**Nr B 2448**
Juni 2022

# Bioenergianläggning Otterbäcken

**På uppdrag av** Gullspångs kommun

Theo Nyberg, Sofia Klugman, Mirjam Särnbratt, Pavinee Nojpanya, Anders Hjort, Emelie Persson, Anton Fagerström, Tomas Lönnqvist

ivl SVENSKA MILJÖINSTITUTET

Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden
LEADER
VÄSTRA GÖTALANDSREGIONEN
Gullspångs kommun

**Författare:** Theo Nyberg, Sofia Klugman, Mirjam Särnbratt, Pavinee Nojpanya, Anders Hjort, Emelie Persson, Anton Fagerström, Tomas Lönnqvist
**På uppdrag av:** Gullspångs kommun
**Rapportnummer** B 2448
**ISBN** B 978-91-7883-408-2

**© IVL Svenska Miljöinstitutet 2022**
IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

# Innehållsförteckning


Sammanfattning ..... 5

1 Inledning ..... 6

2 Bakgrund ..... 7

2.1 Styrmedel ..... 7
2.2 Produkten ..... 8

3 Teknikkartläggning ..... 9

3.1 Förgasning ..... 9

3.1.1 Fischer-Tropsch ..... 9
3.1.2 Metanisering ..... 10

3.2 Snabbpyrolys ..... 10
3.3 Hydrotermisk förvätskning ..... 11
3.4 Intregrerad hydropyrolys och hydrokonvertering ..... 11
3.5 Rötning ..... 11

3.5.1 Uppgradering av biogasen ..... 12
3.5.2 Förvätskning ..... 12
3.5.3 Metanisering i samband med uppgradering ..... 12

4 Råvarukartläggning ..... 13

4.1 Icke-rötbar råvara ..... 14

4.1.1 Metod ..... 14
4.1.2 Resultat ..... 15

4.2 Rötbar råvara ..... 16

4.2.1 Metod ..... 16
4.2.2 Resultat ..... 18

4.3 Sammanfattning av kartläggningar ..... 20

5 Investeringskoncept ..... 20

5.1 Investeringskoncept 1 – Pyrolysolja ..... 21

5.1.1 Teknikbeskrivning ..... 21
5.1.2 Råvara ..... 22
5.1.3 Affärsmodell ..... 22
5.1.4 Ekonomisk bedömning ..... 23

5.2 Investeringskoncept 2 - LBG ..... 24

5.2.1 Teknikbeskrivning ..... 24
5.2.2 Substrat ..... 25
5.2.3 Lokala förutsättningar för avsättning och konkurrens ..... 25
5.2.4 Affärsmodell ..... 26
5.2.5 Ekonomisk bedömning ..... 26
5.2.6 Slutsatser investeringskoncept ..... 29

6 Klimatpåverkan ..... 29

6.1 Livscykelbeskrivning ..... 30
6.2 LCA resultat och tolkning ..... 31
6.3 Känslighetsanalys ..... 33
6.4 Slutsatser och diskussion kring LCA-beräkningar ..... 33

7 Slutsatser från projektet ..... 33

7.1 Vägar framåt ..... 34

8 Appendix ..... 36

8.1 Omvandlingsfaktorer råvarukartläggning ..... 36
8.2 Bakomliggande data – ekonomisk bedömning ..... 36
8.3 Bakomliggande data – LCA ..... 38

9 Referenser ..... 40

# Sammanfattning

Transportsektorns efterfrågan på biodrivmedel ökar när klimatomställningen ska omsättas i praktik. Sverige har goda förutsättningar att producera dessa drivmedel och det finns flertalet orter runt om i landet där förutsättningarna för biodrivmedelsproduktion är goda. Gullspångs kommun har under de senaste tio åren fört en dialog med Västra Götalandsregionen om möjligheten att etablera en bioenergikombinatanläggning i Otterbäcken för att nyttja de goda förutsättningar som finns med tillgång på råvara samt goda logistiska förutsättningar med bland annat djuphamnen. I detta projekt har en utredning gjorts för att ta fram kommersiellt relevanta investeringskoncept för en bioenergikombinatanläggning i Otterbäcken, och resultaten pekar på intressanta förutsättningar för en anläggning för produktion av flytande biometan (Liquified biogas, LBG).

Projektet har utgått från en äldre förstudie där förutsättningarna för en bioenergikombinat-anläggning som producerar torrefierad biomassa undersöktes. Kunskaperna från denna tidigare studie har kompletterats med nya kartläggningar av relevanta tekniker och lokala råvaror som kan ingå i ett investeringskoncept för en anläggning som producerar biodrivmedel som kan användas i befintliga tunga lastbilar. Kartläggningen omfattade sju olika tekniker som utifrån de uppdaterade kartläggningarna kondenserades ned till två investeringskoncept för djupare undersökning av investeringskoncept. Det ena konceptet var en anläggning för produktion av pyrolysolja från skogsrester och det andra konceptet var en anläggning för produktion av LBG, men på grund av en högre teknologisk mognadsgrad samt större intresse från referensgruppen för det senare konceptet (LBG) så fick detta ett större fokus i projektet.

De två fördjupade investeringskoncepten inkluderade teknikbeskrivning, skiss på affärsmodell med hjälp av referensgruppen, ekonomisk bedömning av lönsamheten i investeringen samt en beräkning av klimatpåverkan för drivmedlet (endast för LBG-konceptet).

Resultaten visar att det ser ut att finnas både råvaror för, teknik till och förutsättningar för en god ekonomi i en anläggning för produktion av LBG. Råvarusituationen behöver bekräftas genom kontakter med råvaruleverantörer, tekniken kan behöva viss utvärdering för att hitta etablerade teknikleverantörer med pålitlig teknik och de ekonomiska förutsättningarna är beroende av investerings- och produktionsstöd för att kunna vara kommersiellt intressanta. Trots dessa osäkerheter är den samlade bedömningen att det kan vara aktuellt för en aktör eller grupp av aktörer med intresse av att äga och driva en biogasanläggning att ta vid där projektet slutar för att på sikt gå vidare med en investering i en anläggning.

# 1 Inledning

Ett bioenergikombinat i Otterbäcken utreddes under 2010-talet där man kom fram till att råvara, behov och teknik finns men avsättningen för så kallad torrefierad pellets var för osäker för att projektet och anläggningen skulle anses som kommersiellt lönsam.

Kontinuerlig dialog har skett med Västra Götalandsregionen om en fortsättning vilket nu har blivit aktuellt då nya aktörer visat intresse. Frågan har aktualiserats igen utifrån att biobränsle har efterfrågats från bland annat bilindustrin och skulle kunna innebära att ett bioenergikombinat kan vara aktuellt igen. Ytterligare möjlighet sågs kunna uppstå då den industri (Moelven) där energikombinatanläggningen var tänkt i den första utredningen nu är i behov av att byta ut sin panna. Här anades att nya kommersiella möjligheter kunde finnas då en ny panna skulle kunna vara en grund för ett kombinat. Just denna möjlighet har dock visat sig vara inaktuell, eftersom Moelven inte har något behov av att ta emot extra värme från ett bioenergikombinat.

En bioenergikombinatanläggning i Otterbäcken har bra läge utifrån närheten till bioenergitillgång, vilket visade sig i tidigare studie, samt bra utgångspunkt för avsättning genom logistik kopplat till både djuphamnen i Otterbäcken, samt infrastruktur som väg och järnväg.

Tidigare studie visade att råvarutillgången var god där det fanns restprodukter från Moelvens plywoodanläggning men även närhet till skogsbolag som Stora Enso, Sveaskog och Södra skogsägarna som kan leverera bland annat flis och grot. Tillgång och närhet till bränsle och råvara är viktiga faktorer för att skapa en bärkraftig och långsiktigt hållbar anläggning. En anläggning bidrar till ett bättre klimat och ett minskat fossilberoende eftersom produktionen är förnyelsebar energi. De här aspekterna är oerhört viktiga när det gäller att ta beslut om investeringar och även om var en etablering skall göras.

Med dessa förutsättningar som bakgrund och som ett led i att bidra till transportsektorns klimatomställning så initierade Gullspångs kommun under 2021 ett uppdrag om att utreda förutsättningarna för en bioenergianläggning på plats i Otterbäcken. Denna tätort med ca 600 invånare är belägen vid Vänerns östra sida, och huserar utöver en djuphamn även industrier som Moelven Vänerply och ligger ca 20 km från väg E20. En projektgrupp sattes samman bestående av IVL Svenska Miljöinstitutet som projektledare och utförare samt med Moelven, Volvo Group och OKQ8 som referensgrupp.

Projektets syfte och övergripande mål har varit att identifiera investerare och aktörer som kan bygga en bioenergikombinatanläggning för att producera biobränsle baserat på lokal råvara, samt att utveckla 1–2 investeringskoncept med intressenter och aktörer som kan ta koncepten vidare till investering och bygga en bioenergikombinatanläggning.

För att uppnå detta har projektet innefattat flera olika steg som redovisas i denna rapport. I avsnitt 2 ges en bakgrund till hur utvecklingen för biodrivmedel sett ut och kring några styrmedel som är och har varit relevanta för denna utveckling. Därefter följer en genomgång i avsnitt 3 och 4 av kartläggningar av relevanta tekniker respektive råvaror för en biodrivmedelsanläggning i Otterbäcken, samt en syntes i form av ett urval av två mer intressanta teknikkoncept. I efterföljande avsnitt 5 utvecklas och beskrivs investeringskoncept för de två utvalda teknikerna, innehållandes teknikbeskrivning, affärsmodell och ekonomisk bedömning av investeringen. Avsnitt 6 beskriver de beräkningar av klimatpåverkan som gjorts för ett av investeringskoncepten innan rapporten avslutas med en diskussion, slutsatser samt rekommendationer framåt i avsnitt 7.

Under projektets gång kom även ytterligare medel att beviljas för ett tilläggsuppdrag som syftade till att uppdatera och utveckla biogaskonceptet så att en anläggning kan presenteras som utöver halm och gödsel dessutom kan hantera matavfall. Resultaten från detta tilläggsuppdrag redovisas i avsnitt 5.2.5.3 .

# 2 Bakgrund

Transportsektorns utsläpp utgör ca 31 % av Sveriges totala växthusgasutsläpp [1], och att reducera dessa utsläpp är därför av största vikt för att Sverige ska kunna nå sina mål om nettonollutsläpp år 2045 [2]. Av denna anledning har Sverige dessutom etappmål för transportsektorn om att till 2030 minska utsläppen från sektorn med 70% jämfört med 2010 [2]. Elektrifiering är en viktig åtgärd för att uppnå denna utsläppsminskning, men behöver kompletteras med andra lösningar – särskilt för segment (som tunga lastbilar, sjöfart och flyg) som är svårare att elektrifiera. Biodrivmedel utgör här ett alternativ till elektrifieringen och spelar genom styrmedel som reduktionsplikten redan idag och fram till 2030 en stor roll för att minska dessa utsläpp [3].

Fram till idag är det framför allt HVO som har stått för utsläppsminskningar i transportsektorn [4] men eftersom råvarorna för denna produktion idag är begränsade och dessutom till stor del importerade så undersöks alternativa typer av flytande biodrivmedel som kan produceras från andra råvaror (inte minst skogsrester). Ett exempel på detta är den pyrolysolja som det av Preem och Setra samägda bolaget Pyrocell sedan 2021 tillverkar i Kastet och transporterar till Preems raffinaderi i Lysekil för tester med samprocessering [5]. Andra exempel är en anläggning för hållbart flygbränsle som planeras av bland annat Uniper i Sollefteå [6] eller den anläggning för biodrivmedelsproduktion från svartlut, sågspån och bark som planeras av St1 och SCA i Örstrand [7].

Utöver biodrivmedel som kan blandas in med bensin och diesel så spelar biogasen också en roll för utsläppsminskningarna, och intresset för lastbilar som drivs på flytande biogas (LBG) har de senaste åren varit hett hos åkerierna och leveranserna ökade mellan 2019 och 2021 från mindre än 10 GWh till 150 GWh [8]. Utöver användning i tunga lastbilar så finns även en ökande efterfrågan på LBG från sjöfarten och industrin, och i en nyligen publicerad studie visas framtidsscenarion där efterfrågan på LBG stiger från dagens knappa 0,2 TWh till 2-3 TWh år 2030 [9].

Både drop-in-bränslen för bensin/diesel och drivmedel från biogas har alltså spelat en stor roll för transportsektorns klimatomställning under en längre tid och ser ut att ha en viktig roll att spela även i framtiden.

## 2.1 Styrmedel

För att främja biodrivmedel och deras roll i klimatomställningen finns det idag ett flertal olika styrmedel implementerade som verkar i denna riktning. Nedan följer en beskrivning av några av de viktigaste styrmedlen för detta ändamål.

Ett av de främsta styrmedlen för att främja flytande biodrivmedel är den reduktionsplikt för bensin och diesel som Sverige införde 2018 och ställer krav på att drivmedelsleverantörer ska minska utsläppen från dessa drivmedel med en viss procentsats varje år [10]. I praktiken innebär detta att drivmedelsleverantörer behöver blanda in biodrivmedel med lägre klimatpåverkan tillsammans

med fossil bensin och diesel. Reduktionsplikten omfattar inte komprimerad biogas (CBG4) eller LBG.

CBG och LBG stöttas i stället genom den skattebefrielse från energi- och koldioxidskatt som länge har funnits för förnybara drivmedel. Skattebefrielsen gäller även för flytande biodrivmedel som HVO och etanol, men endast då dessa säljs som höginblandade drivmedel och inte i de fall då de blandas in med fossila drivmedel för att uppfylla reduktionsplikten. För flytande biodrivmedel så löper den nuvarande skattebefrielsen ut 31 december 2022, men regeringen avser att lämna in en ansökan till EU om tillstånd att förlänga denna skattebefrielse till 2030 [11]. Skattebefrielsen för CBG och LBG är sedan två år tillbaka godkänd av EU-kommissionen till 2030 [12].

Utöver ovan nämnda styrmedel som stöttar användningen av biodrivmedel så finns det även styrmedel som stöttar produktionen av dessa. Produktionsstödet till gödselbaserad biogas – det så kallade ”gödselgasstödet” – har funnits sedan 2015 och är budgeterat till 2023 [13]. I den senaste budgeten beslutades dessutom om ett liknande stöd till biogas som uppgraderas och förvätskas, med budget avsatt för 2022 och med förslag om en fortsättning ända till 2040 med en kontrollstation 2024 [14]. Viss osäkerhet finns dock kring om det kommer vara förenligt med EU:s statsstödsregler att bevilja detta stöd till anläggningar av större skala än 400 kW, vilket ännu ej är klargjort. Mer information om hur produktionsstöden är utformade följer i 5.2.5.2.

Utöver produktionsstöd så finns det möjlighet att via Klimatklivet söka investeringsstöd för bland annat produktionsanläggningar, uppgraderingsanläggningar tankstationer och fordon för vissa biodrivmedel. Detta omfattar både CBG och LBG, men inte tankstationer eller fordon för drivmedel som omfattas av reduktionsplikten (t.ex. HVO). Pyrocells pyrolysanläggning i Kastet blev dock beviljad stöd från Klimatklivet. Mer information om hur Klimatklivets stöd är utformat följer i 5.2.5.2.

## 2.2 Produkten

Som avgränsning för biodrivmedel i detta projekt har endast biodrivmedel som kan användas höginblandat i befintliga fordon undersökts. Detta innebär att bland annat metanol och DME har exkluderats, trots att metanol kan blandas in till viss grad i befintliga fordon inom EU idag. Avgränsningen innebär också att undersökningen har inkluderat både drivmedel som kan blandas in med bensin och diesel samt drivmedel som kan användas i gasfordon (CBG och LBG).

# 3 Teknikkartläggning

Som en del av projektet har en teknikkartläggning gjorts kring befintliga tekniker för att omvandla biomassa till någon av de drivmedelstyper som specificerats i 2.2. I detta avsnitt presenteras denna genomgång med en beskrivning av råvara, processteknik, eventuell vidare behandling av produkten och den teknologiska mognadsgraden (technological readiness level, TRL) för de undersökta teknikerna. I Figur 1 visas en sammanställning av denna TRL-nivåerna för de tekniker som varit i fokus för kartläggningen.

**Figur 1. Teknologiska mognadsgrader (TRL) för de tekniker som kartlagts inom projektet, vilket omfattar Fischer-Tropsch (FT), metanisering, snabbpyrolys, hydrotermisk förvätskning (HTL), integrerad hydropyrolys och hydrokonvertering (IH²) samt rötning.**

## 3.1 Förgasning

Förgasning av biomassa är ett sätt att omvandla fast eller flytande biomassa till en gas som ofta är mer lätthanterlig och som dessutom kan användas som utgångsämne för att framställa avancerade bränslen, drivmedel eller kemikalier. Det finns idag en mängd olika teknologier för förgasning, som alla omfattar förbehandling av råvara, förgasning under värmetillskott och separation och rening av produktgasen [15]. Den mest konventionella tekniken innefattar så kallad ofullständig förbränning, där biomassa förbränns under syrefattiga förhållanden och bildar syngas, en blandning av vätgas och kolmonoxid [15]. Idag finns det också mängder av mer innovativa teknologier, som bygger på förgasning genom bland annat mikrovågor och plasma [15].

Syngasen som produceras kan användas för direkt förbränning, vilket är vanligt inte minst i kraftvärmeverk, men det är också möjligt att omvandla gasen till avancerade biodrivmedel. Metan, metanol, DME (dimetyleter), Fischer-Tropsch-bränslen och vätgas är alla exempel på bränslen som kan nå fås genom vidare uppgradering av syngasen [16]. Nedan beskrivs tekniker för omvandling av syngas till bioolja (Fischer-Tropsch) och metan (metanisering), eftersom dessa är de teknologier som kan producera ett bränsle av relevans för detta projekt.

### 3.1.1 Fischer-Tropsch

Fischer-Tropsch (FT) är en katalytisk process som omvandlar syngas till kolvätekedjor av olika längder. Det är en mogen teknik som använts sedan andra världskriget för att producera flytande bränslen (via förgasning) från fasta fossila eller förnybara bränslen [17]. Teknologin har dock främst använts för fossila råvaror, och integration med teknik för framställning av förnybar syngas är mindre etablerad, mognadsgrader ligger därför i intervallet TRL 5–9 [18]. Sammansättningen på

den bioolja som kommer ur en FT-reaktor avgörs av reaktorsbetingelser, val av katalysator och typ av reaktor, vilket kan nyttjas för att styra sammansättningen mot den fraktion som önskas hos slutprodukten. För att uppnå önskad slutprodukt behöver FT-oljan dock genomgå någon form av raffinering, till exempel genom ett befintligt raffinaderi om raffinaderiförhållandena tillåter det.

### 3.1.2 Metanisering

Metanisering av syngas kan ske termokemiskt, katalytiskt och biologiskt. Nedan beskrivs översiktligt de olika teknologiernas principer, för- och nackdelar samt deras TRL-nivåer.

**Katalytisk metanisering** är den mest mogna teknologin för metanisering och används kommersiellt redan idag (TRL 8–9)[18]. Processen är termo-katalytisk och är både snabb samt kräver lite plats. Nackdelar är att katalysatorerna är känsliga för föroreningar (bl.a. svavel-föroreningar) och fluktuationer i gaskvalitet (förhållande $H_2/CO/CO_2$) [19]. Dessutom kräver den höga temperaturer (typiskt 250–550˚C) och tryck (upp till 100 bar) [18].

**Biologisk metanisering** kan ske både *in-situ* i rötningsanläggningar för biogas och *ex-situ* där syngas, rå biogas eller en blandning av koldioxid och vätgas matas in i reaktorn. En generell beskrivning av processen följer nedan samt mer specifikt för ex-situ metanisering. För specifik beskrivning av in-situ biologisk metanisering, se avsnitt 3.5.3.

För både *in-* och *ex-situ* så är det mikroorganismer som omvandlar gaserna till metan. Till skillnad från katalytisk metanisering så kan processen drivas vid normalt lufttryck (atmosfäriskt) och låga temperaturer (37–60˚C), vilket gör att uppstartstiden från kalla förhållanden är kortare (minuter) [19]. Biologisk metanisering skiljer sig även från termokemisk metanisering i att processen är mindre känslig för föroreningar i inkommande gaser [19]. Specifikt för ex-situ biologisk metanisering gäller att processen är effektiv men långsam samt att den kräver betydligt större reaktorer än katalytisk metanisering. Ex-situ teknologin är mindre mogen (TRL 6–7) än katalytisk metanisering [19].

## 3.2 Snabbpyrolys

Pyrolys är en process där organiskt material sönderdelas genom uppvärmning utan närvaro av syre, vilket leder till en förångning av den flyktiga delen av materialet. Om processen genom nedkylning avbryts kort efter förångningen så fås en oljeliknande vätska – s.k. pyrolysolja [20]. Det finns flera varianter av pyrolysprocesser, som skiljer sig åt framför allt gällande ångans uppehållstid vid den höga temperaturen samt gällande vilken temperatur och hastighet som karaktäriserar upphettningen. Vid så kallad snabbpyrolys (fåtal sekunders uppehållstid, 300–500˚C) kan ett utbyte av pyrolysolja från inmatad biomassa upp emot 75 viktsprocent uppnås [21]. Teknologi för att framställa pyrolysolja finns idag kommersiellt etablerad och bedöms ha TRL 8-9 [21].

Pyrolysoljan kan användas som bränsle direkt genom att ersätta eldningsolja i t.ex. kraftvärmeverk [22] men kan också vidareförädlas via någon form av raffinering till drop-in bränslen. Sammansättningen av oljan beror på råvaran samt reaktionsbetingelser, men består typiskt av en stor del vatten (25–30 vikts%), mer än 300 olika organiska föreningar och utmärker sig gentemot fossil råolja i ett betydligt högre innehåll av syre (40–50 vikts%) [23]. Den höga syrehalten utgör ett problem om pyrolysoljan ska samprocesseras med fossil olja i befintliga raffinaderier eftersom det gör oljan mer korrosiv, vilket påverkar både lagringscisterner och processutrustningen på

raffinaderierna. Det finns principmässigt två olika sätt att samprocessera biooljan: antingen genom direkt inblandning i en fluidiserad katalytisk kracker (FCC) på raffinaderi eller genom förbehandling av oljan för att därefter samprocessera denna i raffinaderiernas fastbäddsreaktorer. Det första alternativet testas sedan ett antal år tillbaka på Preems raffinaderi i Lysekil [5], och är ett enklare alternativ då ingen förbehandling av bioljan krävs. Nackdelen är att det hittills endast varit möjligt att blanda in en mindre andel bioolja (2% i Preems fall), men utveckling sker fortfarande på detta område. En annan nackdel är att kapaciteten av FCC-enheter är begränsad på befintliga raffinaderier, där de stora kapaciteterna finns i fastbäddsreaktorerna. Samprocessering i fastbäddsreaktorer skulle därför kunna medföra en större kapacitet att blanda in bioolja, men för att detta ska vara möjligt krävs någon form av förbehandling som minskar syrehalten och tar bort andra oönskade ämnen. Hydrodeoxygenering är teknik för att göra detta som nyttjar vätgas för att bli av med de oönskade ämnena, men denna teknik är idag inte fullt kommersialiserad för behandling av biooljor. Eftersom teknikerna för både samprocessering i FFC-enheter och via hydrodeoxygenering och samprocessering i fastbäddsreaktorer har en lägre teknisk mognadsgrad bedöms den viktade TRL-nivån för hela värdekedjan snarare ligga på TRL 3-6 [24].

## 3.3 Hydrotermisk förvätskning

Hydrotermisk förvätskning (HTL) är en process där en slurry av biomassa och vatten reagerar vid hög temperatur (300–400˚C) och högt tryck (250–300 bar). Processen ger upphov till en gasström, en restvattenström samt en biooljeström, där oljan skiljer sig från pyrolysolja framför allt i att den har en lägre halt av både vatten och syre. Detta gör produkten intressant genom att den med mindre förbehandling (mindre vätgasåtgång) kan uppgraderas till en sammansättning där den sedan kan samprocesseras med fossila råvaror [21]. Den teknologiska mognadsgraden är dock lägre för HTL (TRL 6–7) [16].

## 3.4 Intregrerad hydropyrolys och hydrokonvertering

En teknik för integrerad hydropyrolys och hydrokonvertering har utvecklats av GTI och patenterats av Shell (under namnet IH$^2$) som omvandlar fast biomassa till flytande drivmedel för vägtransport, flyg eller sjöfart. Processen innefattar fyra steg: malning och torkning av biomassan; borttagning av syre och andra oönskade ämnen genom ett flertal reaktioner; katalytisk raffinering av produkten; samt separation, rening och omvandling av restgaserna för att producera den vätgas som processen kräver [25]. Processen är särskilt intressant då den integrerar samtliga reaktionssteg och därmed minskar behovet av dyr och energikrävande produktion av vätgas. Tekniken är dock ännu inte fullt kommersialiserad utan befinner sig på TRL 6–8, med en 5000 ton/d demonstrationsanläggning i drift sedan 2017 i Bangalore i Indien. Nyheter om en kommersiell anläggning i Norge florerade för ett antal år sedan [26, 27], men status på denna är okänd.

## 3.5 Rötning

I Sverige produceras biogas idag främst genom rötning. Det är en väletablerad teknik som innebär att organiskt material (substrat) efter förbehandling matas in i en lufttät behållare, där mikroorganismer omvandlar substratet till framför allt metan och koldioxid. Rötningstekniker kan

skilja sig med avseende på bl.a. vattenhalt och temperatur. Våtrötning kallas rötning där substratet som är i rötkammaren har en torrsubstanshalt (TS-halt) på 2–10% medan torrrötning sker på substrat i rötkammaren med en TS-halt på 20–30% [28]. Dessa kräver olika praktiska förutsättningar, med avseende på bl.a. hur substratet matas in i rötningskammaren. Det finns även andra rötningstekniker som *Upflow anaerobic sludge blanket* digestion (UASB) och liknande [29]. Temperaturmässigt är rötningstekniker oftast antingen mesofila (25–40˚C) eller termofila (50–60˚C). Termofil rötning går snabbare, kräver inte lika stora rötkammare och kan dessutom designas så att hygienisering uppnås vid själva rötningen, vilket kan ersätta behovet av separat pastörisering för rötningen, vilket krävs för matavfallsströmmar [30]. Mesofil rötning har å andra sidan fördelen att processen är mer robust till följd av fler aktiva mikroorganismer, mindre känslig för temperaturväxlingar, kväveinhibering och störande ämnen i substratet [30]. Beroende på bl.a. substrat och rötningsteknik så kan metanhalten från en biogasanläggning skilja sig åt, men vanligtvis ligger den runt 55–65% [31]. Rötning för biogasproduktion sker kommersiellt sedan årtionden tillbaka och kan betraktas som en teknik med TRL 9.

### 3.5.1 Uppgradering av biogasen

Eftersom den biogas som produceras vid rötningen innehåller stora mängder koldioxid samt andra föroreningar så behöver biogasen uppgraderas till biometan både för att kunna användas som fordonsgas (CBG – compressed biogas) direkt och för att kunna förvätskas till LBG (liquid biogas). Det finns flera olika möjliga tekniker för uppgraderingen men för detta projekts syfte har en mer konventionell teknik involverats samt en nyare teknik.

Den mer konventionella tekniken kallas för aminskrubber och innefattar två huvudsakliga steg. I det första steget leds biogasen upp genom en vattenlösning av aminer (t.ex. metyldietanolamin, dioetanolamin eller monoetanolamin) varpå koldioxiden binds kemisk till aminerna [32]. Den uppgraderade biometanen leds i väg samtidigt som den koldioxidmättade aminlösningen hettas upp för att regenerera koldioxiden i gasform, varpå aminlösningen åter kan nyttjas för koldioxidfånging.

Den nyare tekniken handlar kallas kryogen uppgradering och kan användas för att både uppgradera och förvätska biogasen i samma process. Detta görs genom att nyttja de olika kondenseringspunkterna för koldioxid och metan. Även om kryogen uppgradering är en nyare teknik så finns det idag teknikleverantörer som har kommersiella anläggningar i drift.

### 3.5.2 Förvätskning

I de fall då biogasen inte uppgraderas med kryogen uppgradering så krävs det även ett förvätskningssteg för den uppgraderade gasen. Även för detta finns det olika tekniker, men i detta projekt har en så kallad Brayton-cykel antagits vilket är en termodynamisk cykel som nyttjar kompressorer, expanderare, kylmedia och värmeväxlare för att förvätska biometanet.

### 3.5.3 Metanisering i samband med uppgradering

Ett sätt att öka effektiveten och produktionspotentialen hos en rötningsanläggning är att ta vara på koldioxiden som bildas i rötningsprocessen, till exempel genom att metanisera denna. Eftersom en stor del (35–45%) av kolatomerna blir till koldioxid snarare än metan så kan detta potentiellt sett öka produktionen av biometan väsentligt. Likt för syngas så kan detta göras genom olika processer: katalytiskt och biologiskt (se avsnitt 3.1.2). De katalytiska och ex-situ biologiska

teknologierna fungerar likt de gör för syngas, men för en rötningsanläggning så är det även möjligt att öka metanproduktionen direkt i rötningsanläggningen, genom s.k. **in-situ biologisk metanisering**. Detta görs genom att vätgas matas in i rötkammaren, där metaniseringen pågår parallellt med rötningen. Processen kan ske under olika typer av förutsättningar (temperatur, tryck, pH m.m.) vilket påverkar effektiviteten [33]. En möjlig fördel med in-situ metanisering är möjligheten att minska investeringskostnaden, då det endast krävs en reaktor. Stora nackdelar är dock att låg löslighet av vätgas (vid tryck/temp. som normalt råder i rötkammaren) leder till en låg effektivitet gällande omvandling av vätgas, att vätgasen kan verka inhiberande på de mikrobiella processer som vanligtvis omvandlar substratet till metan, samt att rågasen som leds till uppgradering innehåller stora mängder vätgas. In-situ biologisk metanisering är med TRL 4–5 den minst mogna metaniseringsteknologin [19].

# 4 Råvarukartläggning

Vid teknikval för ett bioenergikombinat är det utöver att bedöma mognadsgrad för olika tekniker även av stor betydelse att undersöka råvarusituationen inom det relevanta området. Olika tekniker kan nyttja olika råvaror och råvarutillgången kan påverka teknikvalet genom mängden råvara som finns tillgänglig, eftersom vissa tekniker kräver en minsta storlek för att kunna vara lönsamma. Av dessa anledningar har en kartläggning gjorts av råvarutillgången i Otterbäckens närområde både för rötbara material och icke-rötbara material. Den förstnämnda råvarutypen är råvaror som lämpar sig för en rötningsprocess, bland annat matavfall, gödsel, halm och slakterirester. Den andra råvarutypen är råvaror som sågspån, flis och grot som inte är lämpade för en rötnings-process men som kan utgöra råvara för samtliga av de andra teknikerna som beskrevs i avsnitt 3. Syftet med kartläggningen var att ge en första övergripande bild av tillgänglig råvara i området. Resultaten är därmed indikativa och kommer att behöva studeras i närmare detalj och för att kunna realisera delar av potentialen kommer dialog att behöva föras med de lokala verksamheter som berörs.

Råvarukartläggningen har gjorts för råvaror från både skogsindustrin och jordbruks- och livsmedelsindustrin. Skogsindustrin har en stor potential att förse bioenergianläggningar med råvaror, vilket inkluderar avverkningsrester samt biprodukter från sågverk och massabruk. Råvaror kan även tänkas komma från jordbruks-och livsmedelsindustrin, vilket inkluderar både rötbart (t.ex. gödsel, vall, slakteriavfall) och icke-rötbart avfall.

Kartläggningen har genomförts som en teoretisk studie för råvaror inom ett område där transportavstånden bedömts vara ekonomiskt genomförbara för de olika råvarutyperna. För både de rötbara och icke-rötbara råvarorna har en distinktion gjorts mellan mängden råvaror som finns teoretiskt tillgänglig och mängden som är marknadsmässigt tillgänglig. Syftet med detta är att försöka ge en mer rimlig bild av tillgången sett till att en stor del av de teoretiskt tillgängliga mängderna antingen redan används i andra anläggningar eller är för dyra för att nyttjas. Mer detaljerade beskrivningar av antaganden om transportavstånd och marknadsmässigt tillgängliga mängder följer i avsnitt 4.1 och 4.2.

Råvarukartläggningen har gjorts för råvaror från både skogsindustrin och jordbruks- och livsmedelsindustrin. Skogsindustrin har en stor potential att förse bioenergianläggningar med råvaror, vilket inkluderar avverkningsrester samt biprodukter från sågverk och massabruk. Råvaror kan även tänkas komma från jordbruks-och livsmedelsindustrin, vilket inkluderar olika rötbara subtrat som gödsel, vall, halm, slakteriavfall och annat organiskt avfall.

## 4.1 Icke-rötbar råvara

Råvara från skogen innefattar dels biprodukter från sågverk och massabruk, dels råvara från avverkningen. Biprodukter från sågverk utgörs av bark, kutterspån, sågspån och olika former av flis. Från avverkning kan råvara fås både i form av s.k. grot (grenar och toppar) och energived (vars kvalitét är för låg för att användas i massa- eller sågverksindustrin). Råvarukartläggningen har gjorts för alla dessa källor utom massaindustrin. Anledningen till att massindustrin har exkluderats är att den främsta biprodukten därifrån är lignin och eftersom tekniker för att omvandla lignin till bränsle idag ej bedöms ha tillräckligt hög mognadsgrad för att passa projektets kriterier så anses denna biprodukt inte vara relevant för det aktuella projektet. Bark kan också finnas tillgängligt från massaindustrin om den inte förbränns internt i barkpannor, men denna resurs har inte inkluderats. Biogaspotentialen har bedömts både ur ett mer teoretiskt perspektiv (med hänsyn till biofysiska faktorer och hållbarhetsaspekter) och ur ett mer marknadsmässigt perspektiv, där hänsyn även tas till i vilken mån resurserna kan tänkas finnas tillgängliga. Metoden för att bedöma dessa potentialer skiljer sig åt för de olika råvarorna och nedan följer en beskrivning av de olika metoderna.

### 4.1.1 Metod

Den teoretiska potentialen av tillgänglig mängd biprodukter från sågverk baseras på data om specifika anläggningars årsproduktion av färdig produkt (sågad vara), kombinerat med data om hur mycket biprodukter som årsproduktionen kan motsvara. Data om specifika anläggningars produktionsvolymer finns tillgängligt på deras respektive hemsidor, vilka finns kartlagda och sammanställda av Skogsindustrierna [34]. För att beräkna mängd biprodukter från dessa så har omvandlingsfaktorer använts från Petersson [35]. Dessa omvandlingsfaktorer kan sedan användas för att uppskatta mängden tillgängliga biprodukter från de specifika anläggningar som bedöms ligga inom rimligt avstånd för att försörja bioenergianläggningen i Otterbäcken. Alla omvandlingsfaktorer och de antaganden som ligger bakom dessa finns sammanställda i Appendix 8.1. För sågverksindustrin har råvarukartläggningen gjorts för biprodukterna bark, sågspån, kutterspån och flis (inkl. både cellulosaflis och torrflis).

Den teoretiska potentialen av tillgänglig grot baseras på Forest Energy Atlas, ett GIS-verktyg som kan användas för att uppskatta mängden biomassa från ett visst geografiskt område. Datalagren i verktyget är framtagna med hjälp av Skogsstyrelsens planeringsverktyg HEUREKA och metoder från [36] och [37]. Potentialen har beräknats för ett cirkulärt område kring Otterbäcken med radien 100 km.

För att uppskatta den teoretiska potentialen av energived så har en kombination av statistik, tidigare nämnt GIS-verktyg och andra potentialstudier använts. Statistik från Energimyndigheten har använts för att se hur dagens uttag av energived ser ut i förhållande till uttaget grot. Detta har gjorts för Götaland och Svealand, och ett förhållande mellan uttag av energived och grot har sedan bestämts som ett snitt för de här två landsdelarna. Förhållandet har sedan applicerats på det uttag av grot för det cirkulära området runt Otterbäcken (radie 100 km) för att få en uppskattning av motsvarande uttag av energived från området. Sist så har den teoretiska potentialen uppskattats utifrån dagens uttag genom att addera 75% på dagens uttag, baserat på uppskattningar om förväntad potential 2030 till följd av ökade skador från insekter och stormar [35].

När det gäller tillgängligheten av de råvaruströmmar som beskrivs ovan så är det viktigt att komma ihåg att inga av dem är ”tillgängliga” idag, d.v.s. det finns inga restprodukter som idag

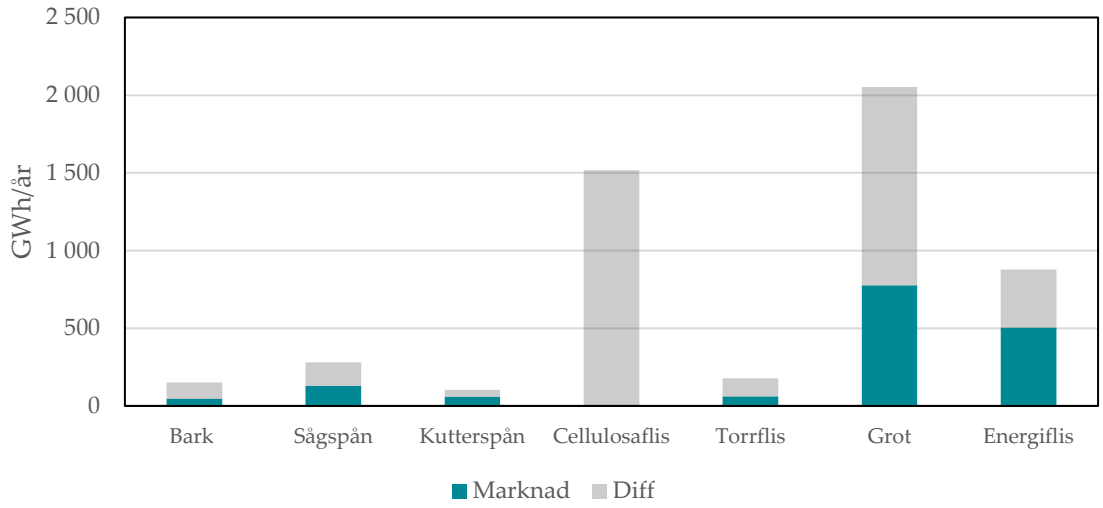
ligger på hög och väntar på användning. Detta gör att även marknadsmässiga aspekter kan behöva tas hänsyn till i en bedömning om tillgång och prisnivå på råvaror. Här har kunskap inom projektgruppen nyttjats, genom att använda Staffan Vilhelmssons (Moelven) erfarenhet från branschen och regionen för att göra en uppskattning om vilka av de kartlagda råvaruströmmarna från olika anläggningar som kan tänkas finnas tillgängliga för en anläggning som den som utreds i projektet. För grot har ett antagande gjorts att tillgängliga mängder utgörs av de mängder grot som idag ej nyttjas. Sammantaget har följande fyra antaganden gjorts för att få fram den marknadsmässiga potentialen från den teoretiska:

- **Ingen cellulosaflis finns tillgänglig**. Skälet till detta är att sågverken är beroende av att sälja sin cellulosaflis till stora massabruk för att kunna köpa timmerstockar av dem.
- **Inga råvaror finns tillgängliga från Stora Enso Gruvön**. Skälet till detta är att Stora Enso har en egen pelletsfabrik i närheten dit massabrukets biprodukter antas gå.
- **Endast de flöden som idag säljs som bränsle eller övrigt antas finnas tillgängliga**. Flöden som används som bränsle internt eller som säljs till massaindustrin (utöver cellulosaflis) antas därmed vara otillgängliga. Biometrias statistisk över sågverkens biprodukter[1] fördelat på användningsområden används här som källa [38].
- **Endast idag outnyttjade mängder hållbar grot finns tillgänglig**. Ett genomsnitt över hur stor andel av den teoretiska potentialen som finns tillgänglig har räknats ut baserat på skillnaden i tillgänglig mängd grot och producerad mängd grotflis [39] för Götaland och Svealand.

### 4.1.2 Resultat

Resultaten av råvarukartläggningen av biomassa från sågverk återfinns i Figur 2 och visar på en sammanlagd teoretisk potential på 5 100 GWh/år, om alla kartlagda biprodukter inkluderas, och en marknadsmässig potential på ca 1 500 GWh/år, där antagandena i ovan punkter används. Den mindre potentialen i det marknadsmässiga fallet har flera orsaker, bland annat att en stor del av flisen (cellulosaflisen) förväntas vara bunden till massaindustrin med endast mindre delar (torrflisen) tillgänglig för anläggningen i detta projekt. En annan orsak är att alla restprodukter stryks från det största sågverket (Stora Enso Gruvön) med anledningen av att de har en egen pelletsfabrik dit merparten av biprodukterna förväntas gå både idag och i framtiden.

[1] Eftersom denna statistik inte skiljer på cellulosaflis och torrflis så har antagandet gjorts att de andelar av flisen som enligt Biometria går till massaindustrin (90%) utgörs av cellulosaflis med resterande andelar (6% bränsle försålt, 4% bränsle eget) utgörs av torrflis.




**Figur 2. Teoretisk och marknadsmässig potential av restprodukter (biomassa) från sågverk samt grotpotentialen beräknad för ett cirkulärt område kring Otterbäcken med radien 100 km.**

# 4.2 Rötbar råvara

Som nämnts tidigare innefattar rötbar råvara olika sorters organiskt material. I likhet med indelningen i [40] har följande substratkategorier kartlagts:

- Matavfall
- Industrirester (t.ex. slakteriavfall)
- Jordbruksrester
- Gödsel

Metoden för respektive kategorie beskrivs i avsnittet nedan.

## 4.2.1 Metod

Kartläggningen av flera av substratkategorierna har utgångspunkt i arbete utfört av Grahn et al. [40]. Denna potentialstudie för Västra Götalandsregionen har kombinerats med antaganden om relevanta avstånd från Otterbäcken, eftersom energiinnehållet hos substraten varierar och således även lönsamheten i att transportera dem. Alla siffror redovisas i GWh biogas, vilket innebär att hänsyn tas till biogasutbytet för varje substrat. Den teoretiska biogaspotentialen är den största möjliga mängden biogas som skulle kunna produceras i ett fall där allt substrat samlas in (inklusive matavfall som hamnar i restavfall), medan den affärsmässiga potentialen tar hänsyn till olika begränsningar och antaganden som redovisas separat för respektive substratkategori.

### 4.2.1.1 Matavfall

För att biogaspotentialen från matavfall i Västra Götalandsregionen har data som tagits fram i sammanställningen av [40] använts. Ett antagande för biogaspotentialen från matavfall är att det kan transporteras stora avstånd och fortfarande vara kostnads- och energieffektivt tack vare dess höga energiinnehåll. Av denna anledning har även mängden matavfall i närliggande regioner inkluderats. Eftersom dessa mängder inte ges av Grahn et al. [40] har statistik från Avfall Sverige [41] använts. I Avfall Sverige [41] inkluderas även avfall från t.ex. restauranger i siffrorna som

redovisas för kommunalt avfall, vilket gör att den potential som redovisas för de närliggande regionerna är en summa av alla underkategorier.

Utgångspunkt för den teoretiska potentialen är den mängd matavfall som genereras i respektive region. Denna potential i Västra Götalandsregionen har skattats med hjälp av data från [40] och innefattar även den framtida mängd matavfall som skulle kunna samlas in om kommunerna når regionens mål om 70% insamling av organiskt hushållsavfall. Eventuell hänsyn till minskat avfall till följd av strategiskt arbete med att minska matsvinn har inte tagits. För de närliggande regionerna har istället nyckeltal från [42] använts för genomsnittlig mängd avfall som en person genererar under ett år både inom och utanför sitt eget hushåll.

Den marknadsmässiga potentialen baseras i stället på den mängd som samlas in i kommunerna idag och som inte komposteras lokalt eller centralt. Det som avgör hur mycket av den affärsmässiga potentialen som kan realiseras beror på hur väl en biogasanläggning i Otterbäcken skulle kunna konkurrera med andra anläggningar i offentliga upphandlingen om kommunernas matavfall. Det skulle även kunna vara möjligt att få tillgång till en större andel av det kommunala avfallet om kommunen skulle besluta att kompostera mindre och låta mer matavfall utgöra biogassubstrat.

#### 4.2.1.2 Industrirester

För industrirester antogs 10 mil vara ett rimligt avstånd från Otterbäcken att utreda vidare. För Västra Götalandsregionen innefattades därför data på kommunnivå för de kommuner som befinner sig inom detta avstånd. Ingen data på kommunnivå hittades för övriga närliggande regioner, endast på regionnivå. Siffrorna är baserade på miljörapporter som är obligatoriska för industrier över en viss storlek.

Den teoretiska potentialen för berörda kommuner i Västra Götalandsregionen beräknades genom att utgå från den industri som är etablerad där idag och vilka avfallsmängder som de ger upphov till. Avfallsmängderna sammanställdes i samband med utredningen 2020 av [40] och kunde därför summeras. En viss potential var inte möjlig att kvantifiera vid tiden för kartläggningen och det finns därför ytterligare en okänd mängd substrat från några av industrianläggningarna i de närliggande kommunerna. Den affärsmässiga potentialen antogs vara samma eftersom, i likhet med resonemanget för matavfall, allt substrat redan kommer till användning idag och att de skulle kunna tillgängliggöras i det fall där Otterbäckens anläggning kan konkurrera prismässigt med den alternativa användningen.

Den teoretiska potentialen i närliggande regioner skattades utifrån ett geografiskt viktat värde baserat på potentialen i hela regionen, vilket tidigare sammanställts av [42], medan den affärsmässiga potentialen inte kunde kvantifieras och därför inte redovisas.

#### 4.2.1.3 Jordbruksrester

Jordbruksresterna kartlades i ett område på ett avstånd upp till 5 mil från Otterbäcken, detta med hänsyn till transportkostnaden.

Att just jordbruksrester har kartlagts snarare än alla grödor som odlas i området knyter an till den diskussion om förändrad landanvändning – och således konkurrens om arealer som används till livsmedelsproduktion – som riskerar att bli följden av odling av grödor i energisyfte. Att använda restprodukter anses inte ge upphov till någon förändrad landanvändning, eftersom det är en resurs som uppstår i samband med odling i andra syften.

Den teoretiska potentialen innefattar alla jordbruksrester som uppkommer i det aktuella området. För kommuner i Västra Götalandsregionen finns data på kommunnivå, medan viktade värden baserat på den sammanlagda potentialen har använts för de delar av området som tillhör andra regioner. Halm ingår i kategorin, men endast den mängd som blir över efter användning inom jordbruket i kommunen. Halm som används i det lokala jordbruket utgör dock en potential, men denna återfinns bland gödselsubstraten eftersom den används som strö och därmed finns i stallar och ladugårdar. Vall som blir över vid skörd innefattas också, under förutsättningen att den även bärgas och inte bara putsas och lämnas på åkern.

I den affärsmässiga potentialen utgår en stor del av resterna eftersom dessa inte samlas in idag. Vall och halm är undantagna.

#### 4.2.1.4 Gödsel

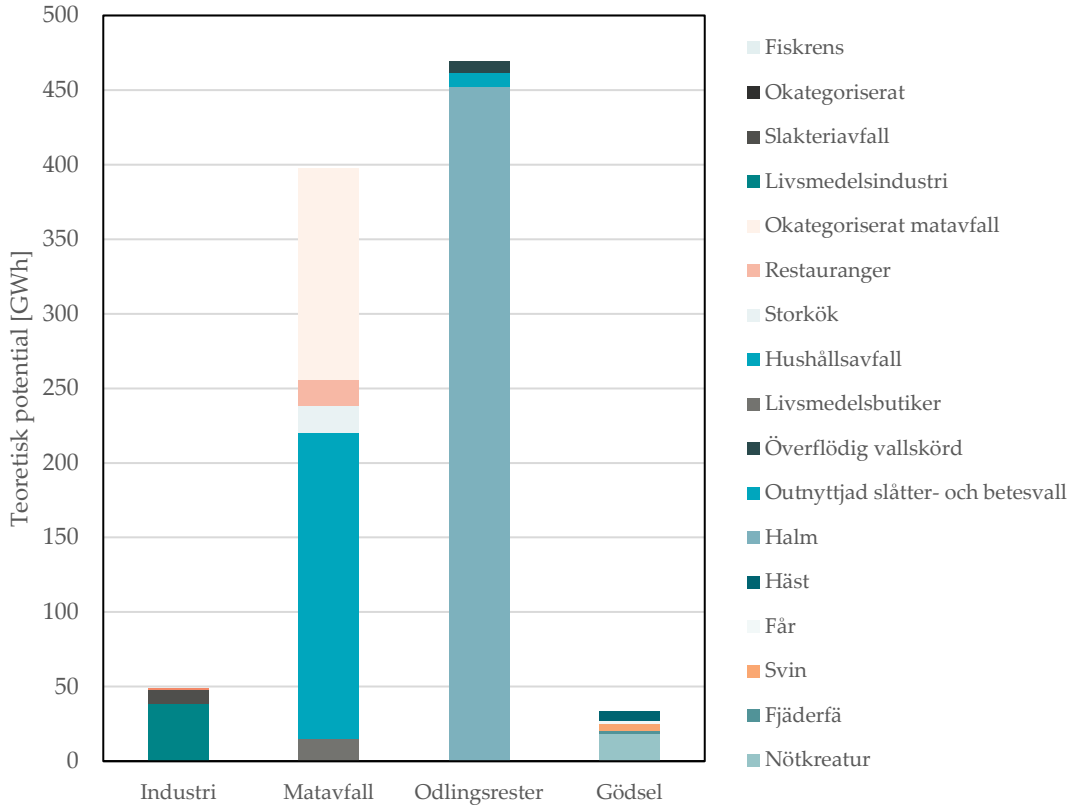
Den teoretiska potentialen för gödsel innefattar allt gödsel som finns inom lämpligt avstånd från Otterbäcken. Torrsubstanshalten påverkar substratets energiinnehåll och därför blir transportavståndet kortare ju lägre torrsubstanshalten är. Utifrån tidigare erfarenheter gjordes följande avgränsningar:

- Fastgödsel: 4 mils radie (5 mils köravstånd)
- Flytgödsel: 2 mils radie

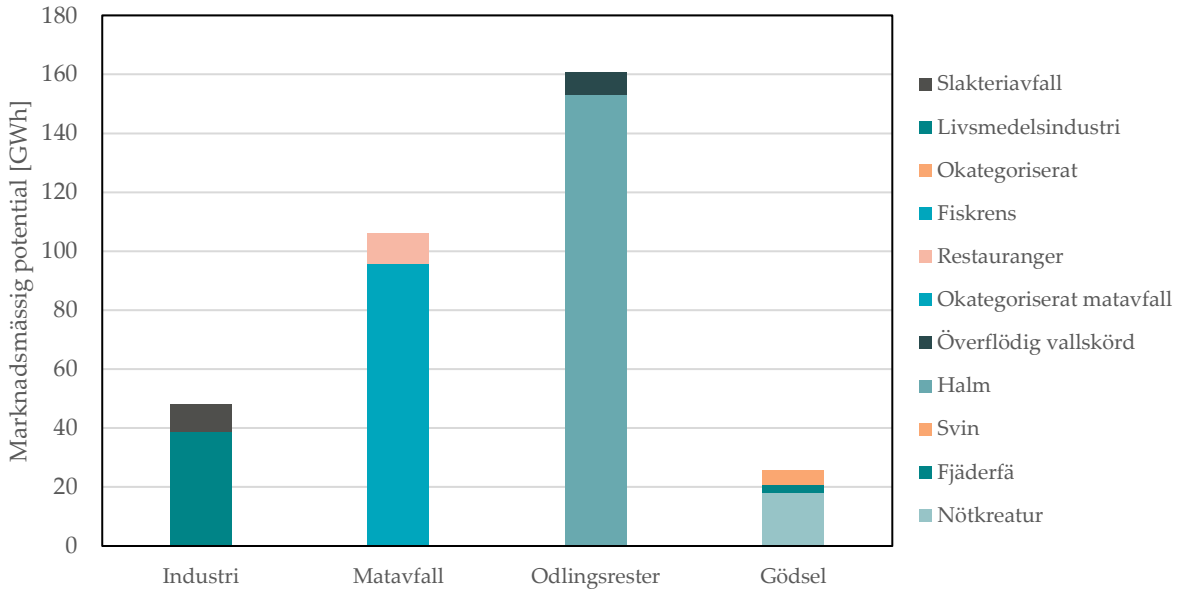
Utifrån tidigare kartläggning av området [43] kunde det konstateras att det inte finns några gårdar i de omkringliggande regionerna inom ett tillräckligt litet avstånd och de exkluderades därmed från den teoretiska potentialen. En tidigare kartläggning av gårdar i Västra Götalandsregionen utgjorde den andra utgångspunkten för gödselkartläggningen, där ytterligare gårdar med flytgödsel (dock små) kunde konstateras. Hästar och får fanns redovisade på kommunnivå i Grahn et al. [40], men inga gårdar fanns inom den geografiska avgränsningen, därför exkluderades dessa mängder ur den mer marknadsmässiga potentialen.

### 4.2.2 Resultat

I Figur 3 respektive 4 presenteras den teoretiska respektive marknadsmässiga potentialen för respektive rötbar substratkategori. Den kvarvarande mängden matavfall som finns på regional nivå visar på att detta substrat skulle kunna användas, men det finns inga garantier för att man skulle lyckas konkurrera ut de alternativa användningar som avfallet har idag. Samma sak gäller industriresterna. Däremot odlas stora mängder halm i området och potentialen som redovisas är den mängd som inte redan används i det egna jordbruket (men kan fortfarande ha en befintlig användning i jordbruket i andra områden). Det finns även en stor lokal tillgång till gödsel, som skulle kunna göras tillgängligt om dialog förs med lokala gårdar och samarbete upprättas. Den stora skillnaden utgörs främst av potentialen för matavfall och odlingsrester. Den marknadsmässiga potentialen att framställa biogas ur matavfall begränsas av hur mycket matavfall som samlas in idag, medan motsvarande potential för odlingsrester begränsas av att resterna som uppstår idag väldigt sällan bärgas.




**Figur 3 - Den teoretiska potentialen som är den största möjliga mängd substrat som finns tillgänglig inom respektive kategori och där potentialen endast begränsas av geografiska antaganden.**




**Figur 4 - Den marknadsmässiga potentialen, där hänsyn har tagits till olika begränsningar för respektive kategori.**

## 4.3 Sammanfattning av kartläggningar

Inom projektet har resultaten av teknikkartläggningen och råvarukartläggning syntetiserats för att kunna göra ett urval av två teknikkoncept för fördjupning och utveckling av affärsmöjligheter. Urvalet har gjorts utifrån ett antal kriterier:

- Teknikens (hela värdekedjan) mognadsgrad ska möjliggöra en fullt kommersiell anläggning inom 2–3 år
- Råvara ska finnas tillgänglig i tillräckliga mängder för att motivera en anläggning av tillräcklig skala för lönsamhet

Kriteriet om råvarutillgång och anläggningsskala gör att de två förgasningsbaserade teknikkoncepten (FT och metanisering) faller bort, vilket beror på att dessa bedöms kräva kapaciteter på över 1000 GWh torr biomassa per år för att kunna vara lönsamma. Dessa volymer råvara bedöms inte vara realistiskt tillgängliga inom upptagningsområdet. Kriteriet om teknikens (och värdekedjans) mognadsgrad gör att HTL och IH² faller bort. Även pyrolysspåret skulle kunna sållas bort baserat på detta kriterium, vilket skulle innebära att endast spåret för LBG-produktion genom rötning, uppgradering och förvätskning. För att fortsatt hålla flera alternativ öppna och eftersom utvecklingen kring hantering av pyrolysolja verkar vara högt prioriterad hos Preem så inkluderades både LBG-spåret och pyrolys-spåret i de fördjupningar som gjordes, men ett tyngre fokus kom att hamna på LBG-spåret.

# 5 Investeringskoncept

I detta avsnitt presenteras fördjupade investeringskoncept för de två teknikkoncept som bedömdes vara av extra intresse för projektgruppen i enlighet med resonemangen i 4.3. I båda fallen har platsen för anläggningen antagits vara den tomt – Åsen 1:4 – för vilken detaljplan har tagits fram och presenterats av kommunen under projektets gång. Denna tomt är lokaliserad 2 km från djuphamnen i Otterbäcken och omfattar 8,8 ha mark som är idag är täckt av skog men som är detaljplanerad för industriverksamhet och kan ges tillgång till med omedelbar verkan. Den tillåter fri byggnadshöjd och erbjuder 3 MW elanslutning inom 6 månader samt upp till 100 MW anslutning inom 24 månader. En bild på tomten syns i Figur 3 och visar hur den är placerad vid samma väg som leder till Moelvens plywoodfabrik (precis utanför bild till vänster).

**Figur 5. Flygbild på området där den tilltänkta industritomten är lokaliserad.**

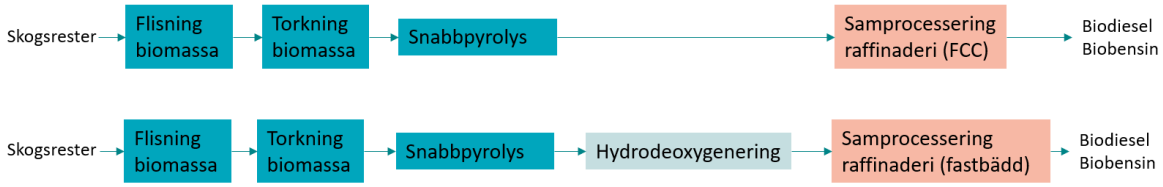
I följande underavsnitt kommer presenteras de två affärsmöjligheterna, inklusive teknikbeskrivningar, antagna råvaror, affärsmodell och ekonomisk bedömning. Samtliga delar finns med i båda affärsmöjligheterna, men eftersom LBG-spåret har varit i större fokus under projektet så är delarna mer djupgående för detta fall.

# 5.1 Investeringskoncept 1 – Pyrolysolja

En av de två investeringskoncept som studerades inom projektet var en anläggning för produktion av drop-in-drivmedel (biobensin/-diesel) genom snabbpyrolys av biomassa. Eftersom detta investeringskoncept visade sig vara mindre intressant efterhand som projektet fortskred så innehåller denna rapport endast en översiktlig beskrivning av tekniken, affärsmodellen och de ekonomiska förutsättningarna.

## 5.1.1 Teknikbeskrivning

För att producera biobensin eller -diesel från biomassa genom snabbpyrolys så krävs flera olika steg och där olika kombinationer av dessa steg är möjliga, beroende på hur produkten raffineras. I Figur 6 ges en översikt av dessa steg för två alternativa kombinationer, samt en indikation om vilka av dessa som hade kunnat lokaliseras i Otterbäcken. Den översta kombinationen kräver ingen förbehandling av pyrolysoljan från snabbpyrolysen utan samprocesseras direkt i en FCC-enhet, likt hur Pyrocells pyrolysolja idag används hos Preem i Lysekil. Den andra kombinationen kräver att pyrolysoljan vätebehandlas genom hydrodeoxygenering innan den kan samprocesseras i fastbäddsreaktor på befintligt raffinaderi. Denna vätebehandling kan antingen göras i anslutning till pyrolysanläggningen eller vid raffindariet.




**Figur 6. Översiktlig beskrivning av två koncept för produktion av biobensin/-diesel genom snabbpyrolys av skogsrester. Färgerna på boxarna indikerar lämpligheten för lokalisering av stegen i Otterbäcken alternativt vid raffinaderi, där de mörkturkosa boxarna är de steg som enklast hade kunnat göras i Otterbäcken, medan den ljusturkosa boxen hade kunnat ske både i Otterbäcken och vid befintligt raffinaderi och de orange boxarna lämpligen sker vid befintligt raffinaderi.**

För att kunna göra beräkningar på lönsamhet har antaganden gjorts om kapacitet på anläggning samt kring vilka steg i ovan beskrivning som inkluderas. Anläggningen har antagits omfatta de första tre stegen i figuren ovan (flisning, torkning och pyrolys) och har dimensionerats för att kunna hantera ca 500 GWh torr biomassa per år, vilket motsvarar ca 265 GWh pyrolysolja.

## 5.1.2 Råvara

Råvaran antas i detta fall utgöras främst av grot från närliggande skogsbruk och har antagits finnas tillgänglig i tillräckliga mängder inom upptagningsområdet (100 km radie) för att motivera en anläggning med inputkapacitet på 500 GWh torr biomassa.

## 5.1.3 Affärsmodell

Affärsmodellen för en pyrolysanläggning baseras på att värde skapas genom att skogsrester köps in och behandlas med snabbpyrolys. Den pyrolysolja som produceras säljs till ett oljeraffinaderi som i sin tur förädlar oljan vidare till drop-in-bränsle. Pyrolysoljan är i denna bemärkelse en intermediär produkt. Värdet av pyrolysoljan består dels i själva energivärdet, dels i den växthusgasreduktion oljan kan bidra med i relation till fossil olja. Det finns ett direkt ekonomiskt värde i detta på grund av reduktionspliktsystemet, men även andra värden relaterat till miljövänlig produktion såsom att det kan stärka varumärket för ägarna.

Utöver försäljning av pyrolysolja kan även restvärme säljas till närliggande intressenter med värmebehov.

Genom intervjuer med projektets medverkande företag har en ”business model canvas” utvecklats, se Figur 7.

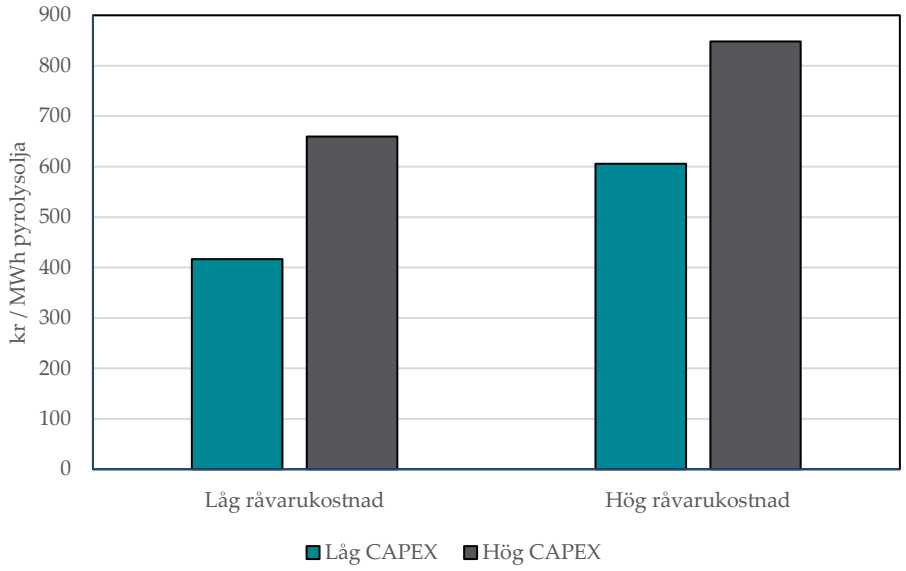
| Samarbetspartners | Nyckelaktiviteter | Värdeerbjudande | Kundrelation | Kundsegment |
|---|---|---|---|---|
| Leverantörer av råvaror.<br>Logistik.<br>Värmemottagare.<br>Kommunen.<br>Investerare.<br>Teknikleverantörer. | Produktion av pyrolysolja och värme.<br>Råvarusäkring. | Pyrolysolja.<br>Leverans av restvärme.<br>Drivmedelsråvara som kan reduktion av klimatgas-utsläpp, för att möta reduktionsplikten.<br>Svensk/lokal drivmedelsråvara. | Spårbar produkt och råvara. Kvalitetssäkrad. | Raffinaderier<br><br>Värmeanvändare. |
| | **Nyckelresurser**<br>Kompetent personal.<br>Kontrakt med råvaruleverantörer och raffinaderi.<br>Produktionsanläggning.<br>Tillstånd.<br>Certifikat. | | **Kanaler**<br>Certifiering. Kvalitet och hållbarhet. | |

| Kostnadsstruktur | Intäktsströmmar |
|---|---|
| Tungt på initial investering.<br>Driftkostnader: **Råvaror**, personal, el, transport.<br>**Värdedrivet**, minska klimatpåverkan kontinuerligt. | Kronor per ton pyrolysolja med viss klimatreduktion.<br>Jmf kostnad andra klimatreducerande råoljor. Kontrakt för viss tidsperiod. Hur lång? |

**Figur 7. Business model canvas för produktion av pyrolysolja.**

### 5.1.4 Ekonomisk bedömning

Eftersom investeringskonceptet med en anläggning för produktion av pyrolysolja bedöms som mindre intressant på grund av andra orsaker än produktionskostnaden så har endast en översiktlig bedömning av denna kostnad gjorts i projektet. Denna illustreras i Figur 8 och visar hur produktionskostnaden för pyrolysolja hamnar mellan 400 och 850 kr/MWh beroende på antaganden om råvarupris och investeringskostnad. Detta kan jämföras med resultat från andra studier där exempelvis Benjaminsson et al. [44] beräknade en produktionskostnad på 409–573 kr/MWh och Anheden et al. [45] bedömde kostnaden till ca 450 kr/MWh. Mycket av antaganden som ligger bakom beräkningarna i detta projekt är dock hämtade just från dessa studier. Utöver produktionskostnaden för pyrolysolja så tillkommer även kostnader för transport, vidarebehandling och raffinering av oljan för att få ett drivmedel av bensin- eller dieselkvalitét, men dessa har inte undersökts vidare inom detta projekt. Investeringsstöd via Klimatklivet kan vara aktuellt för den här typen av anläggningar och skulle då kunna bidra med upp till ca 150 Mkr av investeringskostnaden.



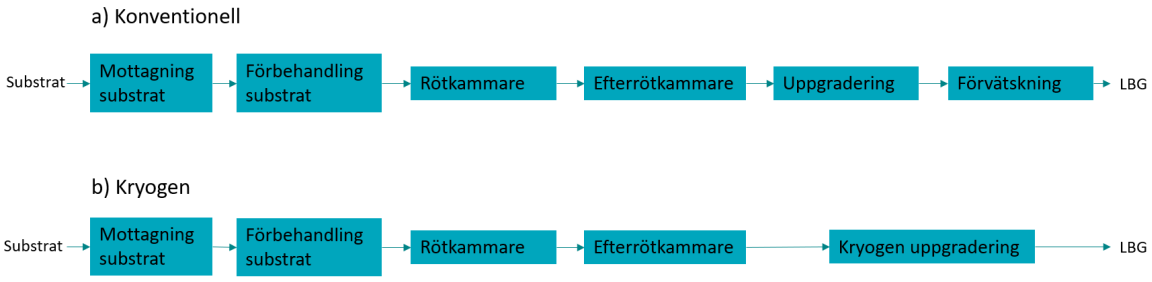

**Figur 8. Produktionskostnad för pyrolysolja med låg (150 kr/MWh) och hög (250 kr/MWh) råvarukostnad samt låg (180 Mkr) och hög (490 Mkr) initial investering.**

# 5.2 Investeringskoncept 2 - LBG

Det investeringskoncept som har getts störst fokus under projektet har varit en anläggning för produktion av flytande biometan (LBG). De huvudsakliga anledningarna är att detta är en typ av anläggning som är kommersiellt mogen idag och som kan leverera drivmedel som kan användas i befintliga tunga lastbilar, inom sjöfart samt ersätta fossila alternativ inom industri. I detta avsnitt presenteras investeringskonceptet inklusive de nödvändiga komponenterna för anläggningen, de typer och storlekar av råvaror som bedömts finns tillgängliga i området, möjlig(a) affärsmodell(er) och en ekonomisk bedömning för anläggningen.

## 5.2.1 Teknikbeskrivning

En anläggning för produktion av LBG omfattar sex huvudsakliga delar: mottagning av substrat, förbehandling av substrat, rötkammare, efterrötkammare, uppgradering av rågas till biometan, förvätskning av biometan och lagring samt distribution och användning av LBG. I detta projekt har lönsamheten undersökts för två olika tekniska konfigurationer, som illustreras i Figur 9. Den ena konfigurationen (”Konventionell”) är baserad på konventionell teknik för uppgradering (aminbaserad) och förvätskning (Mixed-refrigerant) som görs i två separata steg, medan den andra är baserade på en nyare teknik där kryogen uppgradering används vilket medför att uppgradering och förvätskning sker i samma steg. Mottagning och förbehandling skiljer sig något åt för de olika substraten, vilket behandlas vidare i nästa stycke. I båda fallen antas producerad LBG hämtas av tankbilar som transporterar den till användning, men varken transport eller användning är inkluderade i beräkningarna.




**Figur 9. Teknisk konfiguration för de två olika system för LBG-produktion som undersökts i den ekonomiska bedömningen för LBG-affärsmöjligheten. Beräkningar av produktionskostnad innefattar samtliga dessa steg.**

## 5.2.2 Substrat

Beräkningarna har gjorts för ett basfall och två utökade fall, som utgår ifrån olika tillgång och användning av substrat. För båda fallen har samma storlek på rötkammare samt samma hydrauliska uppehållstid i rötningsprocessen använts.

I basfallet antas substraten utgöras av gödsel (flytande och fast) och halm. Inom studerat upptagningsområde (50 km radie för gödsel, 100 km radie för halm) bedöms dessa substrat finnas tillgängliga i mängder som kan motivera en anläggning dimensionerad efter en rågaskapacitet på ca 600 $Nm^3/h$, vilket motsvarar ca 36 GWh LBG per år. Detta utgår från att halmen förbehandlas genom s.k. ångexplosion, vilket ger den ett högre gasubyte än om halmen varit obehandlad. Sådan teknik används dock inte på några anläggningar i Sverige idag

I de båda utökade fallen antas matavfall komplettera, och till viss del ersätta, gödsel och halm i biogasproduktionen. Denna antas då transporteras till anläggningen som en färdigberedd slurry antingen från en av de befintliga förbehandlingsanläggningarna för matavfall i Västra Götaland (Göteborg, Borås, Falköping och Skövde) eller från en ny förbehandlingsanläggning. Allt matavfall som samlas in i regionen idag går redan till befintliga biogasanläggningar. Enligt [46] beräknades den kvarvarande potentialen för matavfall till rötning inom VGR, genom insamling av matavfall i alla kommuner samt införande av bästa teknik för förbehandling av matavfallet, till motsvarande ytterligare 174 GWh biogas per år. Förutsatt införande av insamling av matavfall i fler kommuner i regionen samt byggnation av fler förbehandlingsanläggningar för matavfall/utökad behandlingskapacitet antas därmed substrat finnas tillgängligt som motiverar en anläggning som kan producera ca 56 (utökat fall 1) respektive 65 (utökat fall 2) GWh LBG per år. Mängden matavfall som tas i anspråk av den framtida biogasanläggningen i Otterbäcken skulle då motsvara cirka 30 procent av den framräknade och idag outnyttjade potentialen för biogasproduktion från matavfall [46]. Andelen matavfall i anläggningens substratmix motsvarar då cirka 40 procent.

## 5.2.3 Lokala förutsättningar för avsättning och konkurrens

En viktig förutsättning för att en LBG-anläggning ska kunna bli lönsam är att det finns goda förutsättningar att få avsättning för den LBG som produceras. För en ny anläggning så kan detta antingen ske genom att produkten får avsättning på plats genom att integreras med en ny tankstation eller genom att produkten transporteras till en annan tankstation, industri eller bunkringsanlägging för sjöfart. När det gäller integrering med ny tankstation som finns en viss poäng med att göra detta eftersom djuphamnen i Otterbäcken gör att det finns ett stadigt flöde av

lastbilar som passerar i närheten. Det skulle dock behöva vidare utredning för att se om detta underlag är tillräckligt för att motivera en ny anläggning. När det gäller transport av LBG för användning på annan plats så är det relevant att beakta att de lokala förutsättningarna för avsättning till olika ändamål. Avsättning till sjöfarten skulle kunna tänkas ske från djuphamnen i Otterbäcken, men detta skulle kräva att infrastruktur för LBG-bunkring byggs samt att det finns fartyg som kan bunkra. Ett alternativ är att transportera LBG till någon av hamnarna där sådan infrastruktur finns idag – två i Göteborg och en i Nynäshamn. Avsättning till industrin är ett annat alternativ, och är egentligen inte begränsat till närliggande industrier med tanke på att vägtransport av LBG fortfarande är relativt effektivt (jämfört med transport av CBG). För avsättning till tunga lastbilar så kan detta (utöver från en ny tankstation) ske från någon av de tankstationer som finns idag, i bland annat Mariestad, Götene, Karlstad, Örebro, Mjölby, Linköping, Norrköping eller Göteborg. Utöver dessa så kan fler platser bli aktuella, eftersom utbyggnaden av nätet för LBG-tankstationer idag sker i rask takt.

## 5.2.4 Affärsmodell

Affärsmodellen för flytande biogas bygger på att restprodukter från jordbruket och/eller matavfall rötas, uppgraderas och förvätskas till LBG. LBG:n säljs till bränsledistributör. Rötresten säljs som gödningsmedel till jordbruk. Värdet som skapas är dels energiinnehållet i bränslet, dels den reduktion av växthusgasutsläpp det bidrar med i jämförelse med fossil gas. Utöver driften av själva produktionsanläggningen är råvarusäkringen en nyckelaktivitet.

Genom intervjuer med projektets medverkande företag har en ”business model canvas” utvecklats, se Figur 10.

<table>
<tr><td rowspan="2">Samarbetspartners<br>Leverantörer av råvaror.<br>Logistik råvaror.<br><br>Värmemottagare.<br>Kommunen.<br>Koldioxidmottagare.<br>Investerare.<br>Tekniskleverantörer.</td><td>Nyckelaktiviteter<br>Produktion av drivmedel, värme och gödningsmedel.<br>Råvarusäkring.</td><td rowspan="2">Värdeerbjudande<br>Flytande biogas, LBG.<br>Hållbart drivmedel med hög energitäthet och kort tanktid.<br>Reduktion av klimatgasutsläpp.<br>Lokalt producerat drivmedel.<br>Gödningsmedel.</td><td>Kundrelation<br>Avtal med bränsledistributör.<br>Spårbar produkt och råvara. Proof of origin.<br>Kvalitetssäkring, uppfylla standard.<br>Certifiering. Proof of sustainability.</td><td rowspan="2">Kundsegment<br>Bränsledistributörer.<br>Jordbruk.</td></tr>
<tr><td>Nyckelresurser<br>Kompetent personal.<br>Försörjningskedja.<br>Kontrakt med råvaruleverantörer.<br>Produktionsanläggning.<br>Tillstånd.<br>Certifikat.</td><td>Kanaler<br>Direkt kontakt med bränsledistributör.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Kostnadsstruktur<br>Tungt på initial investering: Utrustning, markarbete mm.<br>Driftkostnader: Råvaror, personal, el.<br>Främst kostnadsdriven (antaget att kund ”bara” vill ha LBG, inte minimera klimatpåverkan). Värdedriven om LBG i framtiden ingår i reduktionsplikt.</td><td colspan="3">Intäktsströmmar<br>Kronor per volym. Avtal enligt prismodell, löpande.</td></tr>
</table>

**Figur 10. Business model canvas för produktion av flytande biogas.**

## 5.2.5 Ekonomisk bedömning

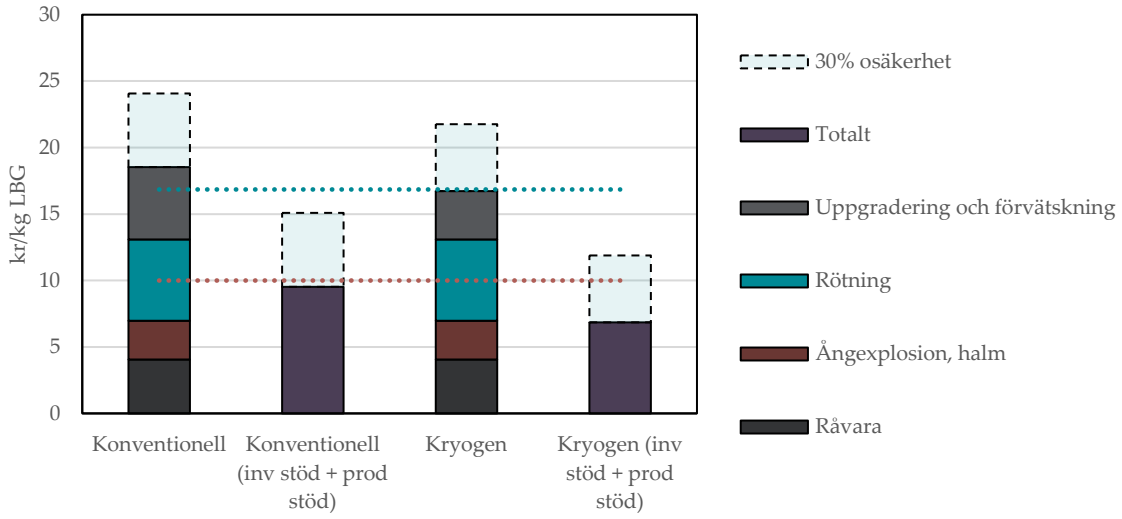
För att ge en bild av de ekonomiska förutsättningarna att etablera en LBG-anläggning har en tekno-ekonomisk bedömning gjorts för de två olika tekniska konfigurationerna, baserat på beräknad kostnad för förbehandling och rötning samt uppgifter från Wärtsilä (för konventionell

uppgradering och förvätskning) och Cryopur (för kryogen uppgradering och förvätskning). Dessa beräkningar gjordes först för ett fall – basfallet – där substraten antogs utgöras av halm samt flyt- och fastgödsel från nöt, svin och fågel. Under projektets gång visade det sig dock att det fanns ett stort intresse just för LBG-anläggningen och kring möjligheten att nyttja olika sorters substrat. Av denna anledning beviljades ytterligare medel för ett tilläggsuppdrag med syftet att uppdatera den ekonomiska för att ta höjd för möjligheten att även ta emot matavfall, och därför gjordes den ekonomiska bedömningen även för ett fall där substratet antogs utgöras av gödsel, halm och matavfall – utökat fall 1 – samt ett fall där substratet antogs utgöras av gödsel och matavfall – utökat fall 2. Resultaten från samtliga av dessa fall presenteras nedan.

Detaljerade antaganden bakom den ekonomiska bedömningen för LBG-anläggningen finns i Appendix 8.2.

#### 5.2.5.1 Produktionskostnad basfall

I Figur 11 illustreras produktionskostnaden för LBG med konventionell respektive kryogen uppgradering och förvätskning för basfallet (gödsel+halm) där anläggningen producerar ca 36 GWh per år. Kostnaderna är nedbrutna i dess olika beståndsdelar och inkluderar ett tillägg på 30% på totalkostnaden för att ta höjd för osäkerheter i bedömningen. I figuren sätts produktionskostnaderna i relation till både ett fossilt indexerat (högre) och icke-indexerat (lägre) marknadspris för LBG, baserat på branscherfarenhet samt utifrån omvända beräkningar från priset vid tankstation där kostnaden för själva tankstationen räknats bort. Produktionskostnaden för motsvarande system där investerings- och produktionsstöd har räknats med visas också i samma figur. Stödens bakgrund och syfte beskrevs i 2.1 och deras detaljerade utformning beskrivs i stycket efter figuren. De slutsatser som kan dras av figuren är att de icke-subventionerade systemen kan bli svåra att räkna hem om inte LBG-priserna blir kvar på en lika hög eller högre nivå än idag. I de fall där systemen kan räkna med produktions- och investeringsstöd så ser kalkylen däremot ljusare ut och en anläggning skulle kunna bli lönsam även vid lägre LBG-priser.



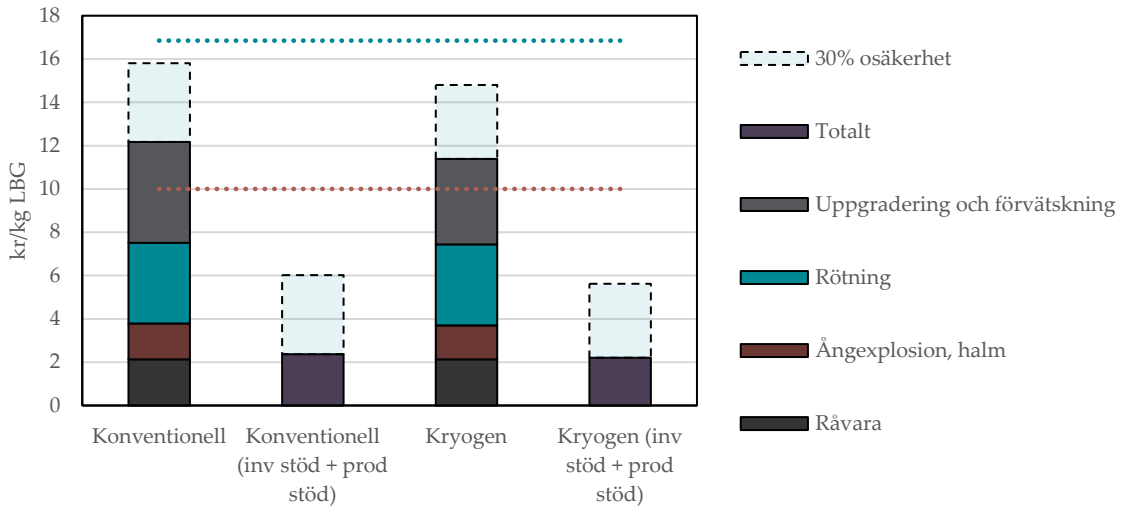

**Figur 11. Produktionskostnad basfallet för LBG för konventionell respektive kryogen uppgradering och förvätskning – med och utan produktionsstöd.**

Möjligheten att söka produktionsstöd för biogasproduktion har funnits i Sverige sedan 2015 genom gödselgasstödet och investeringsstöd har kunnat sökas sedan 2015 genom Klimatklivet, men viss förändring är på gång främst för produktionsstödet. Investeringsstöd genom Klimatklivet möjliggör för aktörer att söka upp till ca 150 Mkr i stöd vid investeringar i bl.a. biogasanläggningar

för att täcka 40-60% av investeringskostnaderna. Stödet får dock inte överstiga vad som är nödvändigt för att kompensera mellanskillnaden mot fossil motsvarighet (flytande naturgas – LNG- i detta fallet). Gödselgasstödet har sedan 2015 möjliggjort för anläggningar som producerar biogas från stallgödsel att få produktionsstöd med upp till 40 öre/kWh. Detta stöd har dock successivt minskat och kommer att fasas ut 2023 om ingen förlängning skulle ske. Istället har en ny förordning kommit på plats som möjliggör stöd för produktion av biogas som sedan uppgraderas till biometan, samt ytterligare stöd om denna biometan förvätskas till LBG. Förordningen möjliggör upp till 45 öre/kWh för biogas som både uppgraderas och förvätskas, i den mån som budgeten räcker. Vid bedömning av stödnivå dras eventuellt investeringsstöd av från produktionskostnaden och även för produktionsstödet gäller att det inte får överkompensera prisskillnaden mot LNG.

### 5.2.5.2 Produktionskostnad utökat fall 1 (gödsel, matavfall, halm)

Som en del av tilläggsuppdraget gjordes även beräkningar för att se hur ekonomiska situationen kan se ut för en anläggning som utöver gödsel och halm även tar emot matavfall, vilket skulle möjliggöra produktion av ca 65 GWh LBG per år. I Figur 12 illustreras produktionskostnaden för detta fall för både konventionell och kryogen uppgradering och förvätskning, med och utan produktions- och investeringsstöd. I detta fall blir produktionskostnaderna för samtliga alternativ lägre än i basfallet, och även alternativen utan stöd når en lägre produktionskostnad än dagens LBG-priser. Jämfört med de icke-indexerade LBG-priserna blir dessa kostnader dock högre och här krävs stöd för att nå paritet. Med stöd är det dock möjligt att nå priser som är betydligt lägre än icke-indexerade marknadspriser, men så som stöden är utformade kommer de endast ges till en nivå där de kompenserar för mellanskillnaden.

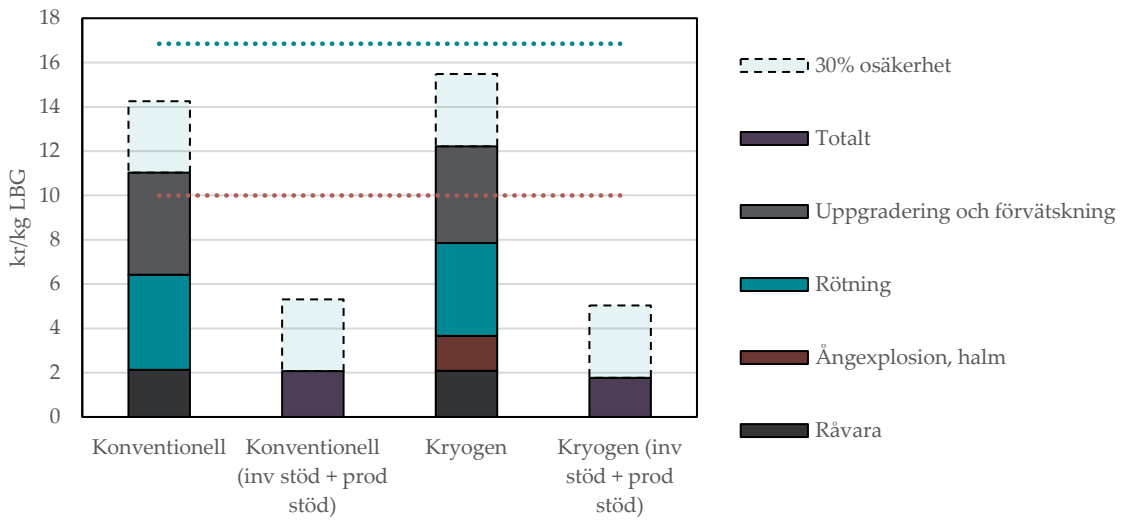



**Figur 12. Produktionskostnad utökat fall 1 för LBG för konventionell respektive kryogen uppgradering och förvätskning – med och utan produktionsstöd.**

### 5.2.5.3 Produktionskostnad utökat fall 1 (gödsel, matavfall)

Tilläggsuppdraget innefattade även beräkningar för ett fall där gödsel används men där halm byts ut mot matavfall, vilket skulle möjliggöra produktion av ca 56 GWh LBG per år. I Figur 13 illustreras produktionskostnaden för detta fall för både konventionell och kryogen uppgradering och förvätskning, med och utan produktions- och investeringsstöd. Även i detta fall blir produktionskostnaderna för samtliga alternativ lägre än i basfallet, och dessutom lägre än i utökat fall 2 (gödsel+halm+matavfall). Anledningen till detta är att ingen utrustning behövs för att förbehandla halmen, vilket stod för en väsentlig investeringskostnad i de andra fallen. Både de

konventionella och kryogena systemen hamnar på en lägre kostnad än dagens fossil-indexerade marknadspris för LBG, oavsett om de har stöd eller inte. Jämfört med de icke-indexerade LBG-priserna är det dock återigen endast de subventionerade alternativet som når paritet. Med stöd är det dock möjligt att nå priser som är betydligt lägre än icke-indexerade marknadspriser, men så som stöden är utformade kommer de endast ges till en nivå där de kompenserar för mellanskillnaden.




**Figur 13. Produktionskostnad utökat fall 2 för LBG för konventionell respektive kryogen uppgradering och förvätskning – med och utan produktionsstöd.**

### 5.2.6 Slutsatser investeringskoncept

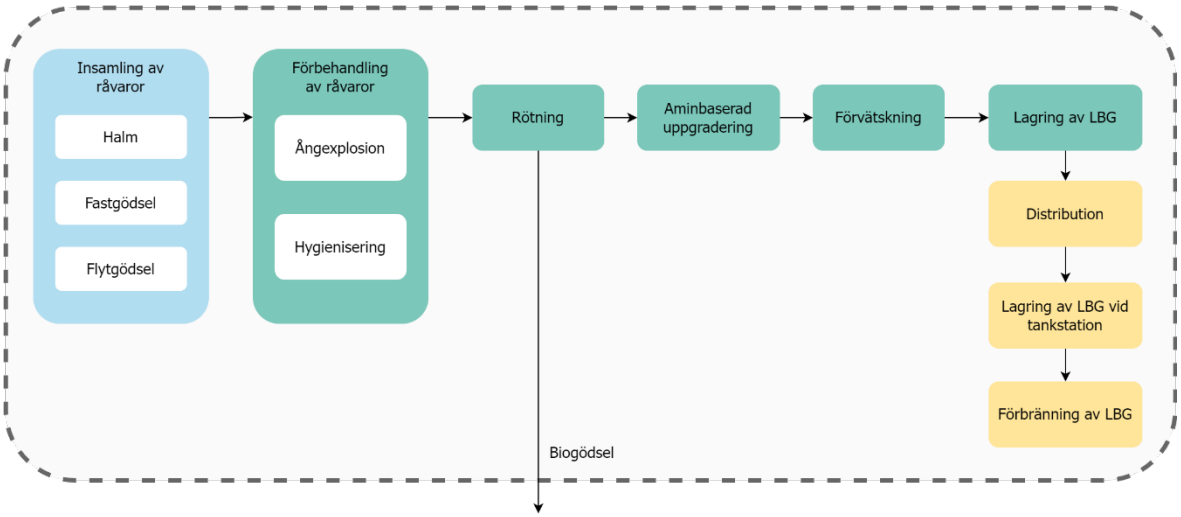
De slutsatser som kan dras kring affärsmöjligheten med en LBG-anläggning är att det ser ut finnas förutsättningar för en anläggning i storleksordningen 56–65 GWh om matavfall kan nyttjas och 37 GWh om matavfall inte nyttjas. En anläggning hade kunnat drivas utifrån olika affärsmodeller, där aktören som äger och driver anläggningen antingen kan fokusera på detta och sälja LBG till en aktör som distribuerar och säljer till slutkund, alternativt att aktören som äger och driver anläggningen dessutom distribuerar och säljer LBG till slutkund. De ekonomiska förutsättningarna blir – trots den mindre storleken – gynnsamma om investerings- och produktionsstöd kan säkras.

# 6 Klimatpåverkan

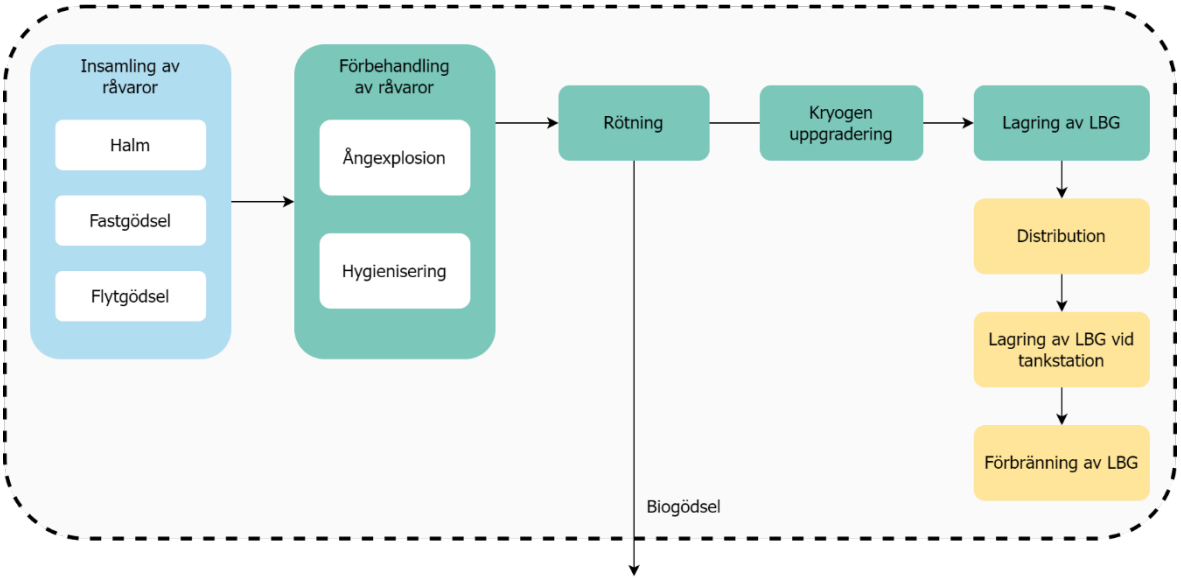
Klimatpåverkan av biodrivmedlen kan bedömas genom att använda en livscykelanalys (LCA). LCA är en miljöbedömningsmetod där resursanvändning och utsläpp av en produkt beräknas genom hela livscykeln – d.v.s. från att resurser utvinns till slutskedet av produkten. Därmed kan olika typer av miljöpåverkan – såsom klimatpåverkan, försurning och resursutarmning – beräknas. I detta fall görs LCA i enlighet med det reviderade förnybarhetsdirektivet (EU) 2018/2001 (REDII) där endast klimatpåverkan står i fokus. Den funktionella enheten definieras som 1 MJ bränsle.

Två LCA gjordes på biogas som – likt i den ekonomiska bedömningen – uppgraderas och förvätskas genom två olika tekniker: konventionell (aminbaserad uppgradering och förvätskning med mixed refrigerants (MR)) samt kryogen uppgradering (Cryopur). För LCA-beräkningarna

antogs substratet till rötningen kommer från halm samt fast och flytande gödsel från svin, nöt och fågel. Kapaciteten av LBG-anläggningen är runt 36 GWh/år. Två systemdiagram som visar vilka aktiviteter som ingår i LCA-beräkningen presenteras i Figur 14 och Figur 15. Då halm och gödsel anses vara avfall enligt REDII bär de inte med sig någon påverkan från produktionsskedet. Systemgränsen börjar därför vid dess insamling.




**Figur 14: Ett systemdiagram för LBG via aminbaserad uppgradering och förvätskning (mixed refrigerant)**




**Figur 15: Ett systemdiagram för LBG som tillverkas genom kryogen uppgradering.**

## 6.1 Livscykelbeskrivning

Halm och fastgödsel samlas in från kommuner runt omkring anläggningen. Sedan transporteras de till biogasanläggningen. Transportsträckan för detta antas vara 30 km och lastbilen antas köra tillbaka tom. Flytgödsel levereras från gårdar där samma lastbil också används för att hämta

biogödsel i vändande transport. Transportsträckan antas vara 25 km. Förbehandling av halm sker genom ångexplosion där värmebehovet förses genom förbränning av producerad rågas i en gaspanna. Ångexplosionen genererar ett överskott av värme som täcker värmebehovet i hygieniseringsprocessen. Förbehandlade substrat skickas vidare till en rötkammare. Rötningsprocessen producerar rågas och biogödsel. Stallgödsel som rötas och omvandlas till biogödsel ger en klimatnytta eftersom rötningen gör att metan och lustgas som annars släpps ut när orötad gödsel lagras och sprids på marken undviks. Klimatnyttan av biogödseln bidrar till en utsläppssänkning av 54 kg $CO_2$eq per ton stallgödsel enligt REDII-direktivet.

I rötningsprocessen beräknas det att 0,27% av metanet släpps ut från rötningen [47]. 1% av rågasen används för fackling där 0,5% av denna släpps ut. Rågasen kan sedan uppgraderas antingen genom aminskrubber eller kryogen teknik, för att i det första fallet därefter förvätskas med MR-teknik. Med aminskrubber antogs 0,1% metanslip samt att 2% av gasen som facklas släpps ut. Material såsom amin och kolfilter som behövs för processen har exkluderats från beräkningen på grund av otillgänglighet av data. Förvätskning av biogas antas ha 0% metanslip enligt Börjesson (2016). Med kryogen teknik uppnås både uppgradering och förvätskning och samma antagande om metanslip och fackling som för aminbaserad uppgradering antas.

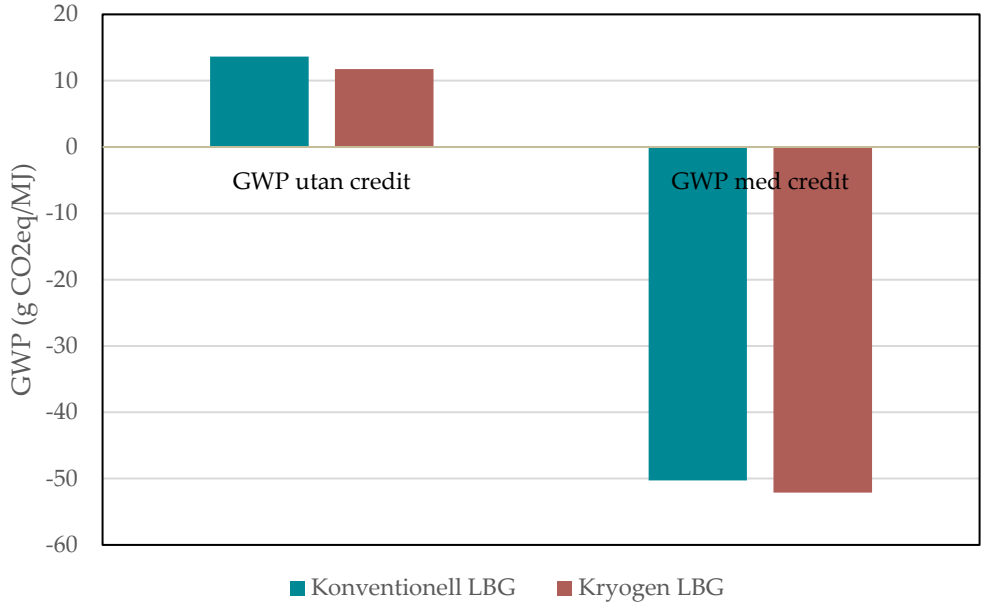
Lagring av LBG i anläggningen antas förbruka 0,01 kWh/$m^3$ LBG. Distribution av LBG till tankstation görs med en medelsträcka på 150 km och tomtransport tillbaka gäller. När bränslet kommer till tankstationen lagras det i en cistern som förbrukar 0,04 kWh/$m^3$ LBG (Börjesson, 2016). Sista steget är när LBG förbränns i en tung lastbil, klass Euro VI. Förbränning av LBG släpper ut biogen koldioxid ($CO_2$), metan ($CH_4$) och lustgas ($N_2O$). Utsläpp av Biogent $CO_2$ kan exkluderas från beräkningen enligt REDII-direktivet vilket leder till att endast metan och lustgas tas hänsyn till i beräkningen. Emissionsfaktor för metan och lustgas är 25 respektive 298.

Se Appendix 8.3 för mer detaljer om data och de källor som används i beräkningen.

## 6.2 LCA resultat och tolkning

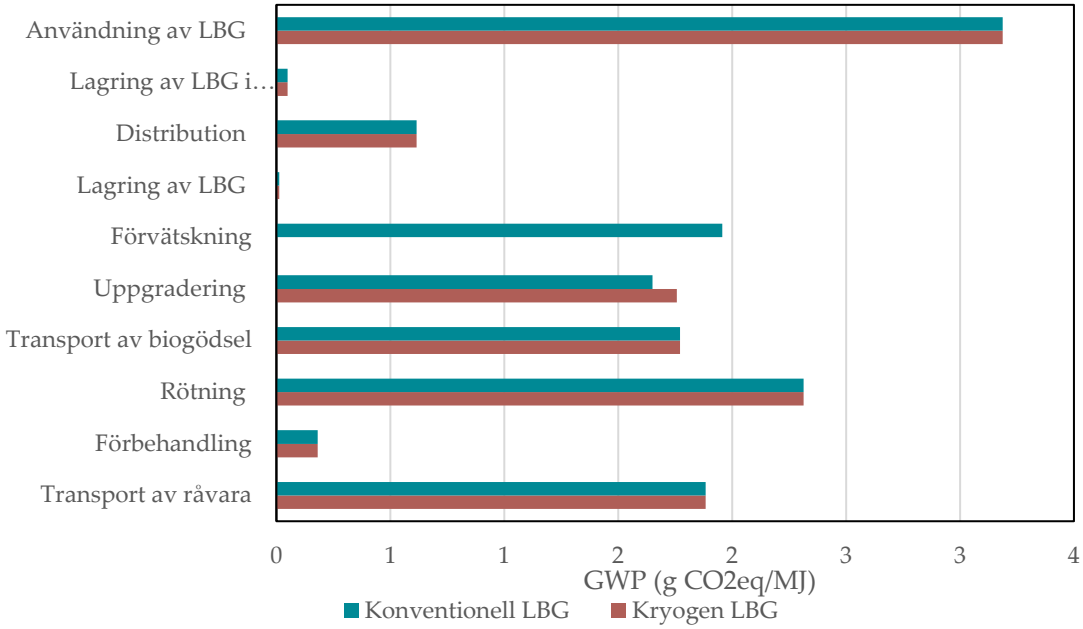
Resultatet från LCA-beräkningarna av LBG visas i Figur 16 där den blå stapeln representerar den klimatpåverkan från LBG via konventionell uppgradering/förvätskning och den grå stapeln representerar påverkan från LBG via kryogen uppgradering. Resultatet presenteras på två sätt, den ena är klimatpåverkan med ”credit” vilket syfta till den negativa utsläppsbidraget från biogödsel och den andra utan credit. Klimatpåverkan uttrycks i grafen som ”Global Warming Potential” (GWP) vilket har enheten gram koldioxid-ekvivalent (g $CO_2$eq).

Resultatet i Figur 16 visar att LBG via kryogen tekniken har lägre klimatpåverkan än LBG via konventionell uppgradering/förvätskning. Utan hänsyn till det negativa bidraget från biogödsel ligger påverkan för den konventionella LBG på 13.6 g$CO_2$eq/MJ medan LBG baserad på kryogen teknik ger påverkan på 11.8 g$CO_2$eq/MJ. Klimatpåverkan av LBG sänks signifikant när man räknar med den negativa utsläppen som biogödseln bidrar med. På grund av en stor mängd fast- och flytgödsel som används i rötningsprocessen bidrog de till en sänkning med ca -64 g$CO_2$eq/MJ LBG. Detta leder till att klimatpåverkan av konventionella och kryogenteknik-baserad LBG kan minskas till -50,3 respektive -52,1 g$CO_2$eq/MJ.




**Figur 16. LCA-resultat av två LBG-modeller både med och utan ett negativt bidrag från biogödsel.**

Man kan använda LCA-resultaten för att analysera vidare vilka aktiviteter som är huvudbidrag till klimatpåverkan. Figur 17 visar en jämförelse av klimatpåverkan uppdelad i olika aktiviteter för de två studerade LBG-modellerna.




**Figur 17. Klimatpåverkan uppdelad per aktivitet för LBG baserad på konventionell uppgradering/förvätskning och LBG baserad på kryogen uppgradering/förvätskning.**

Resultatet visar att användningsfasen av LBG i lastbilar är den största posten. Näst följer rötningsprocessen samt transport av råvaror och biogödsel. Dessa fyra aktiviteter har samma påverkan för båda modellerna. Det som skiljer sig mellan dem är uppgraderings- och

förvätskningssteget. Förvätskning är endast relevant för LBG baserad på konventionell uppgradering och denna post bidrar med en mer betydande påverkan än uppgraderingssteget. Denna skillnad i tillverkningsprocessen ger också upphov till en större klimatpåverkan hos LBG baserad på konventionell uppgradering.

## 6.3 Känslighetsanalys

Det är troligt att mängden metanförluster som uppstår i rötningsprocessen och uppgraderingen kan påverka resultatet till en viss del. En känslighetsanalys gjordes på andel metanslip som används i beräkningarna. I rötningsprocessen antas det att 0,27% av producerad rågas släpps ut som förluster medan i uppgraderingssteget antas metanslipet att vara 0,1%. Andel metanslip ändras till 2% respektive 1% i stället i denna känslighetsanalys vilket är en stor höjning (740%-1000%). Ändringen resulterar i en ökning av klimatpåverkan med 32% för den konventionella och 31% på den kryogenbaserad LBG. Ökningen är fortfarande mindre än det negativa bidraget från den förbättrade gödselhantering och därmed ha båda typer av LBG fortfarande nettonegativ klimatpåverkan.

## 6.4 Slutsatser och diskussion kring LCA-beräkningar

Resultatet från LCA studier som gjordes på aminbaserad- och kryogenteknik-baserad LBG visar att den senare tekniken har lägre klimatpåverkan. LCA-beräkningarna följde metoden som beskrivs i REDII-direktivet och beräknades från att transport av råvarorna tills att 1 MJ av LBG förbränns. Med det stora negativa bidraget från förbättrad gödselhantering kan utsläppen minska till mellan -50,3 och -52.1 $gCO_2eq/MJ$. Dock finns det några osäkerheter och antaganden i beräkningarna som bör has i åtanke. Till exempel har påverkan från andra material eller medel så som amin, kolfilter och kylmedel exkluderats från beräkningen vilket medför att resultatet är något underberäknat. Det antas också att metanslip sker endast i rötnings- och uppgraderingssteget men i verkligheten kan metanslip också tillkomma vid lagring av biogödsel och LBG. Åt andra sidan skulle klimatpåverkan kunna minskat ytterligare om endast förnybara el som till exempel från vind- och vattenkraft används i stället för svensk el-mix som antas i beräkningen. Känslighetsanalysen visar att klimatpåverkan är medelkänslig till ändringen i andelen metanslip men det leder inte till någon ändring i utslaget.

# 7 Slutsatser från projektet

De huvudsakliga slutsatserna från detta projekt är att en anläggning för produktion av flytande biometan (LBG) är ett kommersiellt attraktivt och intressant investeringskoncept för den utpekade platsen inom den tidsram och för de användningsområden som uttryckts i projektgruppen. Samtliga av de andra alternativen medför i nuläget för stora osäkerheter och utvecklingsmoment för att vara intressanta för platsen och intressenterna inom tidsramen. En sådan anläggning skulle kunna producera ett bränsle med negativ klimatpåverkan (eftersom metanutsläpp från gödsel undviks) – mellan -50,3 och -52.1 $gCO_2eq/MJ$ – baserat på lokala råvaror.

Marknaden för biogas behöver växa kraftigt för att nå de planeringsmål om 10 TWh år 2030 som föreslagits i Biogasmarknadsutredningen. Flertalet styrmedel stödjer denna riktning, inklusive förlängningen av skattebefrielsen för biogas för uppvärmning och fordon till 2030, investeringsstöd via Klimatklivet till biogasproduktion och användning inom transportsektorn och industrin samt produktionsstöd till biogas producerad från gödsel och till biogas som uppgraderas och förvätskas. Samtidigt ökar efterfrågan på både komprimerad och flytande biometan från den tunga transportsektorn, sjöfarten och industrin. Som beräkningarna av klimatpåverkan i denna rapport visar så hade en anläggning för produktion av flytande biometan i Otterbäcken möjliggjort produktion av ett drivmedel med låg klimatpåverkan utifrån lokala råvaror.

De osäkerheter som kvarstår och som kan behöva vidare utredning är tillgången till råvara, lokalisering och teknik för uppgradering och förvätskning. Gällande råvarutillgång så har projektets kartläggning identifierat en tillräcklig potential för att kunna förse en anläggning där uppgradering och förvätskning av biometan lönar sig, men detta är endast en teoretisk kartläggning utifrån gårdar och djurbestånd samt halmproduktion, och denna kan inte garantera råvarornas tillgänglighet. Möjligheten finns även att nyttja matavfall från förbehandlingsanläggningar i regionen, alternativt om en ny förbehandlingsanläggning skulle komma på plats. Gällande lokalisering finns det viss osäkerhet kring om den undersökta platsen är den som är mest lämpad för denna typ av anläggning. Detta har inte undersökts i projektet, eftersom utgångspunkten har varit att undersöka lämpligheten för en anläggning just på denna plats. Gällande teknik så ligger de främsta osäkerheterna i om den kryogena uppgraderingsteknik som antagits i investeringskoncept och LCA-beräkningar fungerar. Det finns idag ett flertal kommersiella anläggningar i drift sedan några år tillbaka, men för att minska risken att en ickefungerande teknik väljs så bör information om referensanläggningar inhämtas från aktuell teknikleverantör.

## 7.1 Vägar framåt

Eftersom slutsatserna av projektet är att det finns förutsättningar för etablering av en biogasanläggning i Otterbäcken så är det av intresse att ge rekommendationer på de steg som behöver tas för att en sådan etablering ska kunna ske. En nödvändighet för att en anläggning ska bli till är dock att någon aktör har intresse av att driva projektet vidare mot en eventuell investering, och det är då denna aktör som blir ansvarig för att driva dessa punkter vidare. De viktigaste åtgärderna presenteras här:

- **Ta kontakter med råvaruleverantörer**. Den substratkartläggning som gjorts i projekt har påvisat goda möjligheter att få tag på substrat för en biogasanläggning, men för att en anläggning ska kunna bli till så måste dessa säkras upp och avtal skrivas.
- **Begär in ytterligare information om referensanläggningar för kryogen uppgraderingsteknik**. Detta bör göras för att säkerställa för att tekniken som används motsvarar förväntningarna.
- **Ta kontakt med potentiella köpare av biogasen**. Intentionsavtal från dessa kan även vara nödvändigt för att kunna få investeringsstöd beviljat.
- **Ta kontakt med lantbruk för distribution av biogödseln.**
- **Påbörja ansökan om miljötillstånd**. Miljötillstånd enligt Miljöbalken är en nödvändighet för den här typen av anläggning och eftersom denna typ av processer kan ta lång tid så är det fördelaktigt ju tidigare processen kan starta.
- **Påbörja ansökan om investeringsstöd**. Investeringsstöd från Klimatklivet kan bidra till (och kanske även vara en nödvändighet för) att göra en LBG-anläggning i Otterbäcken

lönsam. För att undvika att pengar läggs ner på ett projekt som sedan behöver avbrytas kan det därför vara fördelaktigt att tidigt ansöka om investeringsstöd.

- **Eventuell bygglovsansökan**. Den detaljplan som finns för det aktuella området har goda förutsättningar för en LBG-anläggning utan att bygglov ska krävas, men för att undvika att bygglov blir en flaskhals kan det vara fördelaktigt att tidigt utreda om befintlig detaljplan är tillräcklig eller om en bygglovsansökan behöver påbörjas.
- **Anläggnings- och hållbarhetsbesked**. För att kunna göra avdrag på energi- och koldioxidskatten på den LBG som produceras samt för att den ska räknas som nollutsläpp inom EU-ETS så krävs både ett anläggningsbesked och ett hållbarhetsbesked från Energimyndigheten. Detta kräver först att en ansökan om rapporteringsskyldighet och anläggningsbesked görs och därefter att en ansökan om hållbarhetsbesked görs. När en anläggning börja närma sig driftsättning behöver därför processen för att ansöka om dessa besked inledas. [48, 49]

Förutom den sista punkten så kan dessa steg göras i olika inbördes ordning, och det är i slutändan upp till aktören som ska driva hur denna väljer att taktiskt lägga upp detta.

# 8 Appendix

## 8.1 Omvandlingsfaktorer råvarukartläggning

**Generella bakomliggande data – för ekonomisk bedömning. Där "f sv" står för "fuktig sågad vara".**

| Från | Till | Faktor | Enhet |
|---|---|---|---|
| Sågad vara | Bark | 0,110 | MWh/m³f sv |
| | Sågspån | 0,202 | MWh/m³f sv |
| | Cellulosaflis | 1,109 | MWh/m³f sv |
| | Torrflis | 0,130 | MWh/m³f sv |
| | Kutterspån | 0,076 | MWh/m³f sv |
| Massa | Bark | 0,143 | MWh/ton massa |
| | Grot | 4,812 | MWh/ton |

## 8.2 Bakomliggande data – ekonomisk bedömning

**Tabell 1. Generella ekonomiska antaganden – för ekonomisk bedömning.**

| | Värde | Enhet |
|---|---|---|
| Kalkylränta | 5 | % |
| Elpris | 0,85 | kr/kWh |
| Vattenpris | 10 | kr/m³ |
| Timpris, personal | 300 | kr/h |
| Försäkring | 260 000 | kr/år |
| Elanslutning | 150 000 | kr/år |
| Investeringsstöd | 45 | % av investeringskostnad |
| Produktionsstöd | 45 | Öre/kWh |

**Tabell 2. Antaganden kring pris och torrsubstanshalt (TS-halt) för substrat – för ekonomisk bedömning.**

| | Värde | Enhet |
|---|---|---|
| Pris, flytgödsel, nöt (vid grind) | 50 | kr/ton våt |
| Pris, flytgödsel, svin (vid grind) | 50 | kr/ton våt |
| Pris, fastgödsel, fågel (vid grind) | 100 | kr/ton våt |
| Pris, matavfall (vid grind) | 50 | kr/ton våt |
| Pris, halm (vid grind) | 500 | kr/ton TS |
| TS -halt, gödsel, nöt | 8 | % |
| TS-halt, gödsel, svin | 7 | % |
| TS-halt, gödsel, fågel | 55 | % |
| TS-halt, matavfall | 16 | % |
| TS-halt, halm | 86 | % |

**Tabell 3. Investeringskostnad och energibehov vid förbehandling – för ekonomisk bedömning.**

| | Värde | Enhet | Kommentar |
|---|---|---|---|
| Investeringskostnad, ångexplosion, ca | 2,8 | Mkr | Endast i de fall halm nyttjas |
| Värmebehov, ångexplosion | 10 | % av rågas | Endast i de fall halm nyttjas |
| Elbehov, ångexplosion | 3 | % av rågas | Endast i de fall halm nyttjas |

**Tabell 4. Bakomliggande data kring rötning – för ekonomisk bedömning.**

| | Värde | Enhet | Kommentar |
|---|---|---|---|
| Investeringskostnad | 10–12 | Mkr | |
| Drift och underhåll | 5 | % av investering | |
| TS-halt, inmatat substrat | 10–12 | % | |
| Rötkammarvolym | 2x6 500 | $m^3$ | |
| Efterrötkammarvolym | 2x4 000 | $m^3$ | |
| Uppehållstid, ca | 30 | dagar | |
| Elbehov | 5 | % av rågas | |
| Värmebehov | 10 | % av rågas | Endast då ångexplosion för halm ej nyttjas |
| Insatsvaror | 100 000 | kr/år | |
| Personalbehov | 2 500 | h/år | |

**Tabell 5. Ekonomiska antaganden och energibehov för uppgradering och förvätskning med konventionell teknik – för ekonomisk bedömning.**

| | Värde | Enhet | Kommentar |
|---|---|---|---|
| Investeringskostnad | 100 | Mkr | |
| Drift och underhåll | 2,5 | % av investering | |
| Elbehov | 1,1 | kWh/kg LBG | |
| Värmebehov | 0,7 | kWh/$Nm^3$ | |
| Personalbehov | 1 400 | h/år | |

**Tabell 6. Ekonomiska antaganden och energibehov för uppgradering och förvätskning med kryogen teknik – för ekonomisk bedömning.**

| | Värde | Enhet | Kommentar |
|---|---|---|---|
| Investeringskostnad | 60 | Mkr | |
| Drift och underhåll | 2,5 | % av investering | |
| Elbehov | 1,1 | kWh/kg LBG | |
| Värmebehov | 0,7 | kWh/$Nm^3$ | |
| Personalbehov | 1 400 | h/år | |

# 8.3 Bakomliggande data – LCA

**Tabell 7. Bakomliggande data kring råvaror – för LCA-beräkningar.**

| Insamling av råvara | Värde | Enhet |
|---|---|---|
| Mängd, halm | 5 477 | t/år |
| Mängd, flytgödsel | 154 907 | t/år |
| Mängd, fastgödsel | 6 169 | t/år |
| Transportsträcka, halm | 30 | km |
| transportsträcka, flytgödsel | 25 | km |
| transportsträcka, fastgödsel | 30 | km |

**Tabell 8. Bakomliggande data kring förbehandling – för LCA-beräkningar.**

| Förbehandling | Värde | Enhet | Källor |
|---|---|---|---|
| **Input** | | | |
| Flytgödsel, svin | 29 867 | t/år | |
| Flytgödsel, nöt | 125 040 | t/år | |
| Fastgödsel, fågel | 6 169 | t/år | |
| Halm | 5 477 | t/år | |
| El | 0.54 | GWh/år | källa |
| **Output** | | | |
| Behandlade råvaror | 166 554 | t/år | |

**Tabell 9. Bakomliggande data kring rötning – för LCA-beräkningar.**

| Rötning | Värde | Enhet | Källor |
|---|---|---|---|
| **Input** | | | |
| Råvaror | 166 554 | t/år | |
| El | 1 915 | MWh/år | |
| Vatten | 20 000 | m3/år | |
| **Output** | | | |
| Total producerad rågas | 3 841 977 | Nm3/år | |
| Biogödsel | 166 554 | t/år | |
| Rågas ut | 98,73 | % | |
| Metanslip | 0,27 | % | [47] |
| Gasfackling | 1 | % | [47] |
| Metanslip från gasfackling | 0,5 | % | Antagande baserad på [50] |

**Tabell 10. Bakomliggande data kring uppgradering med konventionell teknik – för LCA-beräkningar.**

| Uppgradering | Värde | Enhet | Källor |
|---|---|---|---|
| **Input** | | | |
| Rågas | 3 432 817 | Nm3/år | |
| El | 1 559 | MWh/år | |
| Vatten | 492 | m3/år | |
| **Output** | | | |
| Metan | 3 292 072 | Nm3/år | |
| Metanslip | 0,1 | % av input | |
| Gasfackling | 4 | % | [50] |
| Metanslip från fackling | 2 | % av gas som facklas | [50] |

**Tabell 11. Bakomliggande data kring uppgradering och förvätskning med kryogen teknik – för LCA-beräkningar.**

| Kryogen uppgradering | Värde | Enhet | Källor |
|---|---|---|---|
| **Input** | | | |
| Rågas | 3 432 817 | Nm3/år | |
| El | 1 846 | MWh/år | |
| **Output** | | | |
| Metan | 3 292 072 | Nm3/år | |
| Metanslip | 0,1 | % av input | |
| Gasfackling | 4 | % | [50] |
| Metanslip från fackling | 2 | % av gas som facklas | [50] |

**Tabell 12. Bakomliggande data kring förvätskning med konventionell teknik – för LCA-beräkningar.**

| Förvätskning | Värde | Enhet |
|---|---|---|
| **Input** | | |
| Metan | 3 292 072 | Nm3/år |
| El | 5 497 | MWh/år |
| **Output** | | |
| LBG | 3 292 072 | Nm3/år |

**Tabell 13. Utsläppsdata för användning av LBG i lastbil – för LCA-beräkningar.**

| Combustion | Värde | Enhet |
|---|---|---|
| $CO_2$ | 3,7 | g/MJ |
| $CH_4$ | 0,056 | g/MJ |
| $N_2O$ | 0,006 | g/MJ |

# 9 Referenser


1. Naturvårdsverket. *Rekordminskning av Sveriges klimatutsläpp 2020*. 2022 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/.
2. Naturvårdsverket. *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. i.d.; Available from: https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/.
3. Nyheter, S. *Biodrivmedel ger sju gånger mer klimatnytta än alla elbilar*. 2022 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.svt.se/nyheter/inrikes/biodrivmedel-ger-sju-ganger-mer-klimatnytta-an-alla-elbilar-1.
4. Energimyndigheten. *Drivmedel 2020*. 2021 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=203063.
5. Preem. *Preem förlänger lyckad provdrift av pyrolysolja*. 2022 [cited 2022 6 juni]; Available from: https://www.preem.se/om-preem/insikt-kunskap/2022/fornybart-fcc/.
6. Uniper and S. kommun. *Uniper och Sasol ecoFT i gemensamt initiativ för tillverkning av hållbart flygbränsle genom projektet SkyFuelH2*. 2022 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.mynewsdesk.com/se/uniper/pressreleases/uniper-och-sasol-ecoft-i-gemensamt-initiativ-foer-tillverkning-av-haallbart-flygbraensle-genom-projektet-skyfuelh2-3177913.
7. SCA and St1. *SCA och St1 går samman om nytt bioraffinaderi i Göteborg*. 2021 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.mynewsdesk.com/se/stordaahd-kommunikation-ab/news/sca-och-st1-gaar-samman-om-nytt-bioraffinaderi-i-goeteborg-434052.
8. Sverige, E. *Statistik om fordonsgas*. n.d. [cited 2022 14 juni]; Available from: https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/statistik-om-fordonsgas/.
9. Jivén, K., et al., *CAN LNG BE REPLACED WITH LIQUID BIO METHANE (LBM) IN SHIPPING?* 2022.
10. Energimyndigheten. *Reduktionsplikt*. 2021 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/.
11. Finansdepartementet. *Regeringen ansöker om fortsatt skattebefrielse för flytande biodrivmedel*. 2022 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/02/regeringen-ansoker-om-fortsatt-skattebefrielse-for-flytande-biodrivmedel/.
12. EU-kommissionen. *State aid: Commission approves prolongation of tax exemption for non food-based biogas and bio propane used for heating or as motor fuel in Sweden*. 2020 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://ec.europa.eu/info/news/state-aid-commission-approves-prolongation-tax-exemption-non-food-based-biogas-and-bio-propane-used-heating-or-motor-fuel-sweden-2020-jun-29_en.
13. Jordbruksverket. *Gödselgasstöd*. i.d. [cited 2022 13 juni]; Available from: https://jordbruksverket.se/stod/fornybar-energi/godselgasstod.
14. Regeringen. *Stöd till produktion av biogas*. 2022 [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/03/stod-till-produktion-av-biogas/.
15. Phong Mai, T. and D. Quan Nguyen, *Gasification of Biomass.* Biotechnological Applications of Biomass, 2020.
16. Bioenergy, E., *Current status of advanced biofuels demonstrations in Europe*. 2020.
17. Crocker, M., *Thermochemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemicals.* Royal Society of Chemistry, 2010.
18. Jarvis, S.M. and S. Samsatli, *Technologies and infrastructures underpinning future CO2 value chains: A comprehensive review and comparative analysis.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. **85**: p. 46-68.
19. Jannasch, A.-K., *En kunskapssyntes om elektrobränslen från biologiska processer*. 2017, f3 Kunskapscenter för förnybara drivmedel.
20. Petersson, J., *Pyrolysoljeproduktion i BOBIC:s värdekedja - En inledande förstudie*. 2018.
21. von Schenck, A. and N. Berglin, *PYROS – Roadmap for realization of a value chain from forest to biofuels via bio-oil*. 2018.
22. Bridgwater, A.V., *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading.* Biomass and Bioenergy, 2012. **38**: p. 68-94.
23. Aldén, B., *Förädling av skogens biprodukter till pellets, torrefierat bränsle och pyrolysolja - Vad är mest lönsamt?* 2010.
24. Tomas Lönnqvist, J.H., Patrik Klintbom, Erik Furusjö, Kristina Holmgren *Drop-in the tank or a new tank? Comparison of costs and carbon footprint*. 2021, Renewable Transportation Fuels and Systems 2018-2021.
25. Shell, *IH² Technology: Renew. Refine. Refuel.* 2019.

26. *Pöyry awarded contract for Biozin plant in Norway*, in *Biomass magazine*. 2018.
27. *Biozin granted IH2 technology license*, in *Bioenergy International*. 2018.
28. Nordell, E. and J. Rönnberg, *Torrötning av avvattnat rötslam vid termofil temperatur*. 2015.
29. Náthia-Neves, G., et al., *Anaerobic digestion process: technological aspects and recent developments.* International Journal of Environmental Science and Technology 2018. **15**: p. 2033-2046.
30. Biogödsel.se. *Biogasprocessen*.
31. Sverige, E. *Produktion och distribution*. Available from: https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/produktion-och-distribution/.
32. Hoyer, K., et al., *Biogas upgrading - Technical review*. 2016.
33. Rafrafi, Y., L. Laguillaumie, and C. Dumas, *Biological Methanation of H2 and CO2 with Mixed Cultures: Current Advances, Hurdles and Challenges.* Waste and Biomass Valorization, 2020. **12**(10): p. 5259-5282.
34. Skogsindustrierna. *Här finns våra medlemmar*. i.d. [cited 2022 13 juni]; Available from: https://www.skogsindustrierna.se/om-oss/vara-medlemmar/karta/.
35. Börjesson, P., *Länsvis tillgång på skogsbiomassa för svensk biodrivmedels- och bioflygbränsleproduktion*. 2021, Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.
36. Petersson, H., *Biomassafunktioner för trädfaktorer av tall, gran och björk i Sverige*. 1999, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, Sveriges lantbruksuniversitet.
37. Skogsstyrelsen, *Skogliga konsekvensanalyser 2015 - SKA 15*. 2015.
38. Biometria, *Skogsindustrins virkesförbrukning samt produktion av skogsprodukter 2015-2019*. 2020.
39. Energimyndigheten. *Produktion, import och export av oförädlade trädbränslen*. 2019; Available from: https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/produktion-import-och-export-av-oforadlade-tradbranslen/?currentTab=2#mainheading.
40. Grahn, D., E. Persson, and T. Andersson, *Potentialstudie för biogas i Västra Götalandsregionen*. 2020, IVL Svenska Miljöinstitutet.
41. Avfall Sverige, *Kommunalt avfall i siffror - Kommun- och länsstatistik 2020*, T. Clark, Editor. 2020, Avfall Sverige.
42. Linné, M., et al., *Den svenska biogaspotentialen från inhemska råvaror*. 2008.
43. Hjort, A., *Kartläggning av gårdar och metanpotential*. 2011.
44. Benjaminsson, G., J. Benjaminsson, and N. Bengtsson, *Decentraliserad produktion av pyrolysolja för transport till storskaliga kraftvärmeverk och förgasningsanläggningar*. 2013.
45. Anheden, M., et al., *Value chains for production of Renewable Transportation Fuels Using*

*Intermediates*. 2016, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara transportbränslen.
46. Götaland, L.V., *Förstudie om matavfall och biogasproduktion - Västra Götaland*. 2022.
47. Poulikidou, S., et al., *IMPACTS ON FUEL PRODUCERS AND CUSTOMERS OF CONFLICTING RULES FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT*. 2022.
48. Energimyndigheten. *Anläggningsbesked*. 2022 [cited 2022 9 juni]; Available from: http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/anlaggningsbesked/.
49. Energimyndigheten. *Hållbarhetsbesked*. 2022 [cited 2022 9 juni]; Available from: https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/hallbarhetsbesked/.
50. Börjesson, P., et al., *METHANE AS VEHICLE FUEL – A WELL-TO-WHEEL ANALYSIS (METDRIV)* 2016.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se