

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Genomförbarhetsstudie: Kraftvärmeintegrerad flygbränsleproduktion	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Feasibility study: Co-generation of bio-jet in combined heat and power plant	
Universitet/högskola/företag BioShare AB	Avdelning/institution
Adress Steffens väg 431, 655 92 Karlstad	
Namn på projektledare Christer Gustavsson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Anton Larsson (BioShare) Gabriel Gustafsson (BioShare) Jesper Aronsson (BioShare) Per Tunå (LTH) Christian Hulteberg (Hulteberg Chemistry & Engineering) Emil Gammelgaard (Hulteberg Chemistry & Engineering)	
Nyckelord: 5-7 st Flygbränsle BioJet Kraftvärme Fischer-Tropsch	

Förord

Projektet har finansierats av Energimyndigheten och Energiforsk. Deltagande parter i projektet har delfinansierat studien i form av eget arbete. För Energiforsk har en referensgrupp bestående av Jan Brandin (Linnéuniversitetet) samt Raza Naqvi (Karlstads Universitet) följt projektet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	2
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	4
Resultat	6
Diskussion.....	11
Publikationslista.....	12
Referenser, källor.....	12
Bilagor	13

Sammanfattning

I studien har analyserats hur en panna vid Karlstads Energis Hedenverken kan konverteras för att samproducera 30 MW Fischer-Tropsch-vax (FT-vax) utöver el och värme. Investeringskostnaden estimeras till 980 miljoner kronor. Produktionskostnaden estimeras till ca 1320 kr/MWh, inklusive kapitalkostnader och produkten ger växthusgasutsläpp på endast 7-13 g_{CO₂,eq}/MJ FT-vax enligt livscykelanalys. Studien visar även att det finns stor potential för att nyttja el för i denna typ av process för att öka nyttjandet av biomassen och minska utsläppen av CO₂ ytterligare. Produktionen av FT-vax kan ske med en kemisk marginalverkningsgrad från biomassa och el på 59%. Samproduktionen uppvisar samtidigt en anläggningsverkningsgrad, inkl. el och värme, på 81–90 %.

Kombinationen av hög verkningsgrad och i sammanhanget moderata investeringskostnader gör att samproduktion av biodrivmedel i kraftvärmeanläggningar kan bli ett attraktivt alternativ för anläggningsägare i fjärrvärme och tillverkande industri. Konceptet kan öka anläggningsutnyttjandet och tack vare den måttliga skalan underlättas både marknadsintroduktion och råvaruförsörjning för FT baserad produktion.

Det tekniska konceptet baseras på att koppla en förgasare med efterföljande gasrening och FT process på en befintlig biomassa eldad panna. På detta sätt kan pannans utnyttjandegrad ökas samtidigt som investerings- och driftkostnader för produktion av FT-vax kan minskas. FT processen genererar en mycket stabil intermediär utan oönskade spårämnen som mycket effektivt kan uppgraderas till produkter som tex flygbränsle och diesel.

Summary

In this feasibility study a retrofit of a CFB boiler at Karlstads Energi's site Hedenverken, aiming for co-production of 30 MW of FT-crude with heat and power has been examined. The investment cost is estimated to about 980 million SEK. The production cost is estimated to 1320kr/MWh including capital costs and the greenhouse gas emissions is merely 7-13 g_{CO₂,eq}/MJ FT-vax. This study also shows that there is a great potential for utilization of electricity to improve the utilization of biomass and further reduce the CO₂ emissions. The FT-crude can be produced with a marginal efficiency based on biomass and electricity of 59%. The plant efficiency including FT co-production is in the range of 81–90 %.

The combination of high efficiency and, for the application, modest investment costs makes co-production of biofuel in CHP plants an attractive alternative for the heat and power industry. Further, the concept can increase the utilization of existing boilers while the production scale helps facilitate market introduction and feedstock supply for FT-based production.

The technical concept is based on retrofitting of existing boiler with a gasifier and downstream gas conditioning followed by FT-synthesis. This enables a higher utilization of the boiler while the investment cost for the production FT-crude is decreased. The produced FT-crude is a highly stable intermediate with very low

traces of impurities and a composition which allows for an energy and cost-efficient upgrade to products such as jet fuel and diesel.

Inledning/Bakgrund

Beskriv bakgrund och skäl till varför projektet har genomförts. Vad är utmaningen/problemet? Orientering inom området; problembakgrund. Vad behöver göras (i energisystemet). Vilka behov i samhället eller på marknaden ska projektet hjälpa till att tillgodose och vilken nytta förväntas projektet bidra med. Lite om kunskapsläget. Hur angrips frågan i detta projekt, vad är syftet, finns det några hypoteser, osv. Huvudman, finansiering, tid som projektet pågått etc.

Flygsektorn saknar i dagsläget såväl tvingande krav som statliga incitament avseende utsläppsminskningar eller inblandning av förnybara bränslen. Dock finns nu ett förslag på ett reduktionspliktsförslag för inrikesflyget samtidigt som det växer fram ett segment av flygresenärer med relativt hög betalningsvilja på frivillig basis. Tillsammans gör denna utveckling att det växer fram reella förutsättningar att etablera förnybar inhemsk flygbränsleproduktion. Volymerna av biobränsle som efterfrågas är dock i dagsläget förhållandevis små och det är i nuläget svårt att på företagsekonomiska grunder motivera en svensk storskalig produktion av bioflygbränsle för inhemskt bruk. För introduktion av förnybart flygbränsle skulle det därför vara önskvärt att uppföra decentraliserade anläggningar med lägre kapacitet.

Det genomförda projektet har analyserat möjligheterna att etablera produktion av en lämplig intermediär för bioflygbränsleframställning på ett resurs- och kostnadseffektivt sätt genom att integrera en 30 MW anläggning för förgasningsbaserad Fischer Tropsch (FT) produktion med kraftvärmeanläggningen Hedenverket i Karlstad.

Projektet har genomförts med följande mål:

Mål 1 (M1)

Utveckling av detaljerade tekniska lösningar för samtliga processteg, inkluderande bl.a. förgasning, gasrening, gaskonditionering och FT-syntes och baserat på detta ta fram underlag som möjliggör en kvalificerad analys av projektets genomförbarhet inkluderande:

1. Processlösning.
2. Teknisk prestanda, inkluderande:
 - a. Produktionskapacitet och fördelning mellan olika produktkategorier.
 - b. Råvaruförbrukning.
 - c. Förändring i elproduktion.
 - d. Förbrukningstal och emissioner.
3. Investeringskostnader med en noggrannhet på +/- 25%.

4. Drifts- och underhållskostnader.
5. Projektgenomförandemodell.

Mål 2 (M2)

Analysera och beskriva hur material för skydds bäddar kan integreras i andra industriella värdekedjor.

Mål 3 (M3)

Analysera potentialen för nyttjande av den CO₂ som bildas i process tex. för lagring för negativa CO₂ utsläpp eller för produktion av elektro-bränslen. Vid produktion av elektrofuels genom tillsats av vätgas från elektrolys av vatten till processen så kan både produktionskapacitet och nyttjandegrad av kol ökas och potentialen samt kostnaden för detta kommer estimeras.

Mål 4 (M4)

Estimera hur denna typ av processintegration generellt kan påverka nyttjandegraden av kraftvärmeverk vid en bredare implementering.

Projektet har genomförts under perioden 2018-11-01—2020-02-28, med stöd av Energimyndigheten och Energiforsk.

Genomförande

Projektet som omfattat hela produktionsprocessen, inkluderande bränsletillförsel, gasproduktion, bränslesyntes och lagring, har syftat till att utreda alla väsentliga tekniska och ekonomiska aspekter av projektet på så sätt att man efter slutförd studie ska kunna fatta beslut om fortsatt projektutveckling. Projektet, som genomförts med en kombination av inköpta tjänster och projektparternas eget arbete, har omfattat ett antal olika arbetspaket (AP), vidare beskrivna nedan.

AP 1: Projektledning

Styrning, koordinering (inkl. teknisk koordinering), resultatsammanställning, rapportering m.m.

AP 2: Kartläggning av pannor och övriga förutsättningar på Hedenverket

Insamling av designdata, kapacitetsutnyttjande (lastprofil), teknisk status, driftsparametrar, layoutförutsättningar. Inledande analys av tillgängliga råvaror utifrån hittillsvarande bränsleförsörjning

AP 3: Analys och apparattekniskt utförande för olika processkoncept har utarbetats i ett iterativt samspel med beräkningsresultat från AP 4.

Huvudfokus i detta arbetspaket ligger på rening/konditionering av gasen där lösningar som är anpassade till kraftvärmeintegrerad produktion är centrala. I arbetet har inkluderats analys av att nyttja anläggningsinterna strömmar i form av aska för att styra gassammansättning och gasrenhet. Ett exempel på detta är utnyttjande av den aska som produceras vid förbränning av biomassa, som innehåller höga halter alkali. I studien har följande frågeställningar experimentellt undersökts

- Vilken aska från Karlstads Energis panna som är mest lämplig, flygaska, bottenaska, ESP-aska
- Kan denna aska användas som den är eller ska den modifieras t.ex. genom släckning eller reaktion med annat ämne inom/utanför anläggningen?
- Vilken reaktivitet har askan med svavelkomponenter, företrädesvis H₂S, COS och CS₂, under normala driftbetingelser, samt för vattengasreaktion?
- Vilka driftparametrar (temperatur, tryck, gassammansättning) är bäst för reaktionen?
- Hur konkurrerar koldioxid och vatten i den gas som ska behandlas med avseende på svavel?

I detta arbetspaket inkluderas även analys av hur renings-/skyddsbäddar i gasreningssystemet kan införlivas i nya och existerande värdekedjor i svensk skogsindustri. Dessutom, om utnyttjande av elektricitet och koldioxid (som faller som en biström från produktionsprocessen) har någon ekonomisk relevans för ökad FT-produktion.

AP 4: Upprättande av mass- och energibalans för hela produktionsprocessen. Modellering av processen i Aspen plus i kombination med egenutvecklade modeller har använts för att analysera systempåverkan av olika processalternativ och driftsparametrar.

AP 5: Mass- och energibalans för pannans förbränningszon och värmeöverföringszoner har beräknats och analyserats för att undersöka prestandan vid samproduktion.

AP 6: Genomförande av inledande projektering i syfte att fastslå processkoncept och ta fram tekniska huvuddata samt investerings- & driftskostnadskalkyler på en nivå som möjliggör beslut om fortsatt projektgenomförande. Centrala aktiviteter har inkluderat bl.a.:

- Processflödesscheman:
Scheman innefattande processutrustning samt processrör, processarmatur och instrumentkretsar.
- Layout:
Övergripande 3D layout för reaktorns inkoppling mot fastbränslepannan liksom för bränslesystem och processteg nedströms förgasaren.
- Leverantörskontakter:
Kontakter med leverantörer av huvudutrustning för att diskutera/fastställa typ, storlek och kostnad för utrustning samt preliminär prestanda och förbrukning av el och försörjningsmedia. Intagande av budgetofferter.
- Investeringskostnadskalkyl:
En kostnadskalkyl har upprättats innefattande alla kostnadsposter för ett projektgenomförande. Bedömd noggrannhet c:a $\pm 25\%$ baserat på att budgetofferter inhämtats för huvudutrustning. Kostnader för entreprenader

och generell processutrustning är erfarenhetsmässigt uppskattade av teknikkonsult.

- Driftskostnadskalkyl:
Förbrukning av insatsvaror, el, försörjningsmedia, personal, underhåll m.m. har beräknats/bedömts och relaterade kostnader beräknats.

AP 7: Ekonomisk analys och plan för fortsatt projektutveckling. Inledande bedömning av projektets lönsamhet tillsammans med en känslighetsanalys där kostnad för investering, investeringsstöd och driftskostnader varierar. Plan för fortsatt projektutveckling.

AP 8: Analys av klimatpåverkan
Framtagande av data gällande klimatpåverkan för det förnybara flygbränslet i enlighet med ISO standarden för LCA (ISO 14040) har genomförts av oberoende part (IVL).

AP 9: Omvärldsbevakning och resultatspridning har genomförts i samarbete med flera parter.

BioShare har varit projektägare, ansvarig för genomförandet och har varit huvudsaklig utförare av AP 1–8.

HC&E har ansvarat för den experimentellt baserade utvärderingen av askbaserade adoptionsmaterial, AP 3, samt medverkat i en rådgivande roll i frågor rörande konceptionell design.

LTH har arbetat med Aspen modellering inom ramen för AP 4. På grund av att ansvarig person på LTH slutade sin anställning drygt halvvägs in i projektet har slutförande av processmodellering genomförts av BioShare.

Karlstads Energi har tillhandahållit anläggningsinformation och medverkat i en granskande/rådgivande roll i frågor som gäller praktisk genomförbarhet.

Fly Green Fund och Paper Province har varit huvudansvariga för AP 9

Stora delar av AP 6 har utförts av teknikkonsult som arbetat på uppdrag av BioShare.

Resultat

Resultaten från genomförbarhetsstudien redovisas nedan i relation till de huvudsakliga målen för projektet:

Tekniska lösningar, ekonomisk genomförbarhet och miljömässig prestanda

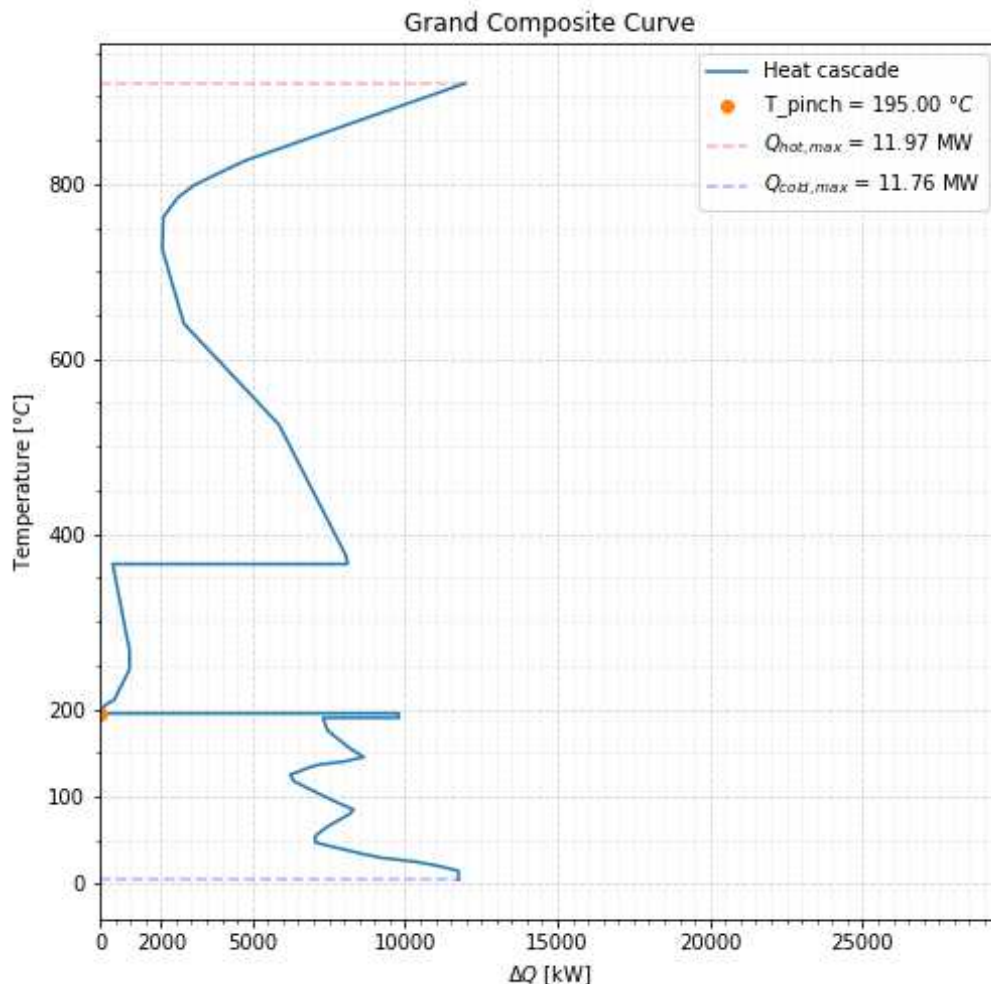
Utveckling av processkoncept och tekniska lösningar för de olika processtegen samt relaterad analys av investerings- och driftskostnader har utgjort projektets absoluta tyngdpunkt och har bedrivits inom ramen för AP3-6, 8.

Ett stort antal olika processkonfigurationer modellerades i Aspen Plus under projektets inledande månader. Initialt genomfördes analysen med ett brett fokus,

inkluderande både järn- och koboltbaserad FT-syntes samt olika strategier för metanreformering och utnyttjande av restgaser.

Efter den inledande screeningfasen beskriven ovan gjordes en analys av de olika alternativens preliminära produktutbyten och förbrukningstal. Baserat på detta så beslutades att genomföra en fördjupad analys av en process baserad på koboltkatalysator för FT-syntes i en fastbäddsreaktor, långt driven recirkulation av restgaser efter FT-reaktorn samt elvärmad reformering av metan, se bilaga 2.

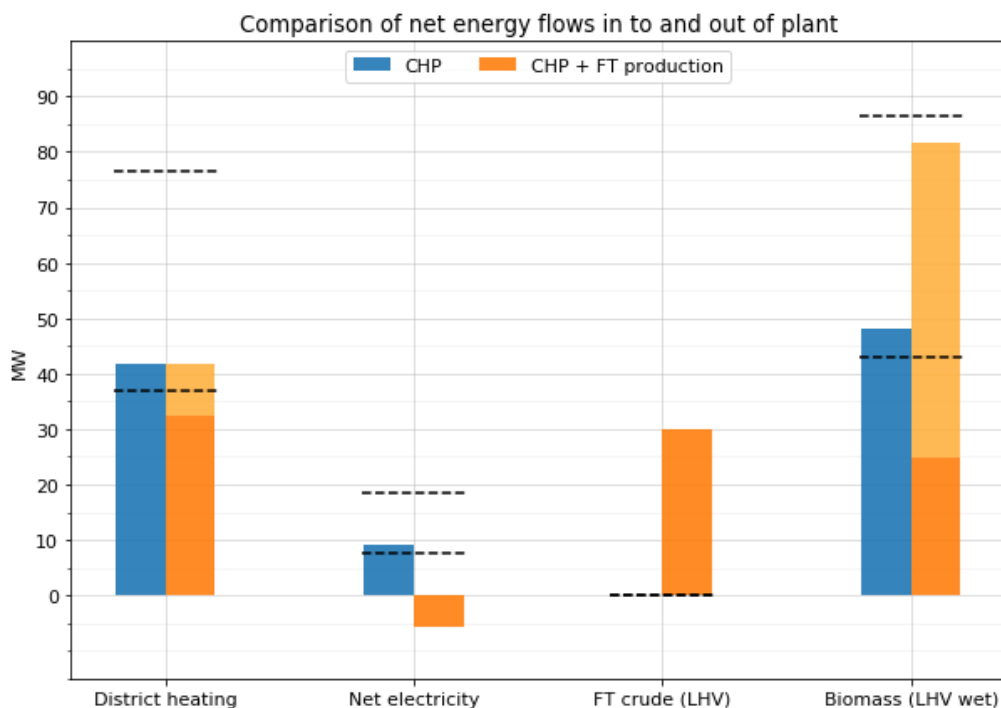
Baserat på den valda processlösningen och de driftsparametrar som identifierats som mest intressanta togs mass- och energibalanser fram. Produktionen av FT-vax innefattar ett stort antal enhetsoperationer vars behov/avgivning av värme behöver integreras internt i FT-processen samt mot kraftvärmeanläggningen. För att åskådliggöra detta visas ett något förenklat GCC i Figur 1 nedan. Här bör noteras att ett GCC är ett teoretiskt verktyg som visar på de teoretiskt minsta värme och kylbehoven. De verkliga värme och kylbehoven kommer ur det slutliga värmeväxlarnätverket. Dock kan ett GCC användas för att ge en känsla för den studerade processen.



Figur 1: Förenklat GCC över FT-processen inklusive tork och gasrening. GCC:t genererades med en antagen minsta temperaturdifferens på 50 °C. Q_{hot} och Q_{cold} representerar det teoretiskt minsta värme och kylbehovet för denna processen.

I figur 1 syns att merparten av den externa värmen till processen behöver tillföras vid en temperatur över 800 grader, detta sker mha elvärme i den integrerade anläggningen. Vidare syns två horisontella linjer, den övre av dessa är energimängden i processången som tillförs till processen. Den undre linjen är energimängden ången som produceras genom FT-reaktors kylning. Slutligen kan det noteras att mer än två tredjedelar av det externa kylbehovet går att tillgodose på temperaturnivåer som går in som fjärrvärme, resterande andel behöver avges som frikyla.

Med värmeintegreringen på plats och mha en modell för kraftvärmeanläggningen kan anläggningens slutliga prestanda uppskattas. I Figur 2 syns de resulterande energiflödena ut ur och in i anläggningen före och efter integreringen. Det lastfall som använts i jämförelsen är ett låglastfall, anledningen till det är för att återspegla att Panna 2 för nuvarande har mer av en topplastroll på Hedenverket och därmed sällan körs på fullast. Anläggningens verkningsgrad hade varit högre med högre last då pannans verkningsgrad är lastberoende. Sedan hade även en högre last lett till procentuellt större effektuttag i pannans rökgaskondensator eftersom en större andel fuktigt bränsle hade matats i ett höglastfall.



Figur 2. Visar de övergripande energiflödena ut och in ur anläggningen före och efter integrering. Jämförelsen görs mot ett låglastfall för att återspegla den nuvarande topplastrollen hos Panna 2. De ljusare orangea parterna symboliserar den andel av fjärrvärmens som kommer från FT-processen samt den andel av blött bränsle in till anläggningen som matas till förgasaren.

Värt att notera från Figur 2 är att mängden bränsle som går till pannan minskar kraftigt vid en integration. Denna minskning har två huvudsakliga anledningar. Den första anledningen är att pannan behöver backa sin ångproduktion något för att lämna plats på fjärrvärmeslingan för värmen från FT-processen. Denna

värmemängd är dock, som kan ses i figuren, inte särskilt stor i jämförelse med den totala leveransen så pannan behöver inte backa alltför mycket. Den andra anledningen, vilket är den större, är att en betydande del av energin i förgasbränslet kommer pannan tillgodo genom transport av koks, tjära och partiklar från förgasaren till pannan. Här syns en av fördelarna med en integrerad förgasare jämfört med en fristående i det att energin i restprodukterna kan tas tillvara som bränsle i CHP-processen.

Sammanfattningsvis redovisas i Tabell 1 de slutliga nyckeltalen för den integrerade processen för tre olika lastfall. Lastfallen är varken min- eller max-last men kan användas för att se hur prestandan för processen beror på pannlasten. Värt att notera är att först i höglastfallet producerar processen mer el än den förbrukar. Som nämnts innan så syns att processens totalverkningsgrad blir högre vid högre last, dels pga lastberoendet i pannan. Men också för att en större andel bränsle då går till pannan kontra FT-processen.

Tabell 1. Redovisning av nyckeltal för den integrerade anläggningen. Samtliga verkningsgrader baseras på LHV, därav värden över 100% i referensfallet. *Uppskattade värden, korresponderar mot konstant fjärrvärmeproduktion före och efter. **Baserat på blött bränsle med 45% fukthalt.

Storhet	Enhet	Lastfall		
		Låg	Medel	Hög
Bränsleförbrukning, (\dot{Q}_{bio})	MW (LHV**)	81.6	100.2	117.9
Förbrukning av RME, (\dot{Q}_{RME})	MW (LHV)	2.8	2.8	2.8
Elproduktion, (P_{el})	MW	7.2	11.7	16.1
Netto Elförbrukning, ($P_{el,net}$)	MW	5.6	1.1	-3.3
Fjärrvärmeleverans, (\dot{Q}_{FV})	MW _{th}	41.8	58.6	74.6
Producerad FT vax, (\dot{Q}_{FT})	MW (LHV)	30.0	30.0	30.0
$\eta_{chem,marginal}$	%	90	90	90
$\eta_{el-chem,marginal}$	%	59	59	59
$\eta_{tot,before}$ *	%	105	108	109
$\eta_{tot,after}$	%	81	87	90
$\eta_{chem,marginal} = \frac{\dot{Q}_{FT}}{\dot{Q}_{bio} - \dot{Q}_{bio,before}}$ $\eta_{el-chem,marginal} = \frac{\dot{Q}_{FT}}{(\dot{Q}_{bio} - \dot{Q}_{bio,before}) + (P_{el,net} - P_{el,net,before}) + \dot{Q}_{RME}}$ $\eta_{tot} = \frac{\dot{Q}_{FT} + P_{el} + \dot{Q}_{FV}}{\dot{Q}_{bio} + \dot{Q}_{RME} + P_{el,behov}}$				

För mera detaljerad beskrivning av strategin för integrering mot befintligt kraftvärmeverk, se bilaga 3.

Den inledande projekteringen innefattande dimensionering och preliminär design av förgasningsreaktor integrerad med CFB-panna P2 vid Hedenverken. Dessutom har inledande dimensionering och design av katalytiska reaktorer i FT-processen genomförts. Processflödesscheman, utrustningslistor samt en 3D modell för hela processen från inmatning av fuktig flis till lagring av producerad FT-vax har också tagits fram, se bilaga 4 och 5.

Investeringskostnaden för hela produktionsanläggningen har estimerats genom att (där så varit möjligt) ta in budgetofferter på huvudutrustning. För alla entreprenader samt för pumpar och liknande standardutrustning har erfarenhetsvärden från teknikkonsulten AFRY använts för den framräknade omfattningen. Total investeringskostnad inkl. kostnader för projektutveckling och tjänster för genomförande har beräknats till 980 MSEK, inkl 20 % oförutsett. Kapitalkostnad för samproduktion motsvarar då på ca 62 EUR/MWh (15 års drift, 7320 h/år, 30 MW, 1 EUR = 9.5 SEK, 10% ränta). Med dessa förutsättningar estimeras då produktionskostnaden för FT-vax till 1320 kr/MWh. För en sammanställning av investeringskostnader och driftkostnader, se bilaga 6.

Driftskostnaderna för integrerad produktion av 30 MW FT-vax har beräknats och redovisas i bilaga 7 tillsammans med en inledande lönsamhetsanalys.

En LCA analys av FT-produktens prestanda avseende klimatpåverkan, försurning och övergödning har genomförts av IVL, se bilaga 8. Resultatet visar på låga utsläpp och en GWP på 7-13 $\text{gCO}_2,\text{eq}/\text{MJ FT}$

Genomförbarheten av projektet vid Hedenverket försvåras då Karlstads Energi eldar hushållsavfall på anläggningen. Detta gör att möjligheten till avsättning av överskottsvärme från FT-anläggningen försvåras under sommarhalvåret om inte tekniken kan kombineras med säsongslagring av värme eller minskad avfallsförbränning under sommaren. Analysen är baserad på avsättning av värme från FT-processen under 7320, vilket i dagsläget inte uppnås med panna P2. Diskussioner om ev. fortsättning av projektet pågår med Karlstads Energi vid tidpunkten för denna rapport.

Integrering av material för skyddsbäddar i andra industriella värdekedjor

I projektet har en experimentell analys genomförts gällande möjligheten att använda olika askkomponenter för adsorption av svavelkomponenter i rågasen från förgasaren, vilket redovisas i en separat Energiforsk rapport "Removal of sulphur species using industrial residual streams".

Då de experimentella resultaten utvärderades fanns konceptet med askbaserade adsorptionsbäddar inte vara konkurrenskraftigt utan fortsatt projektutveckling gjordes utifrån användande av konventionella metalloxidbaserade adsorptionsbäddar.

Potential för nyttjande av CO₂

I en anläggning för samproduktion av kraftvärme och FT-vax så bildas CO₂ med biogent ursprung och är tillgängligt i olika former i processen. Dels bildas CO₂ i form av rökgaser då en del av bränslet eldas för att dels producera värme till förgasningsprocessen och gaskonditioneringen dels för att producera ånga till kraftvärmeprocessen. I denna ström blandas CO₂ ut framförallt med stora mängder kväve och det skulle därför krävas ytterligare processteg för att avskilja och nyttja denna CO₂. Eftersom biomassa innehåller förhållandevis mycket syre så krävs det att detta syre avskiljs från processen vid produktionen av FT-vax som är närmast fri från syre. Detta kan jämföras med pyrolysolja där stor del av syret återfinns i pyrolysoljan och istället måste avskiljas vid raffinering av oljan, vilket är mycket energikrävande. I den föreslagna processen binds en del av kolet från biomassan med syret för att bilda CO₂ som sedan avskiljs från gasen innan den går till syntesreaktorn för att bilda FT-vax. Den avskilda CO₂ strömmen har hög koncentration och endast mindre rening krävs för nyttjande av denna CO₂ ström.

Ett alternativ som har identifierats ha god potential är att öka nyttjandet av CO₂ i processen och därmed minska utsläppen av CO₂ och istället binda in kolatomerna i den producerade FT-vax. Detta kan åstadkommas genom att på olika sätt tillföra el till processen och där med producera så kallat elektro-bränsle i kombination med den biomassa baserade produktionen. Detta kan åstadkommas genom elektisk värmning av processen som därmed minskar utsläppen av CO₂ i rökgaser. Men det kan även åstadkommas genom att tillföra vätgas producerad från el till processen och därmed öka nyttjandet av kolet i biomassan och istället avskilja syret i form av H₂O.

Detta möjliggör produktion av kemo-elektriska bränslen med decentraliserat nyttjande av biomassa och el för produktion av FT-vax som centraliserat kan raffineras till olika biobränslen på mycket energieffektivt med mycket låg klimatpåverkan.

Diskussion

Studiens resultat visar att en produktion av 30 MW FT-vax kan integreras med en kraftvärmepanna på effektivt och kostnads effektivt sätt.

Marginalverkningsgraden från biomassa och el till FT-vax är 59% vilket är högre än vad som rapporterats för storskaliga fristående anläggningar med 40–55% verkningsgrad [1]. Kapitalkostnaden för den undersökta processen är 590 kr/MWh (30 MW, 10% ränta) motsvarande 62 EUR/MWh (1 EUR = 9.5 SEK) vilket kan jämföras med det estimerade spannet för en fristående anläggning för 200 MW produktion på 43–76 EUR/MWh.

Den totala produktionskostnaden estimeras i detta fall till 1320 kr/MWh (baserat på 30 MW, 15 års drift, 7320 h/år) motsvarande 139 EUR/MWh vilket kan jämföras med estimatet för fristående anläggningar [1] på 75–144 EUR/MWh (200 MW, 15 års drift, 8000 h/år). Jämförelsen visar att konceptet med

Samproduktion som föreslås i detta projekt möjliggör produktion av FT-vax på 30 MW för en specifik kapitalkostnad (kr/MWh) som är i paritet med en fristående anläggning för produktion av 200 MW.

Kombinationen av hög verkningsgrad och i sammanhanget moderata investeringskostnader gör att samproduktion av biodrivmedel i kraftvärmeanläggningar kan bli en möjlighet för kraftvärmeägare att bredda sin produktion. Den måttliga skalan underlättar både marknadsintroduktion och råvaruförsörjning.

Något som visat sig vid integreringen av FT-anläggningen med kraftvärmeanläggningen är att det inte nödvändigtvis är FT-anläggningen med högst verkningsgrad som är den mest attraktiva ur ett ekonomiskt perspektiv. För att avgöra vilken verkningsgrad som är optimal behövs ytterligare studier kring kostnaderna för gasbehandling samt intäkterna från det producerade FT-vaxet.

Potentialen för konceptet att nyttja el i kombination med biomassa i denna typ av samproduktions anläggning visar en stor potential för att förbättra både processupplägg men också nyttjande av det biogena kolatomerna i processen. El kan tillsättas både direkt som värme eller indirekt via vätgasproduktion. Fortsatta studier rekommenderas för att identifiera och jämföra olika teknikval och koncept för denna typ av produktion av bio-elektriska bränslen.

Livscykelanalysen visar på låga växthusgasemissioner på 7-13 g_{CO₂,eq}/MJ FT-vax, men LCA analysen visar på ytterligare förbättringspotential. Framför allt identifierades att RME som används i processen för att skrubba tjärar bidrar till utsläpp av växthusgaser men bidrar även till övergödning och försurning. Så även om värdena för samtliga dessa delar är låga så skulle byte av skrubberolja kunna ytterligare förbättringar och bör därför vara föremål för fortsatt utvecklingsarbete. Slutligen kan konstateras att val av torkkoncept påverkar systemprestandan och bör utgöra ett fokusområde för fortsatt konceptutveckling.

Publikationslista

Det genomförda projektet har legat till grund för ett Energiforsk-projekt som har syftat till att beskriva och analysera konceptet för samproduktion på ett sådant sätt att det går att tillämpa på den fastbränslebaserade kraftvärmesektorn som helhet. Resultatet från detta arbete kommer att redovisas i två rapporter på engelska som kommer att vara publikt tillgängliga för nedladdning på Energiforsks hemsida.

Referenser, källor

1. Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction, 2020 IEA Bioenergy: Task 41: 2020:01

Bilagor

1. Administrativ bilaga
2. Översikt analyserade processkonfigurationer och beskrivning av vald processkonfiguration
3. Integrering av FT-processen i kraftvärmeverket ”KÄNSLIG INFORMATION”
4. Processflödesscheman ”KÄNSLIG INFORMATION”
5. 3D modell
6. Capex_Opex och inledande lönsamhetsanalys ”KÄNSLIG INFORMATION”
7. B2377 LCA of FT fuel [IVL-rapport]