Datum
2025-08-21

Projektnummer
P2022-00570

Slutrapport

Energimyndighetens titel på projektet – svenska

Effektiv syntesgasrötning av förgasad träråvara

Energimyndighetens titel på projektet – engelska

Efficient syngas fermentation of gasified woody biomass

Organisation

Baltic Energy Innovation Centre Ek. för.
Avd. för förnybar metan
Skarpskyttev. 10D, 226 42 Lund

Nyckelord

Biomassaförgasning, syngas, biologisk metanisering, ”solid-state”-reaktor, syntesgasrötning

Förord

Projektet har finansierats av Energimyndigheten, Cortus AB, NSR AB, Q Power Oy, St1 Biokraft AB (tidigare Biokraft International AB och Scandinavian Biogas Fuels AB) och Baltic Energy Innovation Center.

Projektet genomfördes av Cortus AB, Linköpings universitet, NSR AB, Q Power Oy, St1 Biokraft AB och Baltic Energy Innovation Center under perioden 2023-01-01 – 2025-06-30 med Jörgen Held, Baltic Energy Innovation Centre, som projektledare.

Ett stort antal personer har bidragit direkt eller indirekt till denna rapport. Författaren vill tacka hela projektgruppen för deras bidrag och värdefulla input. Ett särskilt tack riktas till Anna Karlsson, St1 Biokraft AB för synpunkter på texten, Ragnar Stare, St1 Biokraft för alla intressanta diskussioner, Q Power för att ha varit värd för trevliga och givande studiebesök och möten på Qvidja forskningsgård i Pargas, Marco Amovic, Cortus för att ha tillhandahållit tekniska detaljer om WoodRoll®-förgasaren, Anni Alitalo, Q Power för att ha tillhandahållit tekniska detaljer om det biologiska metaniseringssystemet, Marko Niskanen, Q Power för bidraget till känslighetsanalysen, Niclas Svensson för miljöanalyserna och Staffan Hellsén, Cortus för att ha varit värd för flera bra och givande möten på Cortus anläggning i Höganäs.

Lund, 21 augusti 2025

Jörgen Held

Innehållsförteckning

Sammanfattning 4

Summary 5

Inledning/bakgrund 6

WoodRoll® - förgasningsteknik 6

Q Power "solid-state" biologisk metaniseringsteknik 7

Metodik och avgränsningar 8

Projektmål och syfte 9

Genomförande 10

Test med modellgas 10

Experimentuppställning 10

Tester med enbart syntesgas..... 12

Tester med syntesgas plus tillsats av CO_2..... 13

Tester med syntesgas plus tillsats av H_2 14

Miljöanalyser..... 14

Tekno-ekonomisk analys 16

Affärsmodell 19

Resultat 21

Diskussion 22

Publikationslista 23

Referenser, källor 24

Bilagor 25

Sammanfattning

Projektet avser bidra till utveckling av effektiv biologisk metanisering av förgasad träråvara i en unik ”solid-state”-reaktor. Genom termisk förgasning av skogsrester/avfall, rivningsvirke, park- och trädgårdsavfall m.m. görs kol- och väteinnehållet i de lignocelluosarika materialen tillgängliga för mikrober och därmed biologisk omvandling till metan. På så sätt breddas råvarubasen för framställning av biometan. Potentialen för dessa material har skattats till 59 TWh/år. Syntesgasrötning möjliggör kostnadseffektiv produktion även i mindre skala, <20 MW, vilket medför flera fördelar:

- Lättare att säkra upp råvarutillförsel och enklare logistik
- Lättare att matcha överskottsvärme från förgasnings- och metaniseringsprocesserna med lokalt värme- och ångbehov
- Lägre ekonomisk risk

Projektet förväntas möjliggöra kommersialisering till 2030, fördubbla den svenska biogasproduktionen inom 15 år och bidra till ökad själv-försörjningsgrad.
Projektmålen är:

- Uppnå en volymetrisk verkningsgrad om 10 liter biometan per liter reaktorvolym och dag.
- Uppnå en elförbrukning lägre än 0,02 kWh per kWh biometan för den biologiska metaniseringen.
- Uppnå fullständig omvandling av kolmonoxid.
- Uppnå en nivå av kvarvarande vätgas i slutprodukten lägre än 2 %.

Tester med modellgas med en sammansättning motsvaranden den som produceras med WoodRoll®-förgasaren i Höganäs, visade att mikroberna anpassar sig snabbt och att CO och H_2O omvandlas till CO_2 och H_2 via biologisk vatten-gas-skift. En mobil biologisk metaniseringsanläggning med en total reaktorvolym på 750 liter installerades i anslutning till WoodRoll®-förgasaren i Höganäs för test med verklig syntesgas.
Tester med enbart syntesgas gav upphov till en instabil biologisk process medan tester med tillsats av koldioxid resulterade i att 10,5 L biometan per liter reaktorvolym och dag lämnade systemet. Tillsats av vätgas resulterade i CO- och H_2-halter under gasanalysatorns noggrannhet.

Miljöanalyserna visade på 87 - 90 % reduktion, beroende på LCA-metodik, jämfört med den fossila referensen enligt direktivet för förnybar energi (RED II).

En ny och ekonomiskt intressant affärsmodell baserad på samproduktion av biokol och biometan från lågkvalitativ träråvara har utvecklats inom ramen för projektet.

Bildandet av ett internationellt projektkonsortium pågår för att ta nästa steg i utvecklingen och kommersialiseringen av tekniken.

Summary

The project aims to contribute to the development of efficient biological methanation of gasified woody biomass in a unique "solid-state" reactor. Through thermal gasification of forest residues/waste, demolition wood, park and garden waste, etc., the carbon and hydrogen content in the lignocellulosic-rich materials is made available to microbes, thus enabling biological conversion to methane. In this way, the raw material base for the production of biomethane is broadened. The potential for these materials has been estimated at 59 TWh/year. Syngas fermentation enables cost-effective production also on a smaller scale, <20 MW, which brings several advantages:

• Easier to secure raw material supply and simpler logistics.
• Easier to match excess heat from the gasification and methanation processes with local heat and steam demand.
• Lower economic risk.

The project is expected to enable commercialization by 2030, double the Swedish biogas production within 15 years, and contribute to increased self-sufficiency. The project's goals are:

• Achieve a volumetric efficiency of 10 liters biomethane per liter of reactor volume and day.
• Achieve an electricity consumption lower than 0.02 kWh per kWh of biomethane for biological methanation.
• Achieve complete conversion of carbon monoxide.
• Achieve a level of remaining H_2 in the final product lower than 2%.

Tests with model gas with a composition corresponding to that produced by the WoodRoll® gasifier in Höganäs showed that the microbes adapt quickly and that CO and H_2O are converted to CO_2 and H_2 via biological water-gas shift. A mobile biological methanation plant with a total reactor volume of 750 liters was installed next to the WoodRoll® gasifier in Höganäs for testing with real synthesis gas. Tests with only synthesis gas resulted in an unstable biological process while tests with added carbon dioxide resulted in 10.5 L of methane per liter of reactor volume and day leaving the system. The addition of H_2 resulted in CO and H_2 levels below the gas analyzer's accuracy. The environmental analyses showed a 87 – 90% reduction, depending on LCA methodology, compared to the fossil reference according to the Renewable Energy Directive (RED II). A new and economically interesting business model based on the co-production of biochar and biomethane from low-quality woody feedstock was developed within the framework of the project.

The formation of an international project consortium is underway to take the next step in the development and commercialization of the technology.

Inledning/bakgrund

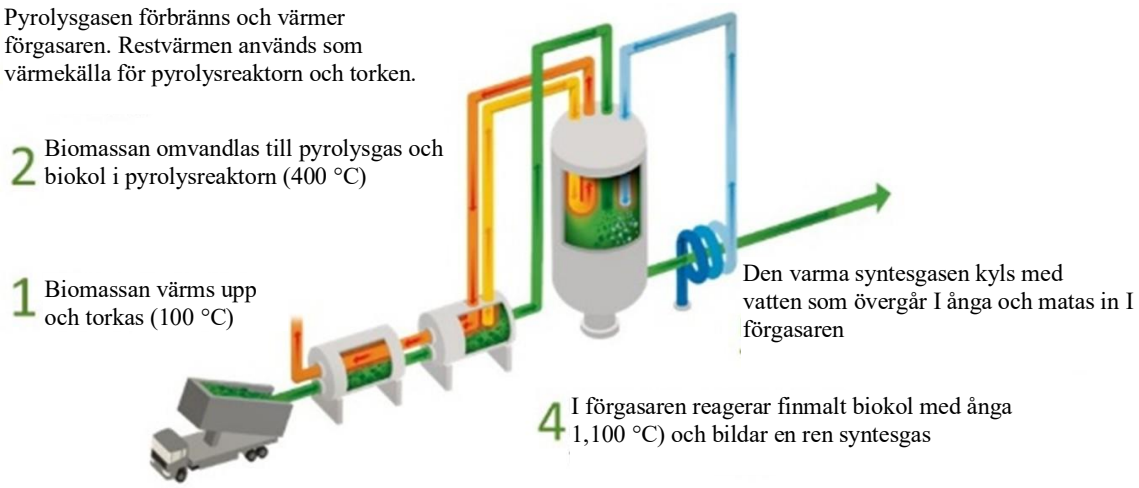
I det här projektet undersöktes effektiv biologisk metanisering av förgasad träråvara i en unik "solid state"-reaktor, utvecklad och patenterad av Q Power (FI) och matad med syntesgas från WoodRoll®-förgasaren i Höganäs. Genom termisk förgasning av skogsrester, rivningsvirke, park- och trädgårdsavfall etc. kan kol- och väteinnehållet i den lignocelluloarika råvaran göras tillgängligt för mikrober och därmed möjliggöra biologisk omvandling till metan. På så sätt breddas råvarubasen. Den svenska potentialen för dessa material har uppskattats till 59 TWh/år [Linné, M. et al., 2008]. Syntesgasrötning möjliggör kostnadseffektiv produktion även i mindre skala, <20 MW, vilket innebär flera fördelar [Held, J., Olofsson, J., 2018]:

- Det blir lättare att säkra tillgången på råmaterial och logistiken förenklas.
- Det blir lättare att matcha överskottsvärme från förgasnings- och metaniseringsprocesserna med lokalt värme- och ångbehov.
- Lägre finansiell risk.

WoodRoll® - förgasningsteknik

WoodRoll® fungerar som en trestegs förgasningsprocess [Ljunggren, R., Amovic, M., 2024]

1. Torkning: Våt biomassa torkas till mindre än 5 % fuktighet med hjälp av indirekt uppvärmning från rök- och avgaser.
2. Pyrolys: Torr biomassa genomgår pyrolys vid 400 °C, vilket ger fast kol och pyrolysgas. Pyrolysgasen fungerar som en viktig värmekälla för WoodRoll®-processen. Kolet finfördelas genom malning.
3. Ångförgasning: Kolpulver genomgår ångförgasning vid hög temperatur (1 100 °C), vilket resulterar i produktion av en vätgasrik syntesgas.



Figur 1. *WoodRoll® förgasningsprocess. Anpassad från [Ljunggren, R., Amovic, M., 2024].*

Q Power “solid-state” biologisk metaniseringsteknik

Q Power Oy är ett finskt företag som har utvecklat och patenterat en unik så kallad biologisk "solid-state" metaniseringsteknik som kan omvandla syntesgas till metan. Q Power har avslöjat att det inte handlar om en trickle-bed-reaktor (TBR) och inte heller mikrober som hålls flytande i en vätska, men inga ytterligare detaljer har avslöjats på grund av sekretess. Produktionsanläggningen och laboratoriet ligger på Qvidja forsknings- och utvecklingscenter i Pargas, Finland (se Figur 2). Tekniken är resultatet av nästan två decennier av forskning på kulturer av mikrober som samlats in från de omgivande myrområdena.

Figur 2. *Qvidja forsknings- och utvecklingscenter, Pargas, Finland. Källa: https://qpower.fi.*

Metodik och avgränsningar

Utredningen av biologisk "solid-state" metanisering med en blandkultur av mikrober genomfördes i två steg:

- Test av biologisk metanisering i Q Powers laboratorium med en modellgas som efterliknade sammansättningen av den syntesgas som produceras i WoodRoll®-förgasaren i Höganäs. Modellgasen innehöll H_2, CO, CO_2 och CH_4 från flaskor men inga föroreningar eller tjärkomponenter som normalt återfinns i syntesgas från biomassa.
- Tester med syntesgas producerad från WoodRoll®-förgasaren med hjälp av Q Powers mobila pilotanläggning för biologisk metanisering på plats i Höganäs. För att säkerställa ett stabilt syntesgasflöde installerades ett högtryckslager mellan förgasaren och det biologiska metaniseringssystemet.

Under pilotstudierna i Höganäs användes en industriklassad gasanalys-uppställning utrustad med en multipel gasanalysator, Rapidox 7100 Syngas Analyser, för mätning av gassammansättningen. Noggrannheten hos uppställningen var + 1% med en upplösning av 0,1%.
Om summan av de uppmätta vol-% av de olika gaskomponenterna i de uppmätta gasflödena (inmatning och utgående flöden från de tre reaktorerna i det biologiska metaniseringssystemet) avvek från 100%, normaliserades värdena, dvs. modifierades så att summan av de normaliserade värdena blev 100%. De miljöanalyser som genomfördes baserades på de allmänna riktlinjerna i ISO 14044 för livscykelanalys och metodiken beskriven i direktivet för förnybar energi (RED II). 1 MWh biometan valdes som funktionell enhet. Resultaten jämfördes med den fossila referensen enligt RED II.

Kapitalkostnader (CAPEX) i den tekno-ekonomiska analysen beräknades med hjälp av annuitetsmetoden med en intern ränta på 7% och en driftperiod på 20 år.

Den tekno-ekonomiska analysen för en kommersiell anläggning för syntesgasrötning beräknades med hjälp av den befintliga utformningen av WoodRoll®-förgasaren medan affärsmodellen baserades på en modifierad WoodRoll®-design som tillåter användning av lågkvalitativ råvara och samproduktion av biometan och biokol.

En växelkurs på 1 EUR = 10,9 SEK användes.

Projektmål och syfte

Projektmålen var:

- Uppnå en volymetrisk effektivitet om 10 liter biometan per liter reaktorvolym och dag.
- Påvisa en elförbrukning lägre än 0,02 kWh per kWh biometan för den biologiska metaniseringen.
- Uppnå fullständig omvandling av CO
- Uppnå en andel kvarvarande H_2 i slutprodukten lägre än 2%

Det sista projektmålet innebär att kvarvarande H_2 bör vara mindre än 1% efter den biologiska metaniseringen, eftersom den utgående gasströmmen normalt innehåller cirka 50 % CO_2, som kommer att tas bort innan man får den slutliga produkten, biometan. Gränsen på 2 % för biometan är ett krav för att uppfylla *Swedish Standard SS-EN 16723-2:2017 Natural gas and biomethane for use in transport and biomethane for injection in the natural gas network – Part 2: Automotive fuels specification*.

Projektets syfte var:

- Möjliggöra kommersialisering av syntesgasrötning till 2030 baserat på Cortus WoodRoll®-förgasare och Q Powers "solid-state" reaktor för biologisk metanisering.
- Fördubbla den svenska produktionen av förnybar metan inom 15 år och bidra till ökad självförsörjning.
- Utveckla affärsmodeller som, i tillägg till implementering i Sverige, bidrar till möjlig export av teknik och kunnande.

Genomförande

Test med modellgas

Testerna utfördes vid Q Powers laboratorium i Pargas, Finland med modellgas från gasflaskor. Gassammansättningen valdes så att den motsvarade riktig syntesgas från WoodRoll®-förgasaren i Höganäs.

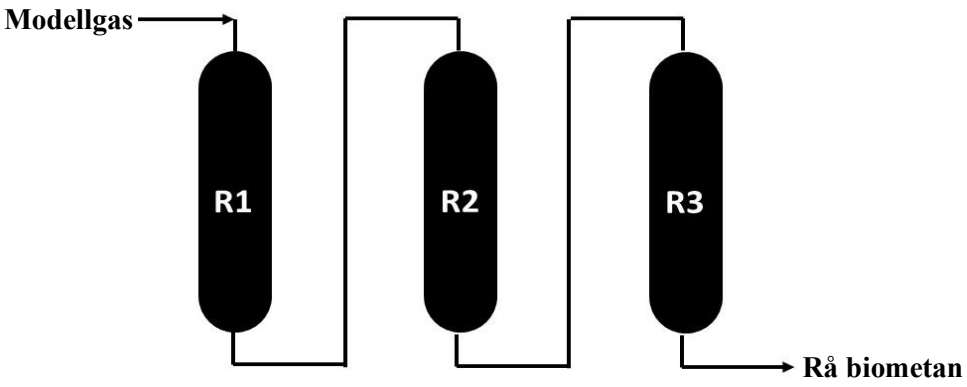
Tabell 1. *Typisk gassammansättning av syntesgas producerad i WoodRoll®-förgasaren.*

Syntesgaskomponent	[%-vol]
H_2	58
CO	30
CO_2	10
CH_4	2

Den höga CO-halten är utmanande då den har en hämmande effekt på de mikroorganismer som är involverade i flera anaeroba biologiska processer.

Experimentuppställning

Testerna med modellgas utfördes med ett ingående gasflöde på 10 liter/min och tre reaktorer på vardera 250 liter i serie (Figur 3).



Figur 3. *Schematisk bild av experimentuppställningen för biologisk metanisering med modellgas.*

Genom att ha reaktorerna i serie kunde gasens sammansättning och annan relevant data mätas efter varje reaktor. En blandkultur av mikrober, hämtad från våtmarkerna kring Q Powers produktionsplats och laboratorium, användes i reaktorerna. På grund av problem med inmatningen var det bara möjligt att använda laboratorieuppställningen i en vecka. Gassammansättningen efter varje reaktor visas i Tabell 2. Värdena har normaliserats för att ta hänsyn till mätonoggrannhet.

Tabell 2. *Gassammansättning i ingående flöde (modellgas) och efter varje reaktor uttryckt som vol-%.*

	Ingående gasflöde uppmätt	Ingående gasflöde normaliserat	R1 normaliserat	R2 normaliserat	R3 normaliserat
H_2	60.7	56.0	44.4	11.1	3.6
CO	33.1	30.5	20.7	7.8	0.0
CO_2	11.9	11.0	19.9	29.7	35.7
CH_4	2.7	2.5	15.1	51.4	60.7
SUMMA [%]	108.4	100.0			

Det verkade som att CH_4-halten efter den sista reaktorn, R3, var för hög (och CO_2-halten för låg), eftersom den teoretiska maximala CH_4-halten, beräknad med ekvation 1 och 2, vid fullständig omvandling av det ingående gasflödet är 54,8 %. Även om det fanns frågetecken kring mätningens noggrannhet, var det uppenbart att biologisk vatten-gas-skift (ekvation 1), där CO och H_2O omvandlas till CO_2 och H_2, ägde rum under laboratorietestningen.

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \qquad \textbf{Ekv.1}$$

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 4H_2O \qquad \textbf{Ekv.2}$$

Det var också tydligt att mikroberna anpassar sig ganska snabbt till gasströmmar som innehåller CO. Faktum är att ingen CO uppmättes i utgående gasflöde efter den sista reaktorn, R3. Trots problemen med inmatningen och osäkerheterna kring mätningarnas noggrannhet gav testet lovande resultat gällande den biologiska vatten-gas-skiftreaktionen och möjligheten till fullständig CO-omvandling.

Tester med riktig syntesgas

Q Powers mobila biologiska metaniseringsanläggning anlände till Höganäs i slutet av januari 2024 och testerna med syntesgasrötning genomfördes under perioden 22 juli till 13 augusti 2024. Pilotanläggningen består av tre 250-liters reaktorer i serie.

Figur 4. *Vänster: WoodRoll®-anläggningen i Höganäs. Källa: Cortus. Höger: Den biologiska metaniseringsanläggningen lyfts på plats. Foto: Jörgen Held*

Tester med enbart syntesgas

Testkampanjen inleddes med att endast syntesgas matades in i de biologiska metaniseringsreaktorerna. Testet började med ett lågt ingående flöde av syntesgas som sedan successivt ökades. Tester med tre olika ingående gasflöden registrerades. Efter 48 timmar tillsattes ytterligare koldioxid för att stabilisera processen. Syntesgassammansättningen visas i Tabell 3.

Tabell 3. *Syntesgassammansättning, vol-%.*

	H_2	CO	CO_2	CH_4	SUMMA
Uppmätt	53.40	30.30	9.12	1.92	94,74
Normaliserad	56,36	31.98	9,62	2,03	100,0

Testerna med de tre olika ingående flödena av syntesgas resulterade i instabil drift av den biologiska processen och höga nivåer av icke-konverterad CO i den utgående gasen efter den sista reaktorn.

Samspelet mellan blandkulturens olika mikroorganismer och syntesgasen är mycket komplext, men det verkar som att CO_2 snabbt omvandlades till CH_4 med samtidig H_2-konsumtion, vilket ökade partialtrycket av CO på grund av den starka volymkontraktionen under metaniseringen. När CO_2 var omvandlad verkar det som att den återstående H_2 föredrog att reagera med bikarbonatet i inokulumet vilket ledde till en pH-ökning, vilket i sin tur hämmade aktiviteten hos de CO-konsumerande mikroorganismerna. Tillsats av CO_2 har potential att motverka pH-ökningen.

Tester med syntesgas plus tillsats av CO_2

Under dessa tester tillfördes ytterligare koldioxid tillsammans med syntesgasen, så att CO_2/CO-förhållandet i det ingående gasflödet blev cirka 1:1. Det ingående flödet av syntesgas och CO_2 ökades sedan stegvis.

Tabell 4. *Gassammansättning av syntesgas + CO_2, vol-%,*

H_2	CO	CO_2	CH_4
47.11	26.99	24.20	1.70

Totalt genomfördes 10 tester med ett avslutande test om 23,1 L/min syntesgas och 4,5 L/min CO_2.

Tabell 5. *Uppmätt och normaliserad utgående gassammansättning för fallet med 23,1 L/min syntesgas och 4,5 L/min CO_2, vol-%.*

	H_2	CO	CO_2	CH_4	SUMMA
Uppmätt	3.74	0.76	57.30	38.99	100.79
Normaliserad	3.71	0.75	56.85	38.68	100.00

CH_4-halten verkade vara något för hög (och CO_2-halten för låg) eftersom den var något högre än det teoretiska maximala värdet på 36,25 vol-% vid fullständig omvandling. Genom att anta att CO- och H_2-halterna var korrekta, var det möjligt att baklänges beräkna vad CH_4- och CO_2-halterna borde vara med hjälp av de kemiska reaktionerna för vatten-gas-skift och CO_2-metaniseringen. Resultatet visas i Tabell 6.

Tabell 6. *Omräknade värden för CH_4- och CO_2-halterna, vol-%.*

H_2	CO	CO_2	CH_4
3.71	0.75	59.83	35.71

Med det lägre, omräknade värdet för CH_4-halten lämnade 10,5 normalliter CH_4 per liter reaktorvolym och dag den biologiska metaniserings-anläggningen. Därmed uppfylldes projektets mål om 10 normalliter CH_4 per liter reaktorvolym och dag. Projektmålen om fullständig omvandling av CO och mindre än 2 % kvarvarande H_2 i slutprodukten uppfylldes dock inte.

Tester med syntesgas plus tillsats av H_2

Även om det inte ingick i projektansökan genomfördes sex tester med tillsats av vätgas från flaskor. Innan testerna påbörjades matades de biologiska metaneringsreaktorerna initialt med syntesgas innan vätgasen tillsattes. Sex olika nivåer av vätgastillsats registrerades. Under hela denna period hölls ingående syntesgasflöde till processen konstant om 10 L/min. Den lägsta kolmonoxid- och vätgashalten i den utgående gasen uppmättes till 0,06 vol-% respektive 0,20 vol-%, som ett medelvärde under de sista 80 minuterna av testet, med ett ingående syntesgasflöde på 10 L/min plus 6 L/min tillsatt vätgas. Därmed uppfylldes projektmålet om mindre än 2 % kvarvarande H_2 i slutprodukten med råge. Kolmonoxidhalten låg långt under gasanalysatorns noggrannhet och om man överväger möjligheten att separera återstående CO (och H_2) från den utgående gasströmmen med hjälp av membran och återföra den till den det ingående gasflödet, kommer slutprodukten inte att innehålla någon CO.

Miljöanalyser

Två miljöanalyser genomfördes. En baserad på de allmänna riktlinjerna i ISO 14044 för livscykelanalys och en baserad på metoden beskriven i direktivet om förnybar energi (REDII), med 1 MWh biometan som funktionell enhet. Resultaten jämfördes med den fossila referensen enligt REDII. Analyserna gjordes för den befintliga 6 MW_{syngas} WoodRoll®-anläggningen i Höganäs i kombination med flera uppskalade biologiska ”solid-state” metaniseringsreaktorer, gaskonditionering och membran-uppgradering med återföring av kvarvarande CO och H_2 för produktion av biometan vid 10 bar som uppfyller kraven för nätinjektion eller användning som fordonsbränsle enligt standarden SS-EN 16723-2:2017. Det genomsnittliga transportavståndet för träflis sattes till 300 km och utsläppsfaktorn för elen sattes enligt den svenska residualmixen med hänsyn till utsläpp från den svenska kraftproduktionen minus utfärdade energicertifikat.

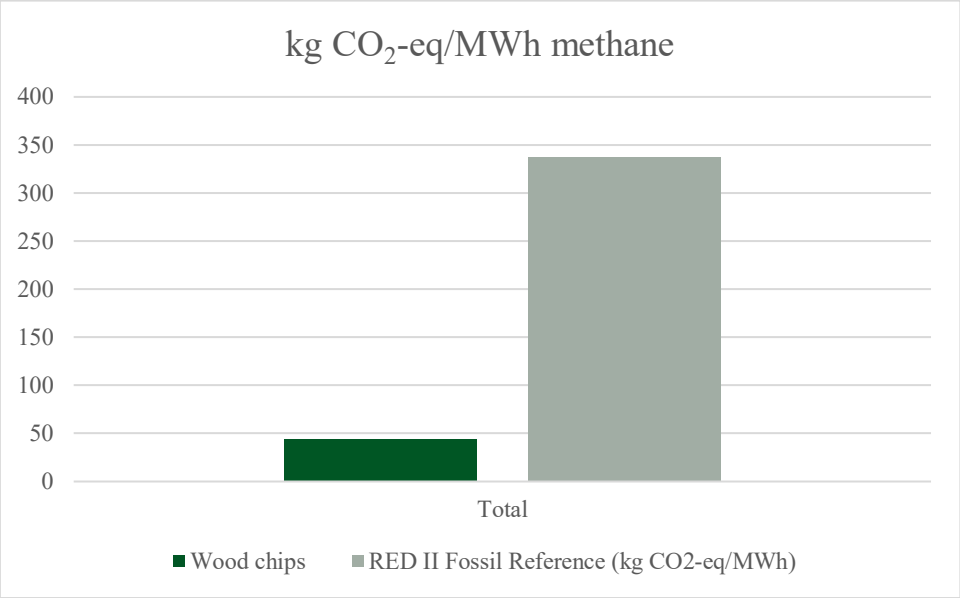
Tabell 7. *Emissioner, uttryckta som kg CO_2-ekv./MWh biometan, beräknade enligt de allmänna riktlinjerna i ISO 14044 för livscykelanalys.*

	[kg CO_2-ekv./MWh CH_4]
Skörd	19,93
Transport av träflis (300 km)	13,74
WoodRoll®, konstruktion material (stål, infodring, glasfiber, betong etc.)	0,84
WoodRoll®, drift (el, vatten, kvävgas och naturgas)	8,87

Biologisk metanisering, gasrening och uppgradering, konstruktionsmaterial	0,03
Biologisk metanisering gasrening och uppgradering, drift (el, näring, metanutsläpp)	1,23
TOTAL	**44,64**

I miljöanalysen enligt metoden beskriven i direktivet om förnybar energi fördelas utsläppen på samtliga slutprodukter. Då syntesgasrötningen även producerar ca 2 MW värme vid 60 °C som förväntas kunna användas ca 4 000 timmar/år (under uppvärmningssäsongen) blir utsläppen för det producerade biometanet något lägre, 34,6 kg CO_2-ekv./MWh CH_4.

Miljöanalyserna visade att utsläpp i samband med skörd och transport av träflis utgjorde huvuddelen av utsläppen från hela processkedjan (från råvara till biometan). Det producerade biometanet bidrar till en minskning på mellan 87 och 90 %, beroende på vilken LCA-metodik som används, jämfört med den fossila referensen enligt RED II, 44.6 respektive 34.6 CO_2-ekv./MWh jämfört med 338 kg CO_2-ekv./MWh. Notabelt är de låga utsläppen associerade med konstruktionen av förgasningsanläggningen och det biologiska metaniseringssystemet.



Figur 5. *Totala utsläpp, uttryckta som kg CO_2-ekv./MWh metan, för producerad biometan med träflis som råvara (grön stapel) jämfört med den fossila referensen enligt REDII (blågrå stapel).*

Tekno-ekonomisk analys

Den tekno-ekonomiska analysen baserades på den befintliga designen av WoodRoll®-anläggningen och flera uppskalade biologiska ”solid-state” metaniseringsreaktorer med en kapacitet motsvarande ett syntesgasflöde på 6 MW. Analysen inkluderade kompression, gasrening, uppgradering och återföring av kvarvarande CO och H_2. Analysen tog hänsyn till biometan levererad vid 10 barg och uppfyllande av den svenska standarden för nätinjektion och användning som fordonsbränsle. Produktionskostnaden uttryckt som SEK/Nm^3 för biometan med en metanhalt på 97 % beräknades, med hänsyn till kapitalkostnader (CAPEX) inklusive uppstartskostnader, driftkostnader (OPEX), råvarukostnader och intäkter från försäljning av värme och biokol. Beräkningarna gjordes med och utan investeringsstöd från Klimatklivet, ett stöd som koordineras av Naturvårdsverket och syftar till att minska de svenska utsläppen av växthusgaser.

Investeringskostnad

Den årliga investeringskostnaden beräknades med hjälp av annuitets-metoden. Med en internränta *i* på 7 % och en ekonomisk livslängd *n* på 20 år blev annuitetsfaktorn (AF) 11,23 %, ekvation 3.

$$AF = \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \qquad \textbf{Ekv.3}$$

Investeringskostnaden beräknades som en ekvivalent årskostnad (EAC), ekvation 4.

$$EAC = AF * (Investeringskostnad - stöd) \qquad \textbf{Ekv.4}$$

En uppstartskostnad på 5 % av den totala investeringen inkluderades i beräkningen av CAPEX.

Driftkostnader

Driftskostnaderna inkluderade kostnader för personal, underhåll, el, vatten och näringsämnen. Elkostnaden sattes till 500 SEK/MWh (ca 45,9 EUR/MWh).

Råvarukostnad

Kostnaden för flis sattes till 300 kr/MWh, vilket är något högre än den kostnad som anges av Wood-chips FOB Baltic index[i] på cirka 25 EUR/MWh för perioden mars – maj 2025 och något lägre än den beräknade kostnaden på 330 SEK/MWh för avtalad flisleverans i Sverige för uppvärmningssäsongen 2025/2026 [Energimyndigheten 2025].

Intäkter
Det uppskattades att 2 MW värme vid 60 °C kunde säljas under 4 000 timmar per år till 30 EUR/MWh och att den kolhaltiga askan kunde säljas till metallurgisk industri för 9 500 SEK/ton, cirka 865 EUR/ton.

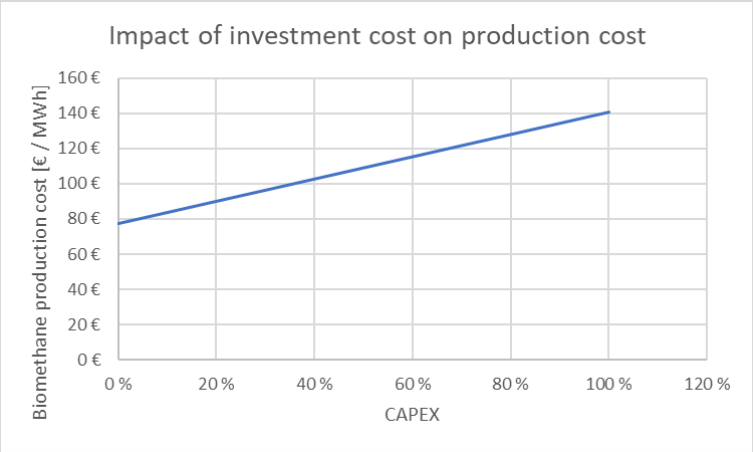
Produktionskostnad
Produktionskostnaden beräknades för 8 000 driftstimmar per år. Det uppskattades att en del av det producerade biometanet skulle kunna användas för att driva 50 kW-facklan under kontinuerlig drift. Vid uppstart antogs att naturgas eller lagrad biometan från tidigare drift skulle kunna användas.

Tabell 8. *Produktionskostnad för biometan utan och med investeringsstöd.*

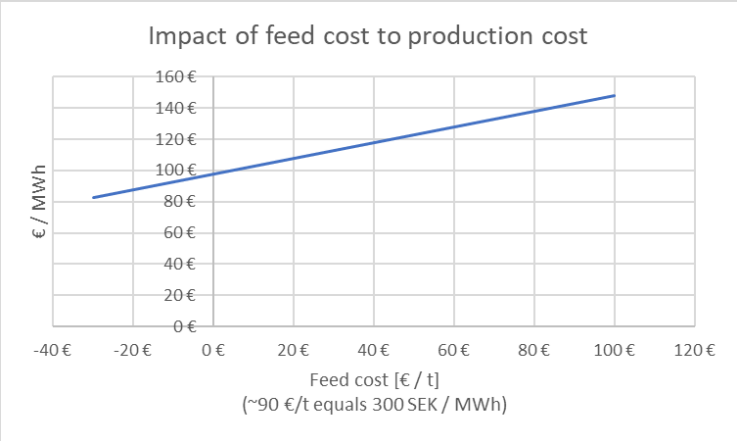
	Utan investeringsstöd	Med investeringsstöd
Investeringskostnad [MEUR]	29,60	29,60
Uppstartskostnad 5% av investeringskostnadent [MEUR]	1,48	1,48
Investeringsstöd, 45% [MEUR]	0,0	13,986
EAC [MEUR]	3,49	1,92
OPEX/år [MEUR]	1,76	1,76
Träfliskostnad/år [MEUR]	1,64	1,64
Intäkter/år värme och aska [MEUR]	0,59	0,59
Biometanproduktion/år - fackling [MWh]	38 032	38 032
Produktionskostnad EUR/MWh biometan (100% CH_4)	166	125
Produktionskostnad EUR/Nm^3 biometan (97% CH_4)	1,61	1,21
Produktionskostnad SEK/Nm^3 biometan (97% CH_4)	17,5	13,2

Analysen visade att produktionskostnaden var för hög för att göra produktionen lönsam, oavsett om investeringsstöd enligt Klimatklivet erhålls eller inte, 13,2 respektive 17,5 SEK/Nm^3 biometan.

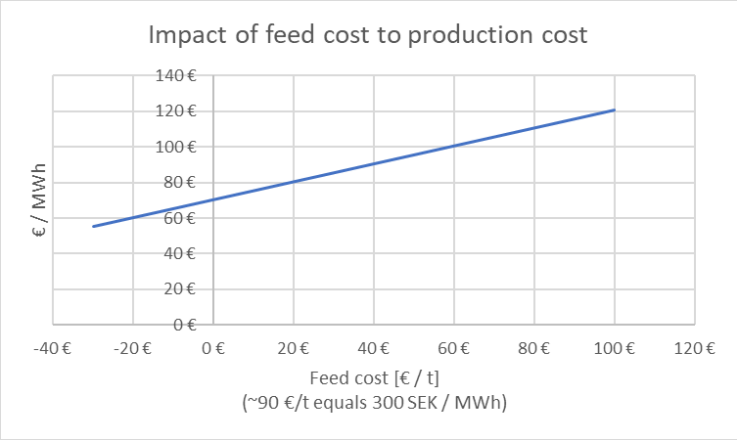
Känslighetsanalys
Q Power gjorde känslighetsanalysen för produktionskostnaden, uttryckt som EUR/MWh biometan, genom att variera investeringskostnaden och råvarukostnaden.



Figur 6. *Produktionskostnaden för biometan som funktion av CAPEX.*



Figur 7. *Produktionskostnad för biometan som funktion av råvarukostnad uttryckt i EUR/ton för fallet utan investeringsstöd.*



Figur 8. *Produktionskostnad för biometan som funktion av träfliskostnad för fallet med 45 % investeringsstöd.*

Q Power använde en något lägre internränta, 5 % i stället för 7 %, vilket är anledningen till en liten avvikelse jämfört med tidigare nämnd produktionskostnad. Det är värt att notera att även om investeringskostnaden sätts till noll ligger produktionskostnaden i intervallet 80 EUR/MWh biometan (se Figur 6). För fallet med 45 % investeringsstöd (se Figur 8) måste kostnaden för träråvaran vara 20 EUR/ton eller lägre för att vara ekonomiskt intressant. 20 EUR/ton motsvarar cirka 6 EUR/MWh eller 70 SEK/MWh.

Affärsmodell

Den teknoekonomiska analysen visade att produktionskostnaden för biometan genom biologisk metanisering var för hög baserat på den befintliga designen av WoodRoll®-anläggningen. Om man däremot väljer billigare råvara och samproduktion av biokol och biometan minskade produktionskostnaden avsevärt trots de ökade investeringskostnaderna i form av en sorteringsanläggning som tar bort metall, stenar och jord från lågkvalitativ råvara (park- och trädgårdsavfall, återvunnet trä och rivningsvirke), ombyggnad av tork- och pyrolysreaktorerna och ångsystemet, ökade personal- och underhållskostnader samt färre årliga driftstimmar.

För att producera ytterligare 200 kg/h biokol krävdes ytterligare 1 100 kg/h råvara. De årliga driftstimmarna minskades från 8 000 till 7 800 för att ta hänsyn till eventuella stillestånd på grund av problem med sorteringsanläggningen. Kostnaden för lågkvalitativ träflis uppskattades till 200 SEK/MWh (cirka 18,34 EUR/MWh). Personalkostnaden ökades med 12,5 % och underhållskostnaden med 20 % på grund av den ökade komplexiteten med en sorteringsanläggning och användningen av lågkvalitativ råvara. Det antogs att biokol kunde säljas som jordförbättringsmedel till ett pris av 1 500 EUR/ton inklusive koldioxidkrediter.

Tabell 9. *Produktionskostnad för biometan utan och med investeringsstöd för fallet med samproduktion av biokol och biometan.*

	Utan investeringsstöd	Med investeringsstöd
Investeringskostnad [MEUR]	30,83	30,83
Uppstartskostnad 5% av investeringskostnaden [MEUR]	1,54	1,54
Investeringsstöd, 45% [MEUR]	0,0	14,57
EAC [MEUR]	3,64	2,00
OPEX/år [MEUR]	1,93	1,93
Träfliskostnad/år [MEUR]	1,57	1,57

Intäkter/år värme och biokol + aska [MEUR]	1,93	1,93
Biometanproduktion/år - fackling [MWh]	37 082	37 082
Produktionskostnad EUR/MWh biometan (100% CH_4)	106.6	62,8
Produktionskostnad EUR/Nm^3 biomean (97% CH_4)	1.03	0,61
Produktionskostnad SEK/Nm^3 biometan (97% CH_4)	11.3	6,7

Resultat

Omvandling av syntesgas genom förgasning av träråvara till biometan har demonstrerats med hjälp av biologisk ”solid-state” metanisering. Laboratorietestet med modellgas visade att blandkulturen av mikro-organismer kunde omvandla CO och H_2O till CO_2 och H_2 genom biologisk vatten-gas-skift. Testerna med verklig syntesgas visade att inmatning av endast syntesgas resulterade i en instabil biologisk process. Detta kringgicks genom att tillsätta ytterligare CO_2 till det ingående gasflödet. Under testerna med syntesgas med tillsats av CO_2 uppnåddes projektets mål om 10 normalliter metan per liter reaktorvolym och dag. Detta kan betraktas som ett utmärkt resultat för syntesgasrötning eftersom syntesgasrötning är en mer komplex process jämfört med CO_2-metanisering. Som jämförelse hade ett annat projekt, medfinansierat av Energimyndigheten, som mål att nå 1 normalliter metan per liter reaktorvolym och dag [Energimyndigheten 2021].

Under tester med syntesgas plus tillsats av H_2 uppnåddes projektets mål på mindre än 2 % resterande H_2 i slutprodukten, biometan. Halten av resterande CO var under gasanalysatorns noggrannhet, vilket indikerar hög CO-omvandlingseffektivitet. Dessutom, under gaskonditionering i en kommersiell anläggning, kommer resterande CO och H_2 att avskiljas och återföras till det ingående gasflödet. På detta sätt lämnar ingen CO anläggningen och därmed kan projektmålet om fullständig CO-omvandling anses vara uppfyllt. Tillsats av antingen CO_2 eller H_2 resulterade i en mer stabil biologisk process. Detta kan tillskrivas det lägre partialtrycket av CO när syntesgasen späddes med CO_2 eller H_2. När det gäller CO_2-tillsats verkade det som att påverkan på pH-nivån var gynnsam för den biologiska processen. Samspelet mellan olika mikroorganismer i blandkulturen och syntesgasen är dock mycket komplext och ytterligare forskning för att fullt ut förstå processen behövs. Elförbrukningen för den biologiska metaniseringen, delvis baserad på testerna med den mobila pilotanläggningen i Höganäs, delvis på Q Powers 3,3 MW biologiska "solid-state" CO_2-metaniseringsanläggning i Harjavalta [Alitalo, A. 2025], uppgick till 0,012 kWh/kWh biometan, vilket är långt under projektets mål om 0,02 kWh/kWh biometan.

Miljöanalyserna visade utsläppsminskningar på 87 - 90 %, beroende på LCA-metodik, jämfört med den fossila referensen enligt RED II.

Sammanfattningsvis har projektet uppnått de uppsatta målen, men fortsatt utveckling, uppskalning och långsiktiga tester krävs innan tekniken kan bli kommersiell. Tyvärr gick Cortus i konkurs under våren 2025 och företagets och WoodRoll®-teknikens framtida öde är därför osäkert.

Diskussion

Användningen av en industriell multigasanalysator medförde i sig en viss osäkerhet i resultaten, särskilt relaterat till mätnoggrannheten. T.ex. översteg metanhalten i flera tester det teoretiska maximala värdet baserat på de kemiska reaktioner som är involverade i den biologiska metaniseringen av syntesgasen. Flera andra faktorer, förutom noggrannhetsproblem, kan förklara denna avvikelse. För det första är det bra att komma ihåg gasernas vattenlöslighet. En del av den genererade CO_2 kan lösas upp i reaktorns vattenfas beroende på processförhållandena. Denna upplösning kan sänka den uppmätta CO_2-koncentrationen i utgående gasflöde och därmed även påverka uppmätta koncentrationer av andra gaser.
Biologisk CO_2-metanisering – där mikroorganismer omvandlar CO_2 och H_2 till CH_4 – kan ibland producera metan som överstiger teoretiska förutsägelser. Detta beror på komplexa mikrobiella interaktioner och miljöförhållanden som kan öka metanbildningen. Liknande fenomen förväntas under syntesgasrötning. Viss metan kan produceras från själva den mikrobiella biomassan. Mekanismer som nedbrytning av biomassa, syntrofiska mikrobiella interaktioner och recirkulering av biomassahaltig vätska kan alla bidra till metanbildning utöver vad som kan förväntas från enbart det ingående gasflödet. Det är viktigt att notera att en pilotuppsättning bättre återspeglar verkliga driftsförhållanden jämfört med experiment i laboratorieskala och att data i pilotskala ger mer praktiska insikter i hur processen skulle fungera under faktiska industriella förhållanden. Eftersom de uppmätta resultaten var förknippade med vissa osäkerheter och testerna utfördes under en ganska kort tidsperiod, bör resultaten betraktas som kvalitativa och som ett första steg mot kommersialisering. Framtida utveckling skulle gynnas av långsiktiga tester, uppskalning och analyser med gaskromatografer som har högre mätnoggrannhet.

Det finns olika kvaliteter av biokol. Biokolet producerat med WoodRoll®-förgasaren var EBC-certifierat med en faktor om 2,9. Det vill säga varje ton biokol gav upphov till en kolsänka motsvarande 2,9 ton koldioxid.

För närvarande byggs ett internationellt projektkonsortium upp för att vidareutveckla och på sikt kommersialisera tekniken.

Publikationslista

Held, J. SynFerm – Efficient Syngas Fermentation of Gasified Woody Biomass. Renewtec Report 012:2025. ISSN 2001-6255. Renewable Energy Technology International AB, 2025
https://synferm.beic.nu/Resources/Renewtec_report_012.2025.pdf

Held, J. *SynFerm – Lab scale testing of syngas fermentation using model gas.* Poster presenterad på 10th International Conference on Renewable Energy Gas Technology, REGATEC 2024, 15-16 maj 2024 i Lund.
Poster_SynFerm_REGATEC_2024.jpg (2646×3780)

Held, J. *SynFerm – Lab scale testing of syngas fermentation using model gas.* Abstrakt i Conference Proceedings of 10th International Conference on Renewable Energy Gas Technology, REGATEC 2024, 15-16 maj 2024 i Lund.
https://regatec.org/home/conference-proceedings/

Held, J. *SynFerm – Efficient fermentation of gasified woody biomass.* Poster presenterad på 9th International Conference on Renewable Energy Gas Technology, REGATEC 2023, 15-16 maj 2023 i Berlin.
Poster_SynFerm_REGATEC.jpg (2646×3780)

Held, J. *SynFerm – Efficient fermentation of gasified woody biomass.* Abstrakt i Conference Proceedings of 9th International Conference on Renewable Energy Gas Technology, REGATEC 2023, 15-16 maj 2023 i Berlin.
23-24_Jörgen_Held.pdf

Referenser, källor

Alitalo, A. Finland's first synthetic methane plant in Harjavalta. In Conference Proceedings 11th International Conference on Renewable Energy Gas Technology. ISBN 978-91-981149-6-6.
Linné, M. et al. Den svenska biogaspotentialen från inhemska råvaror. Rapport 2008:02. ISSN 1103-4092, Avfall Sverige, 2008.
Held, J., Olofsson, J. LignoSys – System study of small scale thermochemical conversion of lignocellulosic feedstock to biomethane. ISSN 2001-6255 Renewtec Report 008:2018, Renewable Energy Technology International AB, 2018.
Ljunggren, R., Amovic, M., Proven Bio-Energy Solutions by Modular WoodRoll® Technology. In Conference Proceedings 10th International Conference on Renewable Energy Gas Technology. ISBN 978-91-981149-9-7.
International Biomass Exchange | BALTPOOL, senast besökt 09.06.2025
Läget på energimarknaderna – Biodrivmedel, biogas och fasta biobränslen 3 juni 2025, Energimyndigheten, 2025
Slutrapport projekt P45261-1 Biologisk metanisering av syngas från förgasning av lignocellulosa. Energimyndigheten, 2021.

Bilagor