol och etanol.

Att metan föreligger som gas vid normala betingelser, medan många andra bränslen förblir vätskor, är också viktigt att bära med sig. LBG som innesluts och över tid förångas kommer att orsaka en kraftig tryckuppbyggnad inom inneslutningen. Metangas vid normal utetemperatur (~10–20 °C) har en relativ densitet på 0,6 jämfört med luft vilket betyder att gasen kommer stiga, vilket är positivt ur brandrisksynpunkt utomhus, jämfört med t.ex. gasol som är tyngre än luft och riskerar finnas kvar på marknivå, i lågpunkter/hålor i marken etc.

Värmestrålning vid brand

Läckage av LBG kan antingen ske i gasfas eller vätskefas. Vid läckage av större mängder LBG i vätskefas kommer en del av vätskan förångas, vilket ger ett två-fas-läckage av dels gas och dels vätska. Hur mycket LBG som förångas beror på temperaturförhållanden och utsläppets storlek. Vid små utsläpp kommer all LBG snabbt förångas. Vid större utsläpp kan en LBG-pöl temporärt bildas. Om antändning sker förväntas gasen brinna av snabbt, därefter kommer resterande mängd LBG att brinna i form av en pölbrand (till dess att branden är släckt eller bränslet tar slut). Vid fördröjd antändning kan större mängder ansamlad gas istället explodera. Vätskepölens area kommer att bestämma strålningen från en pölbrand, medan den totala mängden kommer att bestämma maximal brinntid.

Enligt exempelvis NFPA 59A skall design utföras så att strålning över 5 kW/m² undviks. Denna värmestrålningsnivå motsvarar acceptabel nivå för personal som utför räddningsinsats (med skyddskläder) eller en nivå som för oskyddade personer ger brännskador inom 30 s. (Intressentföreningen för Processsäkerhet (IPS), n.d.) Som jämförelse kan sägas att vid 15 kW/m² antänds trä och påverkan börjar ske på närliggande utrustning och när värmestrålningen passerar ca 35–40 kW/m² kan allvarliga skador på närliggande utrustning förväntas.

Jämfört med andra kolväten har LNG-pölbränder högre ytstrålningseffekt (En. surface emissive power, SEP) per yta flamma. Dessutom kan LNG-pölbränder producera lågor som sträcker sig från 10 m till 100 m höjd (upp till 2 gånger pöldiameter). SEP för kolvätebränslen har liknande beteenden i det att SEP börjar lågt (på grund av förbränning i en laminär regim), ökar när förbränningen övergår till en helt turbulent regim, och avtar sedan på grund av kvävande sot vid flamytan. Sotkvävning är ett fenomen för alla kolväten som börjar högre upp i flammen, och när brandstorleken ökar, rör den sig ner mot basen av den brinnande pölen. LNG följer liknande trender som många andra kolväten, men på grund av metanets molekylära struktur och dess brandkemi förskjuts kvävningseffekten mot större pölytor, jämfört med andra kolväten såsom bensin och diesel. Detta gör att små (pöldiameter <5 m) LNG-pölbränder strålar mindre (laminär regim) och stora (pöldiameter >5 m) LNG-pölbränder strålar mycket mer (turbulent regim) än motsvarande diesel/bensin brand. För LNG börjar sotkvävning ske först när pöldiameter överskrider 20 m (Blanchat et al., 2011).

För mer information om värmestrålning från LNG/LBG-bränder samt etanol- och bensinbränder se Bilaga 3.

Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)

Om en LBG-tank utsätts för extern brandpåverkan kommer den nedkylda gasen inne i tanken att värmas upp. Detta ökar förångningen och därmed också trycket i tanken, vilket leder till att säkerhetsventilen öppnar. Designen av säkerhetsventilens kapacitet tar hänsyn till isolering och under olyckliga omständigheter, där isoleringen är skadad finns det risk att värmepåverkan blir så kraftig att säkerhetsventilen inte klarar att släppa ut övertrycket. Detta kan leda till att tanken utsätts för tryck över sin design. Eftersom tankens hållfasthet minskar p.g.a. temperaturökningen från branden, kan en tankruptur ske. Om LBG är uppvärmd över sin kritiska temperatur på -93 °C (vilket motsvarar ett tryck på över 25 bar) kan en BLEVE ske, vilket innebär att den nu upphettade kondenserade gasen förångas momentant när tanken brister (och övertrycket försvinner). Denna plötsliga förångning ger upphov till en kraftig tryckvåg (d.v.s. en explosion). När vätskan snabbt förångas kan det också leda till ett stort brinnande aerosol/gasmoln som stiger uppåt och ger en mycket hög värmestrålning mot omgivningen under några sekunder (kan ske också vid lägre tryck och temperatur än den kritiska för BLEVE). Notera att vid ju lägre tryck en tank brister, desto mindre blir de omedelbara BLEVE-konsekvenserna och ju mer

likt blir det en LBG pölbrand. Exempelvis är LNG tankar på fraktfartyg designade att brista redan vid 0,3 bar (Betteridge & Phillips, 2015). En BLEVE kan också ske om tanken överfylls (stumfylls) vid bunkring. Stumfyllning är när tanken fylls så mycket att det inte finns någon luft eller gas kvar i tanken, utan bara förvätskad LBG.

Snabb fasövergång (RPT)

En snabb fasövergång (En. Rapid phase transition) kan inträffa efter att LBG har släppts ut om värmeöverföringen mellan miljön och vätskan är mycket hög. En snabb fasövergång är främst kopplad till spill av ett flytande kryogent bränsle till vatten och har resulterat i några allvarliga händelser för LNG. Det huvudsakliga riskområdet är över vatten, t.ex. vid bunkring av fartyg, eller överföring till/från tankfartyg. En snabb fasövergång är en "kall" eller fysisk explosion (utan förbränning) när den kryogena vätskan förångas våldsamt när den kommer i närkontakt med vatten (Jordan, 2021).

5.2 Generisk bunkringsprocedur

Följande är en sammanfattning av en generisk bunkringsprocedur enligt dokumentet "Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations" (European Maritime Safety Agency (EMSA), 2018). För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till ursprungsdokumentet (sid. 357–365).

I dokumentet delas bunkringen in i sju steg:

1. Initial kylning: Långsam nedkylning av systemet (rörledning etc. som vid uppstart håller samma temperatur som omgivningen) för att minska stress i material. En för snabb nedkylning kan annars ge upphov till stress i material och resultera i sprickbildning/läckage.
2. Uppkoppling: Slang för LBG ansluts. Vid behov ansluts även slang för gasretur.
3. Inertering: För att minimera mängden syre som finns i systemet och för att minska risken för en antändlig blandning i (främst) ledningar inerteras dessa med kvävgas före bunkringen. Detta ställer krav på att kvävgas finns tillgängligt.
4. Avblödning (purgning): Kvävgasen avblöds från systemet genom påfyllnad med LBG (för att uppfylla ett metaninnehåll på 97-98 % i bränslet, enligt fartygsmotorspecifikation). I detta skede finns en risk för utsläpp av metan (gasformig LBG).
5. Fyllning: Bunkringen pågår, eventuellt leds gas från fartyget tillbaka till lastbilens tank.
6. LBG kvarvarande i ledningar efter avslutad bunkring töms genom att låta LBG förångas och tryckas till tankarna.
7. Inertering av bunkringsledningar: Slutligen inerteras ledningarna med kvävgas (som i steg 3).

5.3 Risker

Huvudsakliga risker associerade med LBG kopplar till dess låga temperatur, dess brännbarhet vid utsläpp som kan leda till brand eller explosion, att det är en kondenserad gas (som är kall och som ger upphov till höga tryck vid en temperaturökning) och risken för kvävning.

Händelser som kan leda till utsläpp av LBG

Exempel på händelser som kan orsaka utsläpp av LBG presenteras i Tabell 2. Observera att detta är ett urval och varje situation kräver en egen analys.

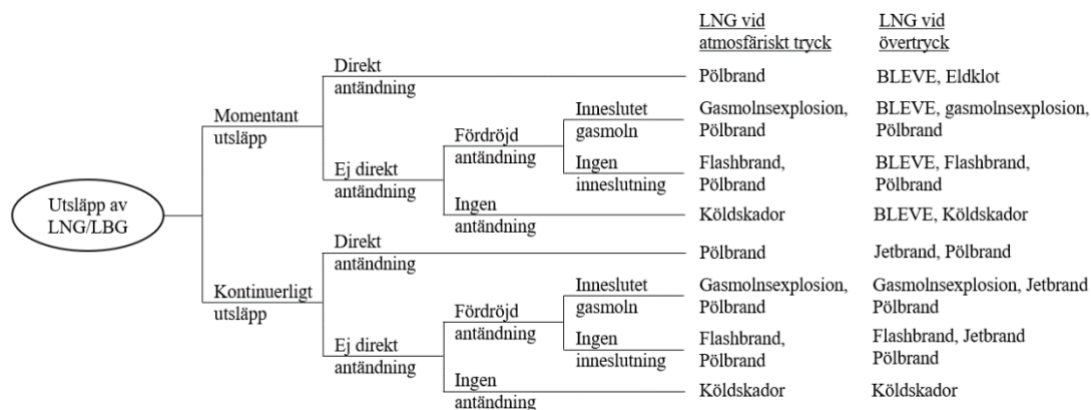
Tabell 3. Urval av händelser som kan leda till utsläpp av LBG.

Händelse	Möjlig(a) orsak(er)
Slangbrott, Rörbrott, Tankbrott	<ul style="list-style-type: none">- Fartyg eller lastbil förflyttar sig trots uppkoppling- Påkörning- Termisk expansion av innesängd LBG (stumfyllnad), vilket leder till kraftig tryckökning- Förångning av innesängd LBG, vilket leder till kraftig tryckökning- Materialförsprödning orsakad av låga temperaturer- Utmattning- Korrosion
Förångning av LBG i tankar leder till utsläpp genom säkerhetsventil	<ul style="list-style-type: none">- Stopp i ledning för boil-off- Varm utrustning- Plötslig omblandning i tank och plötslig förångning (rollover)- Brandpåverkan
Överfyllnad av tank	<ul style="list-style-type: none">- Fel i övervakningsfunktion eller fel i datorlogik- Bristande rutiner- Mänskligt felhandlande
Slang lossnar	<ul style="list-style-type: none">- Mänskligt felhandlande
Felaktigt öppnande av ventil	<ul style="list-style-type: none">- Bristande uppmärkning- Bristande kunskap- Bristande rutiner- Mänskligt felhandlande

Mindre läckage	<ul style="list-style-type: none"> - Otäta flänsförband - Termisk stress - Utmattning
----------------	--

Konsekvenser av ett utsläpp

I dokumentet ”Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations” (European Maritime Safety Agency (EMSA), 2018) återfinns ett händelsetråd som beskriver möjliga konsekvenser vid betydande utsläpp av LNG. Samma slutsatser bör gälla för LBG. Felträdet finns återgivet i Figur 2, i tillägg till de konsekvenser som presenteras där föreligger en kvävningsrisk då koncentrationen av syre i luften lokalt minskar till följd av ett utläckage. Tabell 3 innehåller exempel på olika konsekvenser och förklaringar.



Figur 8. Händelsetråd för möjliga händelser/konsekvenser av ett LBG-utsläpp. Översatt och återgivet från (European Maritime Safety Agency (EMSA), 2018) (BLEVE betyder Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

Tabell 4. Konsekvenser av LBG-utläckage och förklaringar.

Konsekvens	Beskrivning
Pölbrand	LBG förekommer som en pöl (flytande form) och brinner. Arean bestämmer strålningsvärme och flammhöjd, mängden dikterar maximal brinntid.
Flashbrand	Metan (LBG som förångats) föreligger i gasfas och brinner efter antändning. För antändning krävs koncentrationer inom brännbarhetsområdet. Varaktigheten av en flashbrand är relativt kort, branden kan i stället övergå till en jetbrand eller en pölbrand.
Jetbrand	En jetbrand eller jetflamma är brinnande gas som släpps ut från högt tryck, vilket ger en flamma som styrs av gasens momentum och därmed t.ex. kan breda ut sig sidledes eller rakt ner till skillnad från vanliga flammor som påverkas av stigkraften (buoyancy) och går rakt upp.

BLEVE, Eldklot	En BLEVE uppstår när ett kärl som innehåller överhettad vätska (över sin kokpunkt vid omgivningsbetingelser) fallerar katastrofalt. Detta orsakar en plötslig tryckvåg. I fallet med LBG riskerar gasen att antändas, vilket leder till ett eldklot.
Explosion	Antändning av brännbar gasblandning i kombination med inneslutningar. I fallet med metan utomhus tycks risken för explosion begränsad, men kan ej uteslutas. (European Maritime Safety Agency (EMSA), 2018)
Köldskador	Personer kan drabbas av frysskador och utrustning (t.ex. kolstål) riskerar att försprödas.
Plötslig förångning	Om LBG läcker ut till vatten kan en snabb förångning förväntas. Detta kan skapa en mindre explosionseffekt, en s.k. RPT, rapid phase transition. RPT olyckor har inträffat för LNG/LBG.

Riskbegränsande åtgärder

Exakt vilka riskbegränsande åtgärder som behöver vidtas är plats- och lösnings specifika. Det betyder att för varje installation bör en riskanalys utifrån gällande förutsättningar genomföras. Exempel på lämpliga riskanalysmetoder är grovriskanalys, faroidentifieringsworkshop (HAZID) och what if-analys i ett projektets tidigare skede samt Hazop ("hazard and operability studies") och QRA ("quantitative risk assessment", kvantitativ riskanalys) i projektets senare skede. I detta avsnitt följer förslag på åtgärder som kan vidtas för att minska risken vid hantering av LBG.

I tillägg till riskreduceringsförslagen i följande stycken gäller generellt att antalet personer som vistas inom ett definierat riskområde bör hållas till ett minimum och att obehöriga inte skall ha tillträde till platsen. Vidare gäller också att ju tidigare i ett händelseförlopp en risk förebyggs, desto mindre blir den totala risken.

Materialval

Material som används skall vara kompatibelt med LBG (kondenserad gas, -160 °C) eller skyddas på annat sätt. Kolstål som utsätts för låga temperaturer riskerar att bli sprött och måste därför skyddas, fartygsskrovet är ett sådant exempel. Skydd kan utföras i form av spillplåtar som leder bort läckage. Slangar bör vara testade och godkända enligt tillämplig(a) standard(er), exempelvis EN 1474-2 Installation och utrustning för flytande naturgas - Konstruktion och provning av marina överföringssystem - Del 2: Konstruktion och provning för överföringsslang (Svenska Institutet för Standarder (SIS), 2020) och ISO 27127:2021 Slang och slangledningar av flerlagrig termoplast (ovulkad) för

transport av gasol och kondenserad naturgas - Specifikation (Svenska Institutet för Standarder (SIS), 2021).

Överfyllnadsskydd

Tankar ska enligt EMSA (2018) vara utrustade med överfyllnadsskydd som automatiskt bryter fyllningen på ett säkert sätt. Vid behov bör automatiska system kompletteras med manuell övervakning. Kommunikation mellan fartygspersonal och personal på landsidan är här mycket viktig.

Trafik

Spärra av området och placera ut påkörningsskydd vid behov. Tillse att fordonet som lossar LBG inte riskerar att röra sig (stoppklossar).

Antändningskällor

Utöver EX-klassning av ett område (SS-EN 60079-10-1 Explosiv atmosfär: Klassning av områden med explosiv gasatmosfär (Svenska Institutet för Standarder (SIS), 2016)) och användande av EX-klassad utrustning gäller att antändningskällor ska beaktas vid design och drift. Exempelvis gnistor eller statisk elektricitet (SEK 433 Statisk elektricitet i explosionsfarliga områden (Svensk Elstandard (SEK), 2016) som delvis hanteras genom att lastbil inklusive släp jordas och att isoleringsfläns används för anslutning till fartyget (Svenska Institutet för Standarder (SIS), 2022).

Intertering/purging

Förutom den uppenbara risken med gas som kommer ut i luften, finns det en risk när luft tar sig in i en gasblandning. Genom att använda en inert gas, förslagsvis kvävgas för att tömma och inertera ledningar kan denna risk minskas. Se även steg 3 i den generiska proceduren för bunkring.

Tryckavlastning

För att undvika övertryck i utrustning skall den avsäkras. Avsäkring kan ske med säkerhetsventil och/eller sprängbleck. Utsläpp från sådana anordningar ska riktas till vad som kan bedömas som en säker plats.

Höga tryck kan uppstå om pump(ar) körs mot stängd ventil eller om innesluten LBG förångas över tid.

Nödavstängning

Bunkringsanläggningen bör vara utrustad med en anordning för snabb och säker nedstängning vid onormala drifhändelser så som läckage, brand, fordon-/skeppsrörelse, höga tryck, överfyllnad, etc. Utformningen kan exempelvis följa SS-EN ISO 20519:2020 (Svenska Institutet för Standarder (SIS), 2022). Digital kommunikation mellan fartyg och landsida är nödvändig.

Kopplingar och skydd mot slangbrott

För att underlätta koppling kan droppfri snabbkoppling användas. För att skydda mot oväntade laster, t.ex. om lastbilen börjar att rulla eller om fartyget plötsligt rör på sig (betydande rörelse) bör slangbrottsventiler användas. Syftet med en sådan ventil är att denna brister vid för hög belastning. Kopplingen är försedd med fjäderbelastade ventiler som kommer att stänga om den brister. Eventuellt bör kopplingen kompletteras med andra stängande ventiler. Vid installation av en slangbrottsventil kan rör- och slangsystem behöva fästas i mark för att säkerställa att det är kopplingen som brister.

Detektion

Tidig detektion av läckage och brand är alltid fördelaktigt. För detektion av läckage kan gasdetektorer eller värmekameror (LBG är kallt då det släpps ut) användas. För personsäkerhet och för att minska risken för kvävning kan personburna syrehaltsmätare användas.

Pölbrand

Som tidigare presenterats är strålningsvärmen från en pölbrand med LBG mycket större än för andra bränslen så som etanol och bensin, men även metanol (Evegren, 2017). Känslig utrustning bör därför placeras på ett tillräckligt avstånd, eller skyddas på annat vis. Förutom skydd i form av släcksystem, aktiv kylning och avskärmning kan man arbeta med att minska pölens area vid ett utsläpp. Exempelvis kan man konstruera en invallning (den totala volymen bör vara sådan att den största volymen + 10% av övrig volym ryms) där större läckage samlas upp. Invallningen bör inte ha en större area än nödvändigt. För att ytterligare minska värmestrålningen kan invallningen konstrueras med självfall till en del som är djupare och har en mindre area. Alternativt kan skumglas placeras i invallningen, skumglaset kommer att minska förångningen samtidigt som det kommer att göra en släckinsats enklare. (Persson & Rahm, 2010) Exempel på en kommersiell produkt där skumglas används är FOAMGLAS® PFS System (Intressentföreningen för Processäkerhet (IPS), n.d.).

Jetflamma

För att minska risken för jetflammar bör antalet läckagepunkter hållas till ett minimum, exempelvis genom att undvika onödiga flänsförband. Utlopp från säkerhetsventiler bör riktas åt ett säkert håll.

Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)

En BLEVE kan förhindras med hjälp av en eller flera säkerhetsventiler eller sprängbleck som förhindrar att trycket i tanken blir för högt. Konsekvensen av en BLEVE ökar med ökat tryck/temperatur vid ruptur och kan alltså mildras genom att låta behållaren falla vid ett lägre tryck. Vid nydesign behöver dessa två faktorer kalibreras med en betryggande säkerhetsmarginal.

Organisatoriska skyddsåtgärder

Exempel på organisatoriska skyddsåtgärder är väl etablerade och definierade roller (på land OCH fartygssida) och rutiner (vem gör vad och när), säkerställande av tillräcklig kunskap, en tydlig säkerhetskultur, rapportering och agerande på avvikelser, ett underhållssystem där underhållsbehov rapporteras och som hanterar förebyggande underhåll samt processer där riskanalys ingår som en naturlig del vid förändring. Risker för köldskador är en arbetsmiljöfråga som behöver hanteras. Rutiner för säker hantering behöver utarbetas, t.ex. gällande skyddskläder såsom kryohandskar och långa byxor över skorna.

Mängder

Mindre mängder och lägre flöden innebär totalt sett en lägre risk. Exempel är att inte samtidigt ha flera lastbilar uppställda för bunkring och att begränsa flödet för bunkring. Detta kan ske på bekostnad av bunkringskapacitet och en avvägning mellan mängd/flöde och kapacitet måste göras för varje installation/hamn.

Nödlägesplan

För att minska risken vid utsläpp skall en nödlägesplan finnas till hands. Denna bör beskriva vilka åtgärder som ska vidtas vid utsläpp och/eller brand, t.ex. hur utrymning ska ske, om utrustning behöver kylas, hur och vad som ska släckas, släckmedel, m.m.

5.4 Tillstånd för hantering av brandfarlig vara

Introduktion av LBG i en hamn kan medföra krav på att tillstånd för brandfarlig vara behöver förnyas, anskaffas eller uppdateras enligt lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE). Enligt uppgift från Räddningstjänsten Storgöteborg gäller att om det finns en fast installation (pumpar, rör, etc.) behövs inget tillstånd om den totala volymen understiger 1 000 L (oberoende av tryck och temperatur).

Tillståndet för brandfarlig vara skall innehas av den som har rådighet över LBG. Om ett tillstånd för brandfarlig vara behövs gäller att efter att komplett underlag inkommit har tillståndsmyndigheten (ofta den lokala räddningstjänsten) upp till tre månader på sig att meddela beslut. Det underlag som krävs för ett sådant tillstånd är sammanfattat i bilaga 2 i MSB:s handbok för ”Tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor”. (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), 2017)

Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE) (2010:1911) syftar till att ”hindra, förebygga, och begränsa olyckor och skador på liv hälsa, miljö eller egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion orsakad av varorna”. Lagen ställer exempelvis krav på att åtgärder och försiktighetsmått vidtas så att olyckor och skador hindras, att olyckor och skador utreds och förstås av den ansvarige samt att tillräcklig kompetens måste finnas. Lagens ställer också krav på att den som (i större mängd) hanterar brandfarliga varor har tillstånd för detta.

6 Diskussion

Projektet har belyst ett urval av viktiga förutsättningar som behövs för att förverkliga etableringen av LBG som ett bränsle för sjöfarten.

Fokus för projektet har inte varit att belysa olika nyttor med biogas och biogasanvändning men det kan vara värt att notera två betydande nyttor. Den första är att biogas är ett inhemskt producerat bränsle som är av särskild vikt med dagens säkerhetspolitiska läge. Den andra är att elektrifieringen av samhället, och den planerade produktionen av e-bränslen, förväntas lägga stor press på att bygga ut förnybar/fossilfri elproduktion för att kunna nå målen om växthusgasminskningar. Utökad biogasproduktion kan minska behovet av utbyggd elproduktion, då biogasproduktion kräver avsevärt mindre el för att tillhandahålla samma mängd bränsle som ett elektrobränsle så som e-metanol. Det kan därför vara en viktig pusselbit i övergången till ett mer elektrifierat samhälle.

Nedan diskuterar vi ett antal av de viktiga förutsättningar som behövs för att förverkliga etableringen av LBG mer specifikt.

6.1 Hur säkerställs tillgång till de volymer som efterfrågas?

Biogasen behöver bli mer storskalig sett till produktion och distribution för att bättre nå och uppfylla behoven hos nya avnämare med stor konsumtion, såsom exempelvis sjöfarten och industrin. För att storleksmässigt sätta det i relation så kan nämnas att det totala biogaspotentialen uppskattas till 22.2 TWh/år år 2030 och 28.9 TWh/år år 2045 (inklusive biogas från rötning, metanisering av koldioxid från uppgraderad biogas samt metanisering av syngas från förgasningsanläggningar) (Jivén et al., 2022). Den totala biogasproduktionen i Sverige år 2022 var 2.3 TWh och den totala användningen drygt 4.4 TWh (Energigas Sverige, 2023). Det kan jämföras med det totala behovet, där de deltagande aktörerna i detta projekt uppskattar ett behov på 3 TWh på kort sikt och upp emot 10 TWh på längre sikt.

I kontrast till detta så bygger biogasproduktion på lokala system och tillgång till lokala organiska restströmmar exempelvis matavfall och gödsel. Eftersom flertalet av dessa strömmar inte bör fraktas några längre sträckor av ekonomiska skäl, innebär det att biogasproduktion i stort sett alltid kommer vara lokal och att produktionskapaciteten per anläggning är begränsad i någon form.

I ett första steg är det kanske större biogasproducenter eller leverantörer som tillhandahåller den efterfrågade volymen, men med en anläggning som har en produktionskapacitet på ca 20 ton LBG/dag ca (100 GWh/år) och en användare som behöver 30 - 100 GWh per fartyg och år så krävs det ändå tillgång till flera biogasanläggningar för att tillhandahålla volymen som krävs till en bunkring. Dvs mängden LBG som krävs vid bunkring av ett fartyg som bunkrar 150 till 500 ton/bunkring är likvärdig med 7,5- 20 dagars produktion från en anläggning med produktionskapacitet på 20 ton LBG/dag. Detta förutsätter därmed

framförhållning hos fartyget med ett behov av biogas och någon form av lager vid hamn för att samla upp de volymer som krävs.

En stor fråga blir därför hur dessa volymer på ett enkelt sätt kan tillhandahållas till kunder som kräver större volymer. I teorin skulle logistiken kunna vara likvärdig den logistiska lösning som tillhandahåller LBG till de 30 LBG-tankstationer som är etablerade i Sverige idag. Vid transport till en tankstation brukar ett åkeri upphandlas av leverantören av LBG. En liknande logistiklösning, med vägtransport av LBG till fartyg för bunkring vid hamn, borde vara aktuell i det här fallet. Skillnaden mellan en tankstation och ett fartyg är volymerna som krävs, där en tankstations cistern på 70 ton kan fyllas upp med 2-3 lastbilstransporter medan ett fartyg som bunkrar 150 till 500 ton per gång kan behöva 6-20 lastbilstransporter av LBG till en bunkring.

Utöver dessa stora biogasanläggningar så finns det även mindre kommunala anläggningar, anläggningar på avloppsreningsverk, och lantbruksbaserade anläggningar som idag producerar biogas och som kan behöva nya kundsegment. Dessa produktionsenheter har mindre volymer (<5 ton LBG/dag) och här kan det behövas någon form av lagringskapacitet vid produktionsanläggning för LBG samt vid hamn för att kunna hantera låg produktionskapacitet samt ojämna transportflöden till hamn.

Förutom de logistiska lösningarna som krävs kan det även behövas nya lösningar kring marknadsplatser för att särskilt mindre producenter och större avnämare ska kunna identifiera varandra. Ett antal olika idéer och lösningar kring marknadsplatser för biogas har diskuterats under projektets gång och dialog mellan biogasproducenten och biogaskunden fortsätter efter projektets slut. Från biogasproducentens sida vill man identifiera ett system som gör det enkelt att nå nya kunder med sin gas. Från köparens sida vill man förenkla processen genom att ha en kontaktpunkt som man kan handla biogas genom och man vill säkerställa att priset är marknadsmässigt.

6.2 Smarta avtal är viktigt

En gemensam ståndpunkt för kunden och bränsleleverantören är att långsiktiga avtal är att föredra. När det gäller pris och betalningsvilja så finns det flera faktorer som påverkar idag och som kommer påverka prissättningen framöver. Indexeringen gentemot naturgaspriset är ingen nödvändighet utan skulle kunna frångås utifrån flera aktörers perspektiv givet ett öppet marknadspris genom alla led från produktion till slutanvändning. Biogasproducenten måste dock säkerställa täckning för vissa kostnadsposter som kan variera, exempelvis priset på elektricitet.

Betalningsviljan hos slutkunden är en viktig aspekt för affären där transportköparen kan lyfta biogasproduktionen som en positiv effekt och därmed ha en möjlighet att ta ett högre pris. Dessutom tros både betalningsviljan och kraven från transportköparen att öka framöver.

Med det stora intresset för biogas som finns som ersättare för fossil naturgas, både i sjöfarten och industrin är det tänkbart att konkurrensen om bränslet ökar och priset likaså, vilket även borde kunna hanteras via smarta avtal.

6.3 Inga tekniska hinder identifierade gällande att ersätta LNG med LBG

I stort sett finns inga tekniska hinder för användningen av biogas inom sjöfarten, däremot krävs ny infrastruktur och möjligen även logistiska lösningar för att möjliggöra en utbredd användning inom sjöfarten.

Att det i dagsläget finns ett begränsat utbud av LBG tros inte vara ett hinder för utbyggnaden av produktionskapaciteten. Idag har exempelvis de flesta större anläggningar som ska etableras kommande år planerat att även ha förvätskningsanläggning, vilket kan bidra till att tillgodose ett förväntat ökat framtida behov av LBG till sjöfart.

7 Slutsats och rekommendationer

Projektet bidrar med vetenskapligt baserat beslutsstöd för valet av möjliga lösningar för att uppfylla växthusgasmålen för sjöfarten genom att ersätta främst LNG med LBG.

Från tidigare projekt som har genomförts inom området kan projektet se att utvecklingen har fortsatt framåt. Flera biogasanläggningar har gått från planeringsstadiet till att byggas och på policynivå så finns det nya styrmedel som styr produktionen mot förvätskning samt användningen av bränsle inom sjöfarten mot grönare alternativ. Dessutom är det tydligt att sjöfarten fortsatt vill och kan använda LBG som bränsle, vilket tydligt kommuniceras från de svenska rederier som projektet varit i kontakt med.

Projektet har identifierat ett antal slutsatser och rekommendationer för det fortsatta arbetet inom området:

- Potentialen för biogas är stor och outnyttjad
- Intresset från sjöfartsaktörer är stor då de ser biogas som en strategisk lösning
- Den fortsatta dialogen mellan aktörerna (sjöfartsaktörer, biogasproducenter och transportköpare) är en viktig förutsättning för att få till en ökad användning av LBG inom svensk sjöfart
- Lösningar för distribution och logistik (i form av planering av inköp, transport och lagerhållning etc) av LBG behöver utvecklas då det idag ofta är omständligt och svårt att få LBG levererat ombord till fartyg på annat sätt än via de LNG terminaler som finns. Detta kan handla om fast infrastruktur för lagring av LBG i hamnar men också lösningar där LBG kan köpas via massbalans.
- Överenskommelser/avtal behövs kring pris mellan aktörer som är långsiktiga och i större grad grundar sig på kostnader för att producera och tillhandahålla LBG till skillnad från idag då det ofta grundar sig på aktuellt handelspris för tex LNG.
- Etablering av en fungerande ”marknadsplats” för säljare och köpare av gas som förenklar för säljare och köpare av LBG att mötas och som även skapar en mer transparent marknad. Det är särskilt aktuellt för mindre biogasproducenter som inte besitter en tillräcklig volym själva för att möta biogasbehovet hos ett enskilt fartyg.
- För att öppna för att fler aktörer ska ha möjlighet att använda sig av gröngasprincipen och kunna sälja till sjöfarten (och andra avnämare) i flytande form så kan skattesystemet behöva ses över för att möjliggöra att biogasen kan ändra aggregationstillstånd, från gasfas till flytande gas och vice versa och ändå fortsätta anses vara biogas och inte fossil gas.
- En satsning på biogas inom sjöfarten kan även ses som en åtgärd som kan lätta på trycket för det stora elbehov som är synligt just nu. Biogas kan där fungera bra i en övergångsfas mot elektrifieringen.

Projektet har tagit de teoretiska beräkningarna kring potentialen för produktion och avsättning som är gjorda i tidigare projekt och bekräftat dem med aktörer och bekräftat att LBG är en möjlig väg, som också efterfrågas. Men varje enskild aktör har svårt att agera själv, så det krävs konsolidering och samordning. För biogasaktörerna så kan sjöfartsaktörerna vara en möjliggörare för att hitta en långsiktig kund som säkerställer investeringar. För sjöfartsaktörerna är biogasproducenterna en möjlig och intressant lösning för att åstadkomma en grön omställning av sin verksamhet.

8 Referenser

- Betteridge, S., & Phillips, L. (2015). *Large scale pressurised LNG BLEVE experiments*. 160.
- Bilgili, L. (2023). A systematic review on the acceptance of alternative marine fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113367. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113367>
- Biokraft. (2023). *Delårsrapport Q2 Januari—Juni 2023*.
https://www.biokraft.com/media/qencruun/q2-2023_sv.pdf
- BIP Europe. (2023a). *Teaming up to achieve 35 bcm of sustainable biomethane by 2030*. BIP Europe.
<https://bip-europe.eu/>
- BIP Europe. (2023b). *Insights into the current cost of biomethane production from real industry data*.
- Blanchat, T., Helmick, P., Jensen, R., Luketa, A., Deola, R., Suo, J., Mercier, J., Miller, T., Ricks, A., Simpson, R., Tieszen, S., & Hightower, M. (2011). *Summary of the Phoenix Series Large Scale LNG Pool Fire Experiments*.
- Chalmers tekniska högskola. (2023, February 7). *Transportinköspanelen i Northern LEAD*.
<https://www.chalmers.se/centrum/northern-lead/transportinkopspanelen/>
- DNV. (2023). *Energy Transition Outlook 2023 – Maritime Forecast to 2050*.
<https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-2023/index.html>
- Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Energiföretagen Sverige. (2023). *Skatter och avgifter*. Energiföretagen.
<https://www.energiforetagen.se/energifakta/elsystemet/energibranschen-viktig-for-svensk-ekonomi/skatter-avgifter/>
- Energigas Sverige. (2023, January 12). *Statistik om biogas*. Statistisk om biogas.
<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/statistik-om-biogas/>
- Energimyndigheten. (2023a). *Energianvändning i transportsektorn (inrikes och utrikes) uppdelad på transportslag samt bränsleslag, 1970-*. PxWeb.
http://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Transportsektorns_energianvandning/-/EN0118_3.px/

Energimyndigheten. (2023b). *Frågor och svar om biogasstödet*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/stod-och-bidrag-pa-fornybartområdet/stod-till-produktion-av-biogas/fragor-och-svar-om-biogasstodet/>

Energimyndigheten. (2023c). *Hållbarhetsbesked*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/hallbarhetsbesked/>

Energimyndigheten. (2023d). *Massbalans och spårbarhet*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/fragor-och-svar/massbalans-och-sparbarhet/>

Energimyndigheten. (2023e). *Oberoende granskning*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/fragor-och-svar/oberoende-granskning/>

Energimyndigheten. (2023f). *Stöd till produktion av biogas*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/stod-och-bidrag-pa-fornybartområdet/stod-till-produktion-av-biogas/>

European Biogas Association. (2023). *EBA Statistical Report 2023*.

<https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2023/>

European Commission. (2023). *Voluntary schemes*. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en

European Maritime Safety Agency (EMSA). (2018). *Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations*.

European Union. (2019). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/1242 av den 20 juni 2019*

om fastställande av normer för koldioxidutsläpp från nya tunga fordon och om ändring av

Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 595/2009 och (EU) 2018/956 och rådets

direktiv 96/53/EG. <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1242/oj/swe>

Europeiska kommissionen. (2022). *Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, Europeiska*

Rådet, Rådet, Europeiska Ekonomiska och Sociala kommittén samt Regionkommittén, Planen

- REPowerEU. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0230>
- Evegren, F. (2017). *proFLASH: Methanol fire detection and extinguishment*.
- Gavelli, F., Chernovsky, M. K., & Kytomaa, H. K. (2008). *Lng Pool Fire Models: Similarities and Differences* | AICHE. <https://www.aiche.org/conferences/aiche-spring-meeting-and-global-congress-on-process-safety/2008/proceeding/paper/lng-pool-fire-models-similarities-and-differences>
- Hagman, L., & Eklund, M. (2016). *The role of biogas solutions in the circular and bio-based economy*.
- Intressentföreningen för Processsäkerhet (IPS). (n.d.). *Konsekvensanalys; Utflöde av gaser och vätskor, brand och explosion*. Konsekvensanalys; Utflöde Av Gaser Och Vätskor, Brand Och Explosion. Retrieved December 20, 2023, from <https://ips.se/?cid=869>
- Jivén, K., Hjort, A., Malmgren, E., Persson, E., Brynolf, S., Lönnqvist, T., Särnbratt, M., & Mellin, A. (2022). *Can LNG be replaced with Liquid Bio-Methane (LBM) in shipping?* IVL Svenska Miljöinstitutet AB. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-4042>
- Jordan, T. (IKET). (2021). *PRESLHY Project Deliverable*.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). (2017). *Handbok – Tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor*.
- Naturvårdsverket. (2008). *Effekter av investeringsprogrammen LIP och Klimp*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1623540/FULLTEXT01.pdf>
- Naturvårdsverket. (2013). *Klimatinvesteringsprogrammen Klimp 2003-2012 Slutrapport*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1614166/FULLTEXT01.pdf>
- Naturvårdsverket. (2023, November 1). *Klimatklivet*. <https://www.naturvardsverket.se/klimatklivet>
- Naturvårdsverket. (2023, November 23). *Ansökningar till Klimatklivet* [Personal communication].
- Nordion Energi. (2023). *Hållbarhetsredovisning 2022*. https://nordionenergi.se/download/18.5fc07afd1885167231530ccc/1686644949280/Nordion_Energi_hallbarhetsredovisning_2022_sv.pdf

- Panayides, P. M. (2019). *The Routledge Handbook of Maritime Management*. Taylor & Francis.
<https://books.google.se/books?id=uzz3DwAAQBAJ>
- Persson, H., & Rahm, M. (2010). *Användning av expanderat glas som brandskydd inom petrokemisk industri*.
- Regeringskansliet. (2023). *Klimatklivet och andra klimatsatsningar stärks 2024 med 4 miljarder kronor* [Text]. Regeringskansliet; Regeringen och Regeringskansliet.
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/09/klimatklivet-och-andra-klimatsatsningar-starks-2024-med-4-miljarder-kronor/>
- Science Based Targets. (2023). *Frequently Asked Questions on Maritime Transport Targets*.
<https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBTi-Maritime-FAQ.pdf>
- Sjöström, J., & Andersson, P. (2013). *Thermal Exposure From Burning Leaks on LNG Hoses: Experimental Results*.
- Sjöström, J., Appel, G., Amon, F., & Persson, H. (2015). *ETANKFIRE – Experimental results of large ethanol fuel pool fires*.
- Skatteverket. (2012). *Leverans av gas via rörledning—Tillämpning av 2 kap. 2 a § lagen om skatt på energi* [Text]. <https://www4.skatteverket.se/rattsligvagledning/edition/2023.16/323659.html>
- Skatteverket. (2018, February 28). *Gas som matas ut från ett naturgasnät i ett annat EU-land och transporteras till Sverige kan anses vara biogas enligt lagen om skatt på energi* [Text].
<https://www4.skatteverket.se/rattsligvagledning/edition/2023.16/368754.html>
- Skatteverket. (2021). *Framställning av energiprodukter-biogas* [Text].
<https://www4.skatteverket.se/rattsligvagledning/edition/2023.16/401753.html>
- Skatteverket. (2023, March 7). *Beslut om skattebefriad biogas och biogasol ogiltigförklarat* [Text].
<https://www.skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/punktskatter/nyheterinompunkt-skatter/2023/nyheterinompunktskatter/beslutomskattebefriadbiogasochbiogasologiltigfor-orklarat.5.48cfd212185efbb440b47b0.html>
- Statistiska Centralbyrån. (2023a, February 17). *Leveranser av fordonsgas år 2009–2022, totalt*.
Leveranser av fordonsgas år 2009–2022, totalt. <https://www.scb.se/hitta->

- statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/leveranser-av-fordonsgas/pong/tabell-och-diagram/leveranser-av-fordonsgas-ar-20092022-totalt/
- Statistiska Centralbyrån. (2023b, December 20). *Leveranser av flytande fordonsgas, månadsvärden*.
Leveranser av flytande fordonsgas, månadsvärden. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/leveranser-av-fordonsgas/pong/tabell-och-diagram/leveranser-av-flytande-fordonsgas-manadsvarden2/>
- Svensk Elstandard (SEK). (2016). *SEK Handbok 433—Statisk elektricitet i explosionsfarliga områden* (SEK Handbok 433, utg 2:2016).
- Svenska Institutet för Standarder (SIS). (2016). *Explosiv atmosfär—Del 10-1: Klassning av områden med explosiv gasatmosfär* (Svensk Standard SS-EN 60079-10-1).
- Svenska Institutet för Standarder (SIS). (2020). *Installation och utrustning för flytande naturgas—Konstruktion och provning av marina överföringsystem—Del 2: Konstruktion och provning för överföringslang* (SVENSK STANDARD SS-EN 1474-2:2020/AC:2023).
- Svenska Institutet för Standarder (SIS). (2021). *Slang och slangledningar av flerlagrig termoplast (ovulkad) för transport av gasol och kondenserad naturgas—Specifikation (ISO 27127:2021, IDT)* (Svensk Standard SS-ISO 27127:2021).
- Svenska Institutet för Standarder (SIS). (2022). *Skeppsteknik—Specifikation för bunkring av flytande naturgas som fartygsbränsle (ISO 20519:2021)* (Svensk Standard SS-EN ISO 20519:2022).
- SVT Nyheter. (2023, March 9). Biogasbolag drabbas av skattechock – ”hårt slag”. *SVT Nyheter*.
<https://www.svt.se/nyheter/inrikes/biogasbolag-drabbas-av-skattechock-hart-slag>
- Wang, S., Liu, Y., Wang, H., & Du, Y. (2023). Paradox of Book and Claim for Carbon Emission Reduction in Maritime Operations Management: Mathematical Models and Numerical Experiments. *Mathematics*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/math11214410>
- Westlund, Å., Berggren, R., Jacobsson, R., Lundberg, L., & Billquist, B. (2019). *Mer biogas! För ett hållbart Sverige, SOU 2019:63*.
https://www.regeringen.se/contentassets/19fc575360724f2492bea2cb9e25b7e8/sou_2019_63_webb_rev.pdf

Zhang, B., Laboureur, D. M., Liu, Y., Gopalswami, N., & Mannan, M. S. (2018). Experimental Study of a Liquefied Natural Gas Pool Fire on Land in the Field. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(42), 14297–14306. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b02087>

Bilaga 1. Urval av intervjufrågor

Allmänna frågor

- Vad behöver biogasbranschen för att få igång produktion respektive bygga en fungerande marknad?
- Vad behövs för att kunna samla tillräckligt stora volymer biogas för att uppnå lönsamhet för förvätskning?
- Vilka säkerhetsaspekter ser ni i samband med hantering av biogas i hamnar?
- Vilka förändringar av teknik, säkerhet, upplägg skulle krävas för att bunkra i nya hamnar eller på nytt sätt (tex byte från bunkerbåt till lastbilar)?
- Hur ser ni på att köpa/hantera LBG genom massbalans och certifikat men använda sig av LNG-molekyler.
- Hur ser marknaden ut just nu kostnadsmässigt (LNG/LBG prisskillnader)
- Hur ser tillgången på LNG/LBG ut just nu?
- Finns det intresse av att delta i träffar/workshop kring marknads- respektive säkerhetsfrågor?

Branschorganisationer:

- I projektets kartläggning av planerade biogasanläggningar, är det någon som saknas?
- Hur ser ni på att samarbeta mellan biogasanläggningar och etablera en gemensam förvätskningsanläggning?
- Hur tror ni att inköpsprocesser kan förenklas så att nya köpare kan nås?
- Hur ser ni på indexeringen av biogaspriset gentemot naturgas?

Hamnen:

- Vilken logistik krävs för hantering av LBG?
- Har ni några planerade projekt när det gäller bunkring och lagring av metan?
- Vilka barriärer ser ni för den här utvecklingen?
- Vilka alternativ ser ni för bunkring och infrastruktur?
- Vilka CAPEX oх OPEX kostnader uppskattar ni finns för bunkring och/eller lagring av biogas i hamnen?
- Vilket pris tror ni kan tas för användning / nyttjande av en pipeline?
- Ser ni några särskilda säkerhetsaspekter med att hantera och lagra LBG i hamnen? Vilka säkerhetsaspekter tror ni skulle vara viktigast/mest utmanande för er?

Rederierna:

- Vilka biogasaktörer ha ni varit i kontakt med?
- Vilken sorts kontakt skulle ni vilja ha och vilka nätverk?
- Vad saknas för att kunna handla och bunkra effektivt?

- Hur skulle ni vilja handla med biogas?
- Hur stort är ert behov på kort och lång sikt? Hur stora volymer?
- Hur ser upptrappningen ut tids- och volymmässigt?
- Har ni några preferenser vad gäller teknik för bunkring (tryck, tid, kapacitet)?
- Var befinner ni er geografiskt och var skulle ni vilja bunkra?
- Vilka önskemål har ni när det gäller längd på avtal & premisser i avtalen?
- Hur ser ni på indexeringen av biogaspriset gentemot naturgas?
- Ser ni några säkerhetsaspekter med att hantera och lagra LBG i hamnen? Vilka säkerhetsaspekter tror ni skulle vara viktigast/mest utmanande för er?

Bilaga 2. Litteratur rörande säkerhetsfrågor

I detta avsnitt följer en sammanfattning av publikationer som kan vara av intresse för den som avser att hantera LBG. En fullständig utvärdering av litteratur, har på grund av detta projekts omfattning, inte varit möjlig. Därför presenteras viss litteratur med en kortare sammanfattning, medan annan litteratur bara pekas ut som intressant.

Standarder

SS-EN ISO 20519:2022 Skeppsteknik – Specifikation för bunkring av flytande naturgas som fartygsbränsle (ISO 20519:2021)

Denna standard beskriver bunkring av LNG och har skapats för att stötta ”IMO International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF-koden)”. Standarden innehåller bland annat information om utrustning, rutiner, utbildning samt riskhantering. Standarden specificerar även utförande av nödstängningssystemet. Standarden innehåller också exempel på checklistor inför bunkring av LNG.

SIS-ISO/TS 18683:2022 Riktlinjer för säkerhet och riskbedömning vid bunkring av flytande naturgas

Standarden är i mycket en fördjupning och vidgning av denna rapport. Den beskriver syftet och vad som ska täckas av en riskanalys. Standarden beskriver också roller som bör ingå i riskanalysen och exemplifierar metoder som kan användas för att bättre förstå risker. Vidare finns exempel på olycksorsaker, möjliga konsekvenser, funktionskrav, skyddsåtgärder och hur riskzoner kan bestämmas.

Övriga standarder

- SS-EN 60079-10-1 Explosiv atmosfär - Del 10-1: Klassning av områden med explosiv gasatmosfär
- SS-EN 1474-2:2020 Installation och utrustning för flytande naturgas - Konstruktion och provning av marina överföringssystem - Del 2: Konstruktion och provning för överföringsslang
- SS-EN 13766:2018+A1:2020 Slang och slangledningar av flerlagrig termoplast (ovulkad) för transport av gasol och kondenserad naturgas - Specifikation
- NFPA 59A Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG)
- SS-EN ISO 16904:2016 Petroleum- och naturgasindustrier - Konstruktion och provning för marina lastarmar för konventionella terminaler på land för flytande naturgas (ISO 16904:2016)
- SS-EN 1473:2021 Installation och utrustning för flytande naturgas - Konstruktion av pålandsinstallationer

- ISO 16903:2015 Petroleum and natural gas industries – Characteristics of LNG, influencing the design, and material selection
- SS-EN ISO 23306:2020 Specifikation av flytande naturgas som bränsle för marina applikationer
- SS-EN 12308 Installationer och utrustning för flytande naturgas (LNG) – Lämplighetstest för packningar till flänsar i rörledningar till LNG

Vägledning

Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations

Europeiska sjösäkerhetsbyrån (EMSA, En. European Maritime Safety Agency) har sammanställt och publicerat ett gediget material kring LNG-bunkring. En rekommendation är att noggrant studera detta material för att bättre förstå risker, skyddsåtgärder, krav och procedurer. Rapporten [1] riktar sig primärt till hamnar och täcker regelverk, drift, tillstånd, risk och säkerhet, nödläge, kvalitetsledning, certifiering och träning.

I publikationen diskuteras kring olika anläggningar och om de faller under Sevesoregelverket eller inte. I fallet med bunkring från lastbil till fartyg är indikationen att det normalt inte faller under kraven för Sevesoanläggningar. Flera lastbilar som står uppställda för samtidig lossning via en manifolder pekas dock ut som ett tillfälle där mer utredning behövs. Sevesoanläggning eller ej, så belyser dokumentet fördelar med att följa samma arbetssätt som om det vore en Sevesoanläggning.

Rapporten avhandlar även regelverk och standarder inom området LNG-bunkring. Rapporten ger också förslag på utrustningsval, vissa designförslag, samt risker kopplade till hanteringen av LNG. Som riskminimerande åtgärder nämns bland annat nödlägesavstängning (enligt EN ISO 20519 [15]), slangbrottsventil, droppfria kopplingar och spillplåtar (för att undvika försprödning av fartygsskrovet vid spill av LNG). Rapporten diskuterar också kring risken för statisk uppladdning och vagabonderande strömmar.

IACS No. 142: LNG Bunkering Guidelines

IACS är en internationell organisation för klassningssällskap. Dokumentet innehåller riktlinjer för LNG-bunkring. Dokumentet innehåller en sammanställning över tillämpbara standarder, ansvar och roller vid bunkring, tekniska krav, riktlinjer för riskanalys, förslag på hur riskzoner kan definieras och funktions- samt allmänna krav för en bunkringsanläggning.

Lagar och föreskrifter

- MSBFS 2020:1 Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler
- SÄIFS 1990:2 Sprängämnesinspektionens föreskrifter om hantering av brandfarliga gaser och vätskor i anslutning till vissa transportmedel (har för gaser ersatts av MSBFS 2020:1)

- SRVFS 2004:7 Statens räddningsverks föreskrifter om explosionsfarlig miljö vid hantering av brandfarliga gaser och vätskor
- SÄIFS 2000:4 Sprängämnesinspektionens föreskrifter om cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar för brandfarlig gas
- DNV-RP-G105 Development and operation of liquefied natural gas bunkering facilities
- International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF code)

Bilaga 3. Fördjupning värmestrålning

I detta avsnitt följer en fördjupning med ytterligare information om värmestrålning från LNG/LBG-bränder samt etanol- och bensinbränder.

Värmestrålning från LNG/LBG-bränder

Zhang et al. [5] mätte värmestrålning från en pölbrand med LNG (99,5% metan). Storleken på pölen var 10,1 m × 6,4 m, medelvinden vid försöken var 4 m/s. Värmestrålningen mättes i medvind och vinkelrätt mot vinden. (Zhang et al., 2018) Resultatet är sammanfattat i Tabell 1.

Tabell 5. Uppmätt värmestrålning från en pölbrand med LNG, enligt (Zhang et al., 2018).

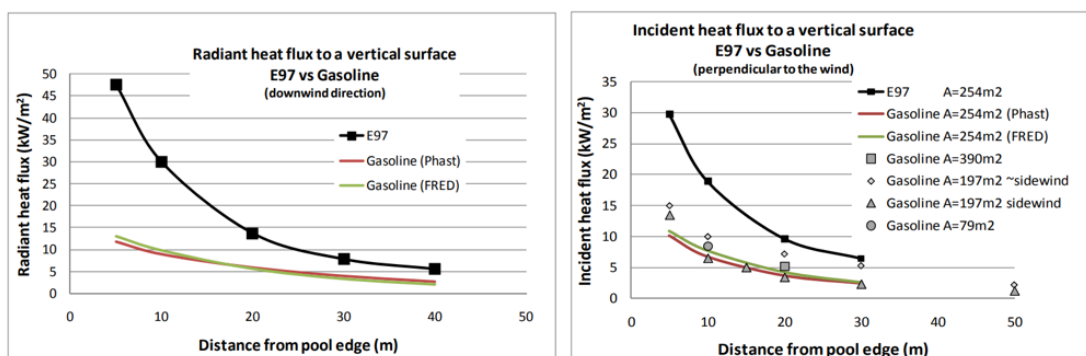
Avstånd från pölens centrum [m]	Avstånd från pölens kant [m]	Värmestrålning [kW/m ²]	
		Medvind	Vinkelrät vind
13	10	108	-
15	10	-	30
20	15	-	22
23	20	33	
25	20	-	18
28	25	30	-
35	30	-	5

Gavelli et al. utvärderade olika matematiska modeller för värmestrålning från en pölbrand med LNG. Exempelvis ger en stor LNG-pölbrand med en diameter på 100 m en värmestrålning på 5 kW/m² 300–500 m från pölens centrum, beroende på val av modell. (Gavelli et al., 2008)

För att studera värmestrålning från ett hål i ett rör eller en sprucken slang utförde Sjöström et al. försök med LNG (~10 bar) som tilläts läcka ut och därefter antändas. Slangar med diameter 1" och 2" studerades, dessa var försedda med ett yttre hölje av en fläta i rostfritt stål. I slangarna gjordes hål som kan sägas motsvarar sprickor (ca 1 mm breda och 30 mm (för 1" slang), respektive 60 mm (för 2" slang) långa). För slangerna med den mindre diametern uppgick lågorna till 1–3 m och värmestrålningen på 3 m horisontellt avstånd var som högst ca 7 kW/m². För slangerna med den större diametern uppgick lågorna till 6–7 m och värmestrålningen på 6 m och 9 m horisontellt avstånd uppgick som högst till respektive ca 11 kW/m² och 6 kW/m². (Sjöström & Andersson, 2013)

Värmestrålning från etanol- och bensinbränder

Som jämförelse till presenterad värmestrålning från pölbränder med LNG/LBG presenteras här uppmätt och modellerad värmestrålning från pölbränder med etanol respektive bensin (Figur 1). Observera att pölbrandens yta här är mycket större än den som ligger till grund för data presenterad i Tabell 1, trots det är värmestrålningen avsevärt lägre än i fallet med LNG/LBG. I praktiken betyder det att det finns anledning att se över brandskyddet för hamnar som tidigare hanterat brännbara vätskor, men som nu även avser att hantera LBG, framför allt för stora spill som ger pölar med en diameter över 5 m. Hur stor pölen blir beror på utsläppets storlek, förångning, och markens beskaffenhet. Exempelvis en pöl med 5 m diameter och 2 cm höjd har en volym av 0,4 kubikmeter.

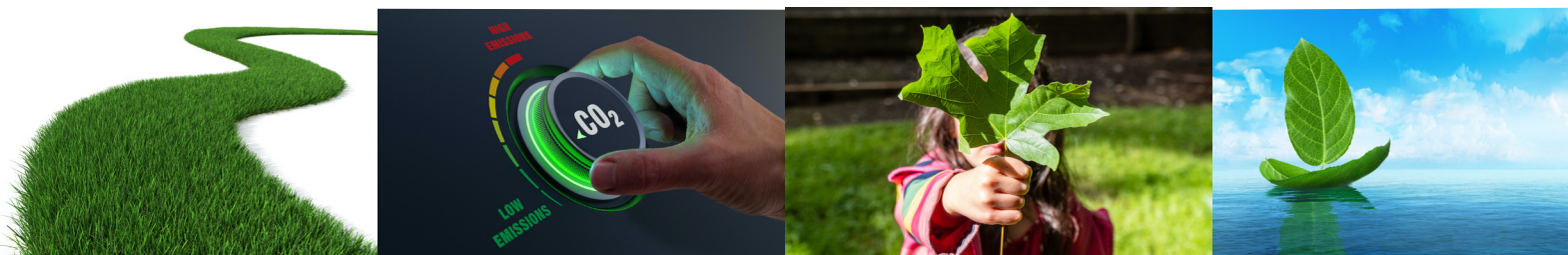


Figur 9. Vänster: Värmestrålning från E97 (etanol) och bensin vid olika avstånd från pölbrandens kant, medvind, $A = 254 \text{ m}^2$. Höger: Värmestrålning från E97 (etanol) och bensin vid olika avstånd från pölbrandens kant, vinkelrät vind. Återgiven från (Sjöström et al., 2015), med tillstånd.



Lighthouse gathers leading maritime stakeholders through a Triple-Helix collaboration comprising industry, society, academies and institutes to promote research, development and innovation within the maritime sector with the following vision:

Lighthouse – for a competitive, sustainable and safe maritime sector with a good working environment



LIGHTHOUSE PARTNERS



LIGHTHOUSE ASSOCIATE MEMBERS

