

SAMVERKANSPROGRAMMET
FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM

Sammanfattande projektresultat 2018-2021



Innehåll

Förord	3
--------------	---

Projekresultat

1. Verktyg för biogasutveckling – Offentlig upphandling, aktörsnätverk och lokala styrmedel	4
2. Hur kan alkoholer bidra till en fossiloberoende fordonsflotta?	7
3. Drop-in-bränslen från svartlutsdelströmmar – Överbrygging av gapet mellan kort- och långsiktiga teknikspår	10
4. Biobaserad flexibel produktion av drivmedel i en kombinerad pyrolys- och förgasningsanläggning (BioFlex)	13
5. Elektrolysassisterad förgasning av biomassa för drivmedelsproduktion	15
6. KNOGA – Fossilfri framdrift för tunga långväga godstransporter på väg – Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer	18
7. SunAlfa – Systeminriktad analys av processer för biodrivmedel från skogsråvara	22
8. En droppe i tanken eller en ny tank? – En jämförelse av kostnader och klimatprestanda	25
9. Hållbar HVO-produktionspotential och miljöpåverkan	28
10. El- och bränslecellsdrift inom massgodstransporter i städer och tätorter – Analys av systemupplägg	32
11. Cirkularitets- och försörjningsnytta – Metodutveckling	36
12. Framtida bränsleval för flyg, sjöfart och vägtransporter ur ett energi-systemperspektiv	38
13. Kan förnybar flytande metan (LBM) ersätta LNG inom sjöfarten?	41
14. Framtidssäkrade biodrivmedel för vägtransporter och flyg genom ökad nytta från biogent kol – Kol-, klimat- och kostnadseffektivitet	44
15. Multitankstationer	49
16. Ge biogasen nya förutsättningar att utvecklas när bussflottan i flera städer elektrifieras	52
17. Bio-elektrobränslen – hybriddrivmedel för förbättrad resurseffektivitet	55
18. Effekter av motstridiga regelsystem för livscykelanalys	58
19. Styrmedel och biodrivmedel i EU -igår, idag och imorgon – Samband mellan konsumtion, produktion och styrmedel för biodrivmedel	61
20. Biodrivmedel från snabbväxande lövträd – En syntesstudie från råvara till drivmedel	66
21. Mer bioenergi och mindre negativa miljöeffekter från jordbruket	69
21. Tekniker för framställning av syrefattig bioolja som råvara till biodrivmedel	73
23. Biltrafikens klimatpåverkan på väg mot klimatneutralitet	76
24. Produktion av svavelfritt marinbränsle från restprodukter från skogen	80
25. Effektivast användning av biomassa – till biobränsle eller elektrobränsle?	83

Förord

Samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system är ett forskningsprogram, som under perioden 2018-2021, drivits tillsammans av Energimyndigheten och f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. Syftet med programmet, är att bidra med analyser som kan ligga till grund för vetenskapligt underbyggt beslutsstöd och ökad systemförståelse hos politiker, myndigheter, industri och andra organisationer gällande hur utvecklingen och användningen av hållbara förnybara drivmedel kan bidra till förverkligandet av Sveriges mål för transportsektorn på en reduktion av koldioxidutsläppen med 70% till år 2030 jämfört med år 2010, och på längre sikt en fossilfri transportsektor.

Den totala forskningsbudgeten för programmet under perioden 2018-2021 är ca 47 miljoner kronor varav Energimyndigheten finansierat 22 miljoner kronor och f3:s parter 11 miljoner kronor. Resterande del har samfinansierats av organisationer som deltagit i projekten.

Programmet bygger på stark samverkan mellan forskningsutförare, industri, institut och näringsliv samt med andra aktörer så som regionala och nationella myndigheter. Inom programmets 26 projekt har närmare 70 olika organisationer deltagit. Samverkan tillför till exempel en breddad kompetens, där den egna spetsen kompletteras med ökad kunskap och förståelse om närliggande områden. Detta gör att forskarna i högre grad kan bidra till den allmänna debatten och svara på frågor från olika typer av aktörer – från statliga utredare till kommunala upphandlare av bussar, allmänhet och media. För industrin innebär samverkan en direkt kanal till forskning och forskare inom området, om också fördjupad kontakt med andra relevanta industriaktörer.

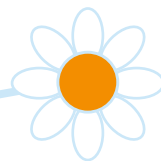
Spridning av kunskap om förnybara drivmedel och resultat från forskningsprojekten är en central del av samverkansprogrammet. Informationen finns samlad på webbplatsen (www.f3centre.se). Där finns forskningsrapporter, presentationer från konferenser och seminarier, inspelningar från webinarier bland mycket annat att ladda ned.

I denna rapport kan du läsa sammanfattande resultat från programmets 26 projekt under perioden 2018-2021.

Göteborg, maj 2022

Ingrid Nohlgren

Ansvarig programkansli och Föreståndare f3



Verktyg för biogasutveckling

Offentlig upphandling, aktörsnätverk och lokala styrmedel

FEBRUARI 2020

Tomas Lönnqvist, Sara Anderson, Sven-Olof Ryding och Anders Hjort,
IVL Svenska Miljöinstitutet

Robert Lundmark och Patrik Söderholm,
Luleå tekniska universitet

1

Stötta den lokala biogasutvecklingen

Biogas producerat från avfall och restprodukter är inte bara ett bra biodrivmedelsval för klimatet, det bidrar också till att lösa avfallsproblem samt skapar lokala arbetstillfällen inom den cirkulära ekonomin. Biogas bidrar positivt till flera av FN:s 17 mål för hållbar utveckling (Energigas Sverige 2019). Av de 16 miljö kvalitetsmål som Sveriges Riksdag antagit bidrar biogas till uppfyllandet av åtminstone åtta mål (ibid).

För att biogasen ska utvecklas och de många nyttorna ska tillvaratas behövs stöd längs hela värdekedjan och flera olika verktyg användas. Städer och regioner har en avgörande roll att spela för att detta ska ske. Den här rapporten tittar närmare på hur offentlig upphandling, aktörsnätverk och politiska styrmedel kan bidra till att främja utvecklingen av biogas på lokal nivå. Projektets resultat är främst avsedda som underlag och hjälp i arbetet med att främja en ökad biogasutveckling i transportsektorn genom att undanröja hinder och skapa incitament.

På grund av relativt höga produktionskostnader samt uppbyggnad av ny infrastruktur är biogasens utveckling än så länge beroende av stöd genom olika typer av politiska styrmedel för att vara konkurrenskraftig mot de fossila alternativen. Ett kraftfullt styrmedel för att uppnå miljömål och stödja biogasutveckling är offentlig upphandling. Väl utvecklade aktörsnätverk spelar också en viktig roll för biogassystemens framtida utveckling.

Syfte

Syftet med projektet är att ge underlag till lokala beslutsfattare i arbetet med styrmedel och upphandling samt rekommendationer om hur kommun/landsting kan agera aktivt i aktörsnätverk för att främja användningen och utvecklingen av biogas för den lokala transportsektorn.

Metod och avgränsning

För att uppnå syftet studerades utvecklingen i tre svenska regioner med fokus på viktiga hinder och incitament. Djupintervjuer med beslutsfattare och intressenter samt litteraturstudier har utförts i tre regioner: Västra Götaland (VGR), Gotland och Norrbotten. De tre regionerna har valts

ut för att de representerar olika förutsättningar för biogasutveckling samt att biogasutvecklingen befinner sig i olika mognadsfaser i de olika regionerna.

De tre regionerna uppvisar olika stadier av biogasutveckling och även olika behov för att utvecklingen ska komma vidare. Göteborg Stad och Västra Götalandsregionen har historiskt, gått före och visat en tydlig politisk riktning för förnybara drivmedel. Staden har varit först i Sverige med att implementera flera typer av lokala styrmedel som främjar introduktionen av förnybara drivmedel. Den regionala biogasutvecklingen är också långt gången i såväl produktion, infrastruktur som användning. Även Region Gotland uppvisar en hög ambitionsnivå för biogas, men utvecklingen har inte pågått lika länge som i Västra Götalandsregionen. Region Gotland har pekat ut biogas som det primära drivmedlet och prioriterat det framför andra förnybara drivmedel i upphandlingar. Region Norrbotten har däremot inte prioriterat biogasutveckling i samma utsträckning. Det finns t.ex. biogasproduktion i Luleå kommun, men det saknas satsningar på infrastruktur samt en publik tankstation, vilket hindrar att en efterfrågan på biogas tar fart i denna kommun.

Framgångsfaktorer för biogasutvecklingen

För att främja biogasutvecklingen i kommuner och regioner behövs en bredd av åtgärder som kompletterar varandra. I de fall då rådighet för att genomföra åtgärden saknas bör kommun/region söka samarbete med andra aktörer. Vi har inom ramen för detta arbete identifierat fem framgångsfaktorer för ökad biogasanvändning i transport och stärkt utveckling av biogassektorn, vilka beskrivs närmare nedan.

Tydlig politisk riktning och välunderbyggt beslutsunderlag

Visioner och målsättningar för biogasutveckling måste omsättas i praktiken. Kommuner och regioner kan visa vägen genom att själva välja biogas i sina upphandlingar men även genom att underlätta för andra aktörer att välja biogas. För att uppnå detta behövs ofta en kombination av olika styrmedel samt att styrmedlen uppfattas som förutsägbara och att det går kontrollera dess efterlevnad.

Genom att själva välja biogas skickar kommuner och regioner tydliga signaler och visar vägen för privata aktörer. Ett exempel på detta är Region Gotland som har valt biogas för skolskjuts och varudistribution i upphandlingsprocessen. Ett annat exempel är Västra Götalandsregionen som har gett prioritet till gasfordon i personbilupphandlingen. De prioriterar el- och gasfordon framför övriga drivlinor. Att regionerna själva upphandlar gas, utöver att drivmedlet inkluderats i visioner och målsättningar, skapar tilltro hos de privata aktörerna.

En tydlig politisk riktning förutsätter också ett väl underbyggt underlag som innefattar: mål, strategi, handlingsplan, ansvarsfördelning, uppföljningsplan, tydliga motiveringar samt information om hur biogas kan upphandlas. Ett bra beslutsunderlag möjliggör att tjänstemän kan genomföra de politiska beslut som fattats på ett effektivt sätt. Exempelvis Region Gotland har samlat ansvar hos fordonsförvaltningen vilket också ger goda möjligheter till uppföljning. Regionens handlingsplan inkluderar bl.a. följande aktiviteter: översikt av regler och policy, använda befintliga avtal för att ställa om fordonsflottan, använda ny upphandling för att ställa om fordonsflottan, öka andelen matavfall som går till biogasproduktion samt dialog med jordbruket kring biogasutveckling.

Miljöanpassad upphandling och inköp

Offentlig upphandling som prioriterar gasfordon och/eller tjänster utförda med gasfordon kan vara en stark framgångsfaktor för biogasutvecklingen. Genom t.ex. särskilda kontraktsvillkor i upphandling kan leverantörer tillåtas att anpassa sig och möta krav stegvis, t.ex. att öka antalet gasfordon över tid. Detta tillåter fler aktörer att delta i upphandlingen. Användningen av särskilda kontraktsvillkor för att förvissa sig om att en leverantör använder sig av biogas som fordonsbränsle har visat sig utnyttjas i varierande utsträckning i de studerade regionerna. Anledningen till att användandet av särskilda kontraktsvillkor inte är mer vanligt kan vara att det ses som allt för styrande och i vissa fall som för svårt att uppnå, men genom att ställa kraven så att de inte behöver vara uppfyllda från det att avtalet börjar gälla utan först en tid in i avtalsperioden möjliggör det för leverantörerna att hinna anpassa sig och eventuellt göra anpassningar och/eller de investeringar som krävs för att kunna uppfylla villkoren.

Uppföljning av upphandling och inköp

För att säkerställa att politiska målsättningar och prioriteringar efterlevs är det nödvändigt att genomföra uppföljning av ställda mål och krav. Uppföljning av t.ex. fordon bör ske på flera nivåer: beslut, upphandling och avrop. Ett sätt kan vara att kräva skriftlig dispens vid avrop av produkter eller tjänster som endast var tänkta som ett sistahandsalternativ (t.ex. fossildrivna fordon). Inte bara val av fordon behöver följas upp utan även val av bränsle då gasfordon ibland tankas med bensin. Möjligheterna till god uppföljning i kollektivtrafiken ökar om drivmedelsvalet behålls hos beställaren. Detta ökar även möjligheten att behålla kompetensen inom den egna organisationen. Om drivmedelsvalet i stället läggs ut på operatören riskerar man att tappa egen kompetens hos

beställaren. Man har också mindre kontroll över att beslut och prioriteringar efterlevs. För att operatörerna själva ska välja gas kan det krävas långsiktighet och längre avskrivningstider för depåerna.

Samarbeten, information- och kunskapsöverföring mellan olika aktörer

Aktörsnätverk fyller en viktig funktion för biogasutvecklingen. Samverkan och samarbete är starka framgångsfaktorer för en stärkt utveckling inom biogasområdet och behövs utmed hela värdekedjan, från råvaruleverantörer, producenter och distributörer ända ut till användare. Här har nätverken en viktig roll att initiera, stödja och upprätthålla samarbeten. Effektiva nätverk kännetecknas av aktörsdiversitet, god integration och stabilitet.

Ofta behövs en ökad samordning, t.ex. kring målbilder, mellan olika förvaltningar och kommunala bolag. Regionala aktörsnätverk för biogas kan, för att stödja en regional biogasutveckling, ta på sig ansvar för att upprätthålla ett aktivt samarbete mellan aktörer, förse nätverket med kompletterande kompetenser och aktörer med erfarenhet från hela värdekedjan samt skapa en struktur och rollfördelning inom nätverket som underlättar samarbeten. Det är också viktigt att dessa aktörer kan enas under en gemensam målbild för området, samt upprätthålla denna samsyn över tid.

Inom samtliga regioner som studerats har kommunerna och/eller regionerna haft egna fordon som tankat biogas. Genom att uppnå en beteendeförändring inom den egna organisationen har erfarenhet och kunskap kunnat spridas även till andra utanför den egna organisationen. Nätverken har en viktig roll i att sprida information och kunskap om biogas inom, men också till aktörer utanför, det egna nätverket.

Regionala aktörsnätverk för biogas kan, för att stödja en regional biogasutveckling, ta på sig ansvar för att upprätthålla ett aktivt samarbete mellan aktörer, förse nätverket med kompletterande kompetenser och aktörer med erfarenhet från hela värdekedjan samt skapa en struktur och rollfördelning inom nätverket som underlättar samarbeten. Det är också viktigt att dessa aktörer kan enas under en gemensam målbild för området, samt upprätthålla denna samsyn över tid.

Hantera att biogassystemets delar växer i otakt

Stora tekniska system (STS), som biogassystemet, växer ofta fram i otakt. Olika delar av systemet växer i olika takt och någon eller några delar släpar ofta efter. Det kan vara produktion, efterfrågan, distributionsinfrastruktur, aktörsnätverk och de politiska styrmedlen. Exempelvis kan infrastruktursatsningar behövas för att möjliggöra att efterfrågan kan växa i specifika kommuner. Nationellt ligger efterfrågan efter utbudet. Det är tydligt att biogassystemet fortfarande är under framväxt och att flera delar ligger efter i utvecklingen. Att identifiera vilka delar som ligger efter och eventuellt behöver åtgärdas samt att adressera dessa är en viktig utmaning såväl regionalt som nationellt. En slutsats från de tre regionerna som studerats är att det krävs koordinerade satsningar på såväl produktion som distribution och användning för att den regionala satsningen skall bli lyckad. De tre komponenterna är nödvändiga för en framgångsrik biogassatsning.

Diskussioner och rekommendationer

Utgångspunkten för att analysera olika åtgärder görs ofta genom att bedöma graden av måluppfyllelse, dvs. hur väl åtgärden styr mot det uppsatta målet. Exempelvis i hur stor utsträckning bidrar åtgärden till att främja biogasutveckling och öka användningen av biogas i transportsektorn? En annan viktig aspekt är kostnadseffektivitet, d.v.s. om åtgärden gör att målet nås till en låg eller lägsta kostnad för samhället. Ofta undersöks också om åtgärden är praktiskt och politiskt genomförbar. Allmänt sett ger direkt styrning i form av regler och kraven god måluppfyllelse exempelvis ett skallkrav i en upphandling, medan ekonomiska styrmedel kan ge kostnadseffektivitet om de är rätt utformade. Den praktiska och politiska genomförbarheten av en åtgärd förutsätter rationella och välinformerade aktörer samt inte sällan en tajming i besluten.

Utifrån de framgångsfaktorer som beskrivits ovan diskuteras här deras måleffektivitet, samt praktiska och politiska genomförbarhet utifrån uppskattningar. Kostnadseffektiviteten diskuteras också där det bedömts möjligt. För att göra en fullständig analys kan särskilda utredningar krävas utifrån olika lokala förutsättningar. Syftet med diskussionen är därför inte att göra en fullständig bedömning utan snarare att föra in dessa faktorer – måleffektivitet och genomförbarhet och i den utsträckning det är möjligt kostnadseffektivitet – i resonemanget om verktyg för att öka biogasens utveckling i en region.

Gå före, visa en politisk riktning och använd ett välunderbyggt beslutsunderlag

Genom att kommunen själv vågar vara tekniskspecifik, och välja gasbilar i sin fordonsflotta ger det en tydlighet i besluten; privata aktörer kan då våga ta initiala risker och investera i t.ex. fordon, infrastruktur. Ett välunderbyggt beslutsunderlag kan handla om tydliga strategier och handlingsplaner som pekar ut önskad riktning och aktiviteter som leder mot målet, t.ex. en ökad användning av biogas som drivmedel. Genom att kommunen själv väljer gasbilar bidrar det till en ökad måluppfyllelse och därmed stärkt måleffektivitet. Beroende på beslut kan kostnadseffektiviteten variera, exempel på åtgärder med högre kostnadseffektivitet är exempelvis att kommunen inför system med miljödifferenterade passageavgifter som använder sig av samma teknik som trängselskattesystemet men med syfte att premiera fordon som drivs med förnybara drivmedel. Ett sådant system antas, i jämförelse med ett förbud mot fossila drivmedel, kunna vara ett kostnadseffektivt sätt att minska koldioxidutsläppet.

Offentlig upphandling, inköp och uppföljning av beslut

Att ställa krav vid upphandling och inköp skapar starka incitament för marknadens aktörer. En region eller kommun kan ha en avgörande betydelse för den lokala biogasutvecklingen genom att utforma krav i upphandlingar som driver

mot ökad produktion och användning av biogas, det anses därmed stärka måleffektiviteten. Genom att konkurrensutsetta aktörerna på marknaden i offentliga upphandlingar av infrastruktur och tjänster, exempelvis utbyggnad av tankstationer samt upphandling av skolskjuts och färdtjänst ökar också kostnadseffektiviteten för dessa åtgärder.

Att göra upphandlingar, ta fram strategier och handlingsplaner ligger helt inom ramen för en kommuns eller regions egen rådighet, vilket innebär en relativt hög genomförbarhet.

Uppföljning på flera nivåer av en upphandling möjliggör att man säkerställer det som avsågs upphandlas. Uppföljning tillåter också en bra utvärdering av effektiviteten i olika åtgärder och kan bidra till ökad måleffektivitet.

Ökat samarbete samt information och kunskapsspridning

Den regionala biogasutvecklingen kan stimuleras genom ett ökat aktörssamarbete samt mer informations- och kunskapsspridning. Dessa åtgärder kan ofta genomföras till relativt låga kostnader, i relation till uppnådd effekt, och därmed kan kostnadseffektiviteten vara fördelaktig. Kommuner och regioner kan ha en betydelsefull roll i att initiera och skapa samarbeten längs värdekedjan. I kommunens ansvar finns också i många fall en roll att sprida information och kunskap vilket medför att kommunen har rådighet att agera för att sprida information och kunskap, vilket innebär hög genomförbarhet.

Hantera system som växer i otakt

Biogassystemet växer fram i otakt. Vilken del av systemet som ligger efter och utgör en flaskhals kan variera över tid och också regionalt. Att identifiera och adressera flaskhalsar – t.ex. distributionsinfrastruktur – kan främja tillväxten av hela biogassystemet och därmed öka kostnadseffektiviteten för flera andra biogasrelaterade åtgärder. Kostnadseffektiviteten för en åtgärd är beroende på var i värdekedjan åtgärden genomförs och hur den påverkar andra delar av systemet. Att t.ex. i Luleå bygga tankinfrastruktur där sådan saknas – alternativt öppna upp den för privatpersoner och företag – kan vara ett kostnadseffektivt sätt att främja biogasutvecklingen.

Rekommendation

För att öka biogasutvecklingen i en kommun eller region behövs en bredd av åtgärder som kan komplettera varandra. Vi rekommenderar att regionen och/eller kommunens politiker och tjänstemän använder de framgångsfaktorer som man har rådighet över och i övriga fall samarbetar med andra aktörer inom branschen för att undanröja eventuella hinder och underlätta biogasens utveckling.

Att tillämpa de identifierade framgångsfaktorerna kan bidra till en kostnadseffektiv uppfyllnad av mål relaterade till biogas, men även till andra miljö kvalitetsmål, som förbättrad luftkvalitet och begränsad klimatpåverkan.

Hur kan alkoholer bidra till en fossiloberoende fordonsflotta?

JUNI 2020

Gunnar Larsson,

SLU Sveriges Lantbruksuniversitet

Per-Ove Persson,

Persson f.N.B AB

2

Alkoholer är flexibla energibärare

Arbetsfordon som till exempel traktorer och hjullastare använder årligen 13,9 TWh fossilt bränsle, mestadels rör det sig om diesel. Det finns många alternativ till fossila bränslen. Dessa varierar i teknikmognad, liksom i dess potential att minska de totala utsläppen, med hänsyn tagen till exempelvis produktionen av bränslet.

Alkoholer är flexibla energibärare som kan produceras från biomassa och restprodukter från skogs- och jordbruk samt framställas som elektrobränsle. De är traditionellt förknippade med tändstiftsmotorer eftersom de är svåra att antända. Men alkoholer kan också användas i bränsleceller och i kompressionsmotorer under vissa förutsättningar och är väl lämpade för nya motorkoncept under utveckling.

Alkoholbränslen som etanol och metanol används redan idag. De ger låga koldioxidutsläpp och kan användas med god verkningsgrad. De tillverkas redan storskaligt i Sverige och pekas av motorforskningen ut som intressanta för framtiden för arbetsfordon inom jordbruk, skogsbruk och entreprenad. Praktiskt och miljömässigt fungerar de väl och såväl samhället som drivmedels- och åkerinäringen har erfarenhet av hanteringen av dem.

Möjligt teknikskifte i arbetsmaskiner

I projektet ”Hur kan alkoholer bidra till en fossiloberoende fordonsflotta?” har tre produktionsfall av förnybara alkoholbränslen valts ut och jämförts med olika dieselalternativ. De förnybara alkoholbränslena har tillämpats i tre användningsfall: jordbruk, skogsbruk och entreprenad.

De tre produktionsfallen utgörs av metanol från skogsbiomassa (produktionsplats Mönsterås), etanol från vete (produktionsplats Norrköping) samt etanol från skogsbio-massa (produktionsplats Örnsköldsvik). Jämförelserna har gjorts med diesel och biodiesel (HVO) från Preems raffinaderi i Göteborg.

De geografiska lokaliseringarna för arbetsfordonens användning är valda utifrån att de enskilt kan representera typiska platser för verksamheterna, och tillsammans Sverige som helhet. Skara representerar användning av arbetsfordon

inom jordbruket, Skellefteå skogsbruket och Södertälje entreprenad.

Ett antal olika drivlinor i arbetsfordon har studerats, både existerande och sådana som är under utveckling. Projektet har undersökt vilka möjligheterna är att använda förnybara alkoholbränslen i följande tillämpningar/koncept:

- som inblandning i diesel i dieselmotorer.
- som ”dual fuel” i en anpassad dieselmotor, det vill säga alkoholbränsle står för huvuddelen av bränsleenergin men diesel används för att antända bränsleblandningen.
- som huvudkomponent i MD95/ED95 för användning i anpassade dieselmotorer. MD95 och ED95 är drivmedel bestående av 95 procent metanol respektive etanol. Res-terande andel utgörs av tändförbättrare, smörjmedel och korrosionsskydd.
- som bränsle för motorer byggda för tändstiftsdrift
- som bränsle för två ännu ej kommersiella motorkoncept baserade på lågtemperaturförbränning (partiellt förblandad förbränning, PPC, samt homogenförbränning, HCCI).
- som bränsle för bränsleceller i elfordon.

Tre faktorer avgör potentialen

Alkoholers potential som drivmedel i arbetsfordon har kartlagts utifrån miljönytta, affärsmässiga förutsättningar och den praktiska hanteringen av dem. Om diesel i arbetsfordon ersätts eller kompletteras med förnybara alkoholbränslen, är slutsatsen att utsläppen av koldioxid kan minst halveras. Men de affärsmässiga förutsättningarna måste förbättras. Den praktiska hanteringen måste också säkerställas i alla led.

Miljönytta

Klimatpåverkan från alkoholdrivmedel domineras av produktionen av bränslet och dess användning i fordonet, det vill säga andel alkoholer i drivmedelsblandningen och fordonets verkningsgrad. Jämfört med HVO medför produktionen av alkoholbränslen lika eller lägre utsläpp och i användningen är minskningen som mest 60 procent. Jämfört med diesel minskar koldioxidutsläppen med mellan 60 och 85 procent, beroende på val av teknisk tillämpning.

Diagrammet visar klimatpåverkan utifrån typ av alkoholbränsle i åtta olika tillämpningar eller motorkoncept. Lägst klimatpåverkan sker vid användning i lågtemperaturförbränning samt i fastoxidsbränsleceller.

Klimatpåverkan från de olika drivmedlen går att påverka på olika sätt i produktions- och användarled. Utsläppen blir som störst då alkoholandelen i drivmedlet är som högst och motorns verkningsgrad låg. Genom val av råvara går det att påverka detta.

Drivmedelslogistiken har i allmänhet en mindre klimatpåverkan. Men användning av alkoholbränslen i arbetsmaskiner i skogsbruket innebär generellt högre klimatpåverkan än användning inom jordbruk och entreprenadverksamhet. Detta beror på större geografiska avstånd för drivmedelsförsörjning av arbetsmaskiner i skogen. Inom jordbruk och entreprenadverksamhet är avstånden oftast kortare och påverkan därför lägre.

Jämfört med traditionella dieselmotorer har motorkoncept baserade på lågtemperaturförbränning potentialen att kombinera hög verkningsgrad med låga utsläpp av NOX och partiklar. I dessa motorer injiceras drivmedlet tidigt och antänds betydligt senare. Det gör att alkoholer passar bra eftersom de är svåra att antända.

Affärsmässiga förutsättningar

Ett drivmedelsskifte i arbetsmaskiner från diesel till HVO fördubblar drivmedelskostnaden. Att byta från diesel till alkoholdrivmedel innebär med nuvarande prisläge en drivmedelskostnad som är ca 2,5 gånger högre än dagens. Det är en avsevärd fördyring som inte kan bäras av den enskilda användaren. Därför behövs ekonomiska styrmedel som tar hänsyn till klimatnyttan. Ett sådant exempel är koldioxidskatt. På sikt är det rimligt att anta att skillnaden kommer att minska med uppskalad etanolproduktion och dyrare utsläppsrätter.

Kostnaden av insatsen i förhållande till storleken på reduktionen av växthusgaser som kan uppnås är en viktig parameter för att prioritera olika åtgärder för att motverka växthuseffekten. Resultatet visar inte så överraskande att ju mindre det kostar en användare att byta drivmedlen jämfört med dagens alternativ, desto lägre blir kostnaden per koldioxidekvivalent. I tabellen visas vad de olika drivmedelsbytena kostar i olika arbetsmaskiner i förhållande till hur många kilo koldioxidekvivalenter som totalt undviks i utsläpp (SEK/kg avlägsnad CO₂-ekv) vid produktion, distribution och användning (Well-to-Wheel):

Ett likvärdigt samband gäller vid en jämförelse mellan olika maskiner. Ju mer maskinen arbetar, desto högre blir miljöavkastningen per investerad krona (SEK). Ur kostnadssynpunkt – krona per avlägsnat kilo koldioxidekvivalenter – kan det i alla typfallen vara ekonomiskt intressant att introducera de olika drivmedelsalternativen. Minst lönsamt är det att introducera nya drivmedel för lantbrukstraktorn. Framför allt beror detta på att lantbrukstraktorer används relativt få timmar jämfört med skotare och hullastare, vilket gör det svårare att täcka kostnaden. En fördubblad räntesats från 5 till 10 % på den kostsammare investeringen för alkoholdrivmedel spelar marginell roll jämfört med ökad eller minskad drivmedelsanvändning.

Alla värden för alternativen i tabellen på sidan 9 har lägre kostnad än Trafikverkets kalkylvärden. Kostnaden är alltså

lägre än värdet av miljöinsatsen.

Praktisk hantering och andra icke-monetära aspekter

Alkoholer har andra egenskaper än diesel. Det ställer krav på investeringar i material och teknik, samt kunskap om hur alkoholer hanteras. I Sverige finns utbredd erfarenhet av storskalig hantering av alkoholer, både ur transport- och lagringssynpunkt. Det finns också erfarenhet av användning av alkoholer som drivmedel, främst inom racingsporten och i en del sjöfartstillämpningar.

Det här är aspekter som inför drivmedelsbyten i arbetsmaskiner inte kan beräknas i monetära termer utan får bedömas utifrån sina relativa fördelar och nackdelar jämfört med diesel. Aspekterna kan kategoriseras som flexibilitet, risk respektive hantering.

Alkoholer är flexibla så till synes att de kan produceras från många olika källor och användas i många tillämpningar för fordonsdrift. Diesel kan produceras från både förnybara och fossila oljor, men i övrigt är dess flexibilitet begränsad.

Alkoholer och diesel är bägge farliga vid direkt konsumtion. Däremot är alkoholer mindre farligt vid indirekt exponering och vid spridning i miljön. Vid bränslespill bryts alkoholer ner relativt snabbt. I luften är lukten såpass stark att den mänskliga näsan noterar den långt innan alkoholer ger upphov till negativa hälsoeffekter.

Vad gäller hantering är vanan mer etablerad för diesel än för alkoholer. Om alkoholbränslen skulle etableras i större utsträckning som drivmedelsalternativ i arbetsmaskiner behövs därför utbildningsinsatser för användarna. Alkoholer brandklassas lägre än diesel, vilket innebär en större brandrisk och därmed striktare villkor kring till exempel hur stora mängder drivmedel som får lagras. Vidare skiljer sig alkoholars kemiska struktur från kolvätens (diesel), vilket innebär att särskilda material behöver användas i kärl och annat material som kommer i kontakt med bränslet.

Slutsatser

Det finns flera vägar att gå både gällande framställning och användning av alkoholerna etanol och metanol. Denna flexibilitet innebär en fördel jämfört med andra mer nischade drivmedel. Möjligheterna för användning av alkoholer i bränsleceller, ottomotorer och dieselmotorer samt i nya motorkoncept ger en stor användningstrygghet. Råvarukällorna för produktion är också flexibla med elektrobränsle, biomassa och restprodukter från skogs-, jordbruket, biogas och naturgas.

De tillämpningar (drivlinor) för alkoholbränslen som det finns störst erfarenhet av är inblandning i fossila bränslen, användning i dieselmotorer med hjälp av tändförstärkare, användning i otto-motorer samt i Dual fueldrift. För användning i avancerade motorkoncept som lågtemperaturförbränning och i bränsleceller är erfarenheten mindre. Samtidigt är det dessa koncept som uppvisar den högsta verkningsgraden.

Kortfattat går det att dra följande slutsatser av de tillämpningar som projektet studerat:

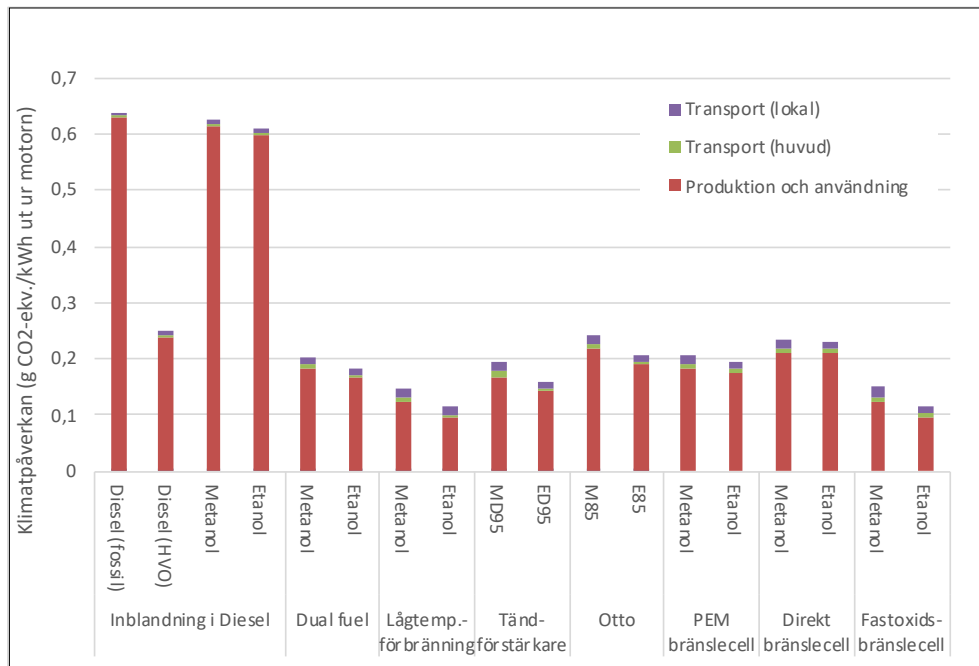
- Att använda alkoholbränslen i Dual fuel-tillämpning reducerar dieselanvändningen med över 50 procent. Diesel behövs för att starta förbränningen, därefter körs maskinen på alkoholer.
- En blandning av 95 procent alkoholer och ungefär fem

procent lättantändliga bränslen kan ersätta diesel helt. Tekniken finns för bussar och lastbilar och kan anpassas för arbetsmaskiner.

- Tändstiftsmotorer/ottomotorer kan drivas helt av alkoholer. Motorerna passar alkoholernas egenskaper och ger, med alkoholer, en verkningsgrad som väl konkurrerar med dieselmotorns.
- Motorer baserade på lågtemperaturförbränning förenar de

bästa egenskaperna hos traditionella bensin- och dieselmotorer: hög verkningsgrad och låga utsläpp av partiklar och NOX. Tekniken måste förfinas för arbetsmaskinernas krävande användningsområden.

- Bränsleceller, särskilt högttemperaturbränsleceller, har en hög verkningsgrad med alkoholer. Denna lösning lämpar sig inte direkt i fordonet, men kan fungera som elgenerator på en mobil laddplats.



ALTERNATIVA TEKNISKA KONCEPT (Omställning från fossila koncept/drivmedel)	TYP AV ARBETSFORDON		
	Skotare	Hjullastare	Traktor
Inblandning i fossil diesel			
Eta nol 5 %, 95 % fossil diesel	0,97	0,78	0,75
Meta nol 3 %, 97 % fossil diesel	1,90	1,10	1,03
HVO 100 %	0,93	0,93	0,92
Lågtemperaturförbränning (PPC/HCCI)			
Eta nol 100 %	1,01	1,17	1,56
Meta nol 100 %	1,22	1,23	1,77
Tändförstärkare			
ED95	1,24	1,41	1,84
MD95	1,49	1,48	2,07

I tabellen visas vad de olika drivmedelsbytena kostar i olika arbetsmaskiner i förhållande till hur många kilo koldioxidekvivalenter som totalt undviks i utsläpp (SEK/kg avlägsnad CO₂-ekv) vid produktion, distribution och användning (Well-to-Wheel).

Drop-in-bränslen från svartlutsdelströmmar

Överbrygning av gapet mellan kort- och långsiktiga teknikspår

SEPTEMBER 2020

Elisabeth Wetterlund och Yawer Jafri,
Luleå tekniska universitet

Erik Furusjö, Sennai Mesfun och Johanna Mossberg,
RISE Research Institutes of Sweden

Christian Hulteberg och Linnéa Kollberg,
SunCarbon

Henrik Rådberg,
Preem

Klaas van der Vlist,
Smurfit Kappa

Roland Mårtensson,
Södra Cell

3

Efterfrågade drop-in-biodrivmedel kan tillverkas med fördelar för massaindustrin

Sedan reduktionsplikten för bensin- och dieselbränslen infördes 2018 är intresset stort för drop-in-bränslen med god växthusgasprestanda. För diesel finns redan etablerade alternativ, särskilt i form av HVO (hydrerade vegetabiliska oljor) från olika restströmmar. För bensin är alternativen däremot betydligt färre.

Drop-in-bränslen som är likvärdiga med fossila drivmedel och därmed kompatibla med dagens fordonsflotta och raffinaderiinfrastruktur är viktiga för att på kort- till medellång sikt minska transportsektorns utsläpp av växthusgaser.

En lämplig råvara är för att tillverka drop-in-bränslen med hög växthusgasprestanda är svartlut, en ligninrik restprodukt från produktion av pappersmassa. Vanligtvis förbränns den i en sodapanna för att återvinna kemikalier och energi. Men svartlut kan också med olika tekniker uppgraderas till drop-in-biodrivmedel som kan blandas med fossila drivmedel.

Om en del av svartluten i stället för att förbrännas plockas ut och blir råvara för drivmedel frigörs återvinningskapacitet i sodapannan och massaproduktionen kan ökas. Det, i kombination med nya intäkter för biodrivmedel, kan ge betydande merintäkter.

Fokus för det här projektet har varit att studera två aktuella teknikspår med möjlighet att integreras i massabruk för att uppgradera svartlut till drop-in-biodrivmedel.

Färre hinder för stegvis förändring

I massabruk som nått sitt kapacitetstak i återvinningen utgör sodapannan en flaskhals. Bruket står då vanligtvis inför en stor investering för utbyggnad av sodapannan, eller en miljardinvestering i en ny panna. Genom att dirigera om 10-20 procent av svartluten till en anläggning för biodrivmedelsproduktion istället, frigörs kapacitet i sodapannan och massaproduktionen kan ökas. En förutsättning för den här produktionen av biodrivmedel är att eventuella andra kapacitetsbegränsade steg åtgärdas på samma sätt som om sodapannan istället hade byggts ut.

Jämfört med mer storskalig biodrivmedelsproduktion

från svartlut minskar den tekniska risken för massabruket när en mindre mängd av råvaran används. Koncept som bygger på stegvis förändring av existerande processer och system har bättre chans att locka investeringskapital än mer omvälvande förändringar.

Aktuella teknikspår

De två produktionsvägarna för uppgradering av svartlut till drop-in-biodrivmedel som vi utvärderade i projektet är ligninseparationsspåret (1) och svartlutsförgasningsspåret (2). Ett antal olika alternativ för ingående steg i produktionsvägarna undersöktes.

- 1) Separation och förvätskning av lignin från svartlut, följt av vätgasbehandling till bensin och diesel, med vätgas producerat genom antingen naturgasreforming (1a) eller vattenelektrolys (1b),
- 2) Svartlutsförgasning följt av metanolsyntes och bensinsyntes via MTG (methanol-to-gasoline) (2a). Tillsats av vätgas från elektrolys till syntesgasen (2b) eller av pyrolysolja till förgasaren (2c) beaktades också, för ökad produktionskala.

Vi har också studerat hur energiprofilen, dvs de specifika förutsättningar och den inriktning som olika bruk har för sin produktion, skulle kunna påverka när teknikerna integreras med massabruk.

Drop-in-bränslen med god ekonomisk och växthusgasprestanda

Resultaten från utvärderingen visar att både ligninseparationsspåret (1) och svartlutsförgasningsspåret (2) kan utgöra attraktiva alternativ för sodapannebegränsade massabruk som vill öka sin massaproduktionskapacitet och samtidigt bredda produktportföljen. Båda teknikerna ger dessutom betydande synergieffekter.

Produktionskostnaderna avgörande för valet av teknik

Från ett biodrivmedelsperspektiv så kan svartlutsdelströmmar användas för att producera drop-in-bränslen med pro-

duktionskostnader på runt 80 EUR/MWh (ca 7-8 SEK/l). Det är likvärdigt med eller till och med bättre än den ekonomiska prestandan för jämförbara drivmedel från skogsresor. De bäst presterande alternativen för ligninseparationsspåret (1a) och svartlutsförgasningsspåret (2a) visade sig ha liknande produktionskostnader.

Med fall 2b och 2c ville vi testa hypotesen att tillsats av en ytterligare insatsråvara i form av vätgas eller pyrolysolja kan förbättra den ekonomiska prestandan för småskaliga svartlutsförgasare för sodapanneavlastning. Men hypotesen kunde inte bevisas, och resultaten är också mycket känsliga för den framtida utvecklingen av pris på pyrolysolja och el, samt kapitalkostnaden för elektrolysörer. Det är betydligt billigare att använda naturgas (1a) än vattenelektrolys (1b) för framställning av vätgas för ligninuppgradering.

Med de höga kapitalkostnaderna för elektrolysörer är det inte sannolikt att teknikspåret 1b blir ekonomiskt konkurrenskraftig i närtid, oavsett hur elpriset utvecklas i framtiden. På längre sikt kan däremot kostnadsminskningar för elektrolysörer, mer tillförlitliga experimentella data för vätgasbehandling av lignin, och ökande krav på växthusgasminskningar komma att påverka hur raffinaderiet gör avvägningen mellan fossil och förnybar vätgas.

Högre teknisk mognadsnivå väntas

Idag har förgasningsspåret den högsta teknikmognadsnivån av de studerade produktionsvägarna, men klyftan mellan dem förväntas krympa inom en snar framtid i takt med att flera viktiga processteg i ligninseparationsspåret genomgår planerad demonstration i industriell skala. Våra resultat för ligninuppgraderingen är osäkra då de, i brist på representativa industriella data, baserats på laboratorietester av ett referenslignin.

Bidraget till utsläppsminskningar varierar

Både ligninseparations- och svartlutsförgasningsspåret ger generellt biodrivmedel med mycket god växthusgasprestanda. Undantaget är när naturgas används för att framställa vätgas för ligninuppgradering (1a). Då når drivmedlets växthusgasprestanda knappt upp till de riktlinjer om 65 procents utsläppsminskning som satts upp i förnybarhetsdirektivet RED II. Det kan också vara ofördelaktigt under det nuvarande svenska kvotpliktssystemet för biodrivmedel som är utformat för att premiera biodrivmedel med hög växthusgasprestanda.

Värdet av synergieffekter

De synergieffekter som kan uppstå av att ett massabruk väljer att integrera något av de utvärderade teknikspåren kan beräknas antingen utifrån den utökade kapaciteten för att återvinna kemikalier och energi eller utifrån den adderade biodrivmedelsproduktionen.

För att kunna skatta värdet av en utökad återvinningskapacitet uppskattades vad den alternativa investeringskostnaden skulle vara för att bygga om den existerande sodapannan så att den skulle få samma ökade återvinningskapacitet som biodrivmedelsproduktionen annars skulle ge. Denna alternativa investeringskostnad subtraherades sedan från den totala investeringskostnaden för biodrivmedelsproduktion. Detta gav därmed en skattning av extrakostnaden i att investera i biodrivmedelsproduktion, jämfört med ombyg-

gnad av sodapannan. På så sätt kunde vi göra en ekonomisk uppskattning av värdet av synergieffekten i att både öka återvinningskapaciteten, och producera biodrivmedel, utan att behöva ta hänsyn till vad som behöver göras i andra delar av massabruket.

Med en låg kostnad för sodapanneombyggnad kan massaproduktionskostnaden sänkas med runt 29–37 EUR per ton massa. Detta motsvarar en ökad bruttomarginal på 15–30 procent för den ökade produktionsvolymen, oavsett teknikspår för biodrivmedelsproduktionen. Med en högre kostnad för ombyggnaden kan motsvarande kostnadsminskning nå 64–82 EUR per ton massa, eller 35–70 procent ökad bruttomarginal. De här siffrorna är oberoende av teknikvalet eftersom kapacitetsökningen i sodapannan som undviks är lika stor för alla teknikspår.

Om värdet av synergin i stället räknades utifrån biodrivmedelsproduktionen (med antagande om att utökningen av massaproduktion görs ändå) är resultatet inte längre detsamma för alla teknikspår. Det beror på att både utbytena från svartlut till drivmedel, och hur stor del av produktionskostnaden för drivmedel som utgörs av kapitalkostnad, skiljer sig åt mellan teknikerna. Minskningen av produktionskostnad för biodrivmedel varierar därför mellan 5 och 23 procent.

Vad styr valet för massabruket?

Ur massabrukets perspektiv vill vi lyfta fram två huvudaspekter som är viktiga att beakta i valet mellan att bygga ut sodapannan eller att börja producera svartlutsbaserade biodrivmedel:

1) Vad skulle ombyggnad av sodapannan kosta?

2) Vad är den nuvarande energisituationen i massabruket?

Energibalansen påverkas

Att integrera biodrivmedelsproduktion från svartlutsdelströmmar påverkar avsevärt brukets energibalans, särskilt vad gäller ångsystemet. Massabruk som för närvarande har ett energiöverskott som exporteras som el har en betydande fördel vad gäller integrationsmöjligheter. Bruk med en biomassapanna (till exempel för eldning av bark) som redan idag är nära kapacitetsgränsen kan behöva investera i extra kapacitet för att möta den ökade efterfrågan från biodrivmedelsproduktionen.

Introduktionen av svartlutsbaserad biodrivmedelsproduktion kommer också påverka andra aspekter av brukets verksamhet. Ligninseparationsspåret är till exempel mindre lämpat för massabruk som är begränsade i indunstningen, medan svartlutsförgasningsspåret är mindre lämpat för bruk som är begränsade i mesaombränningen.

Risk för driftstörningar

Införandet av ytterligare ett processteg (ligninseparation eller förgasning) i återvinningscykeln ökar statistiskt risken för driftstörningar. Risken för påverkan på massaproduktionen anses dock vara begränsad eftersom det finns en buffertkapacitet i form av tankar för både svartlut och återvunna kemikalier. Det tillåter bruket att fortsätta massaproduktionen med full kapacitet under en begränsad tid, så länge som huvuddelen av återvinningen, som görs i sodapannan, är i drift. Vid längre driftsstörningar i de nya processerna kommer massaproduktionen påverkas eftersom det inte går att

hålla uppe full återvinningskapacitet. Detta gäller däremot bara en del av produktionen, motsvarande den del av svartluten som går till ligninseparation eller förgasning. Den del av produktionen som motsvarar svartluten som återvinns i sodapannan påverkas inte.

Rätt aktör på rätt plats

Eftersom efterfrågan på skogsrestsbaserade dropin-alternativ som ersättning för både bensin och diesel förväntas växa i framtiden, kan både ligninseparations- och svartlutsförgasningsspåret utgöra strategiskt intressanta alternativ för betydande minskningar av transportsektorns växthusgasutsläpp. För att detta ska hända krävs dock att inte bara tekniska utmaningar utan också att hinder i form av brist på nyckelaktörer (och relaterade resurser), oklara roller och svaga nätverksstrukturer övervinns.

Biobaserad flexibel produktion av drivmedel i en kombinerad pyrolys- och förgasningsanläggning (BioFlex)

MARS 2021

Efthymios Kantarelis och Klas Engvall,
KTH Kungliga tekniska högskolan

Andrea Toffolo,
Luleå tekniska universitet

Rolf Ljunggren,
Cortus Energy

4

Teknikkombination kan öka utbytet av kol i biomassan

En övergång till ett transportsystem med nettonollutsläpp av koldioxid kommer att kräva 13–24 TWh förnybara flytande drivmedel fram till 2030.

Det skulle kunna levereras på ett effektivt och hållbart sätt genom termokemisk omvandling av rester från skogsbruket, vilket ger en produkt av biogent kol som kan bli råvara för framställning av högvärdiga bränslen.

Det finns två huvudprocesser för termokemisk omvandling av biomassa: pyrolys (termisk nedbrytning av trä) och förgasning (partiell oxidation). Att integrera de här processerna ger flera fördelaktiga synergieffekter. Den främsta är att kolverkningsgraden ökar avsevärt jämfört med vad som kan åstadkommas med enbart direkt förgasning med syrgas. Detta innebär att det går att få ut mer biodrivmedel av samma mängd biomassa.

Mellanprodukt är nyckeln

Den tekniska kombinationen av pyrolys och förgasning förutsätter en gemensam mellanprodukt innan man kan producera flytande bränsle.

En möjlig sådan mellanprodukt är lägre eller lätta olefiner. De kan produceras både från pyrolys och förgasning och effektivt omvandlas till flytande bränsle genom en process som förkortas MOGD, Mobil Olefins to Gasoline and Distillate.

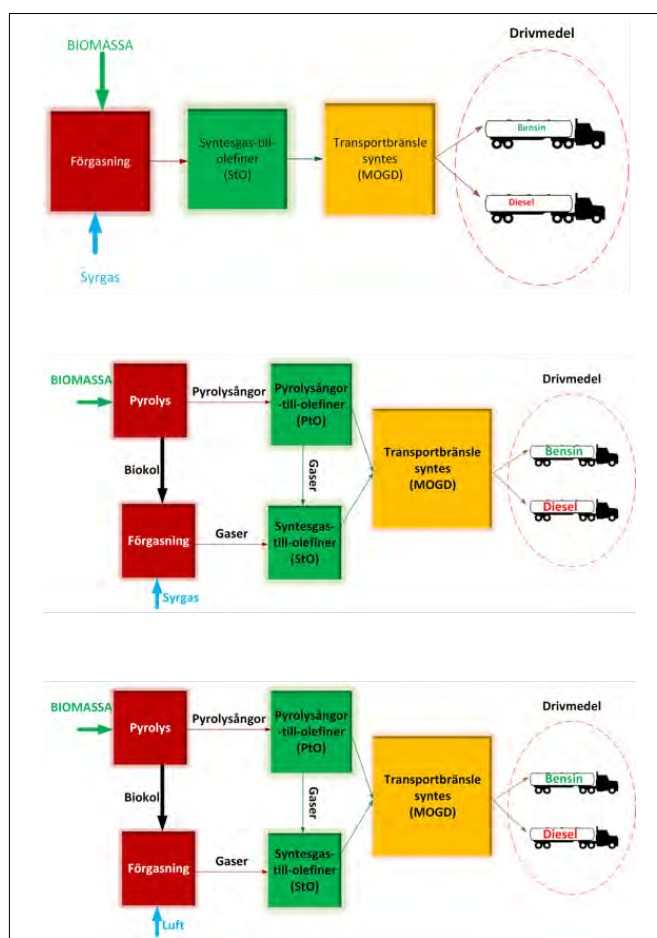
Olefiner är en mycket viktig kemisk råvara och kan också användas i kemiindustrin för tillverkning av andra biobaserade produkter.

I det här projektet analyserades tre alternativa processvägar för produktion av olefiner och efterföljande syntes av flytande bränslen (MOGD).

1. Biomassaförgasning med syrgas och syntes av olefiner från den producerade syntesgasen (referenskoncept)
2. Tvåstegs interagerad termokemisk omvandling av biomassa (pyrolys och förgasning med syrgas), kombinerat med produktion av olefiner både från pyrolysångor och syntesgas

3. Tvåstegs interagerad termokemisk omvandling av biomassa (pyrolys och förgasning med luft), kombinerat med produktion av olefiner både från pyrolysångor och syntesgas.

Kolet i biomassan omvandlas från pyrolysångor och syntesgas till olefiner genom processerna – PtO (Pyrolysångor till Olefiner) och StO (Syngas till Olefiner) och därefter syntetiseras flytande bränslen (se figuren nedan).



Figur över analyserade processkoncepten.

Teknikerna förutsattes användas i små till medelstora anläggningar (5–50 MW biomassavärmevärde), dels för att begränsa kostnader för transport av biomassa, dels för att visa hur lokal utveckling i mindre skala kan gynnas.

Processanalysen visar att kolverkningsgraden är högre om biomassan först pyrolyseras och att den fasta återstoden därefter används för att producera syntesgas (processkoncept 2 och 3). På detta sätt kan både pyrolys- och förgasningsprodukter omvandlas till olefiner och därefter till flytande produkter.

Den integrerade omvandlingsprocessen i processkoncept 3 gör att 39,5 procent av biomassans ursprungliga kol återfinns i de flytande slutprodukterna. Kolverkningsgraden i referensfallet med fristående biomassaförgasningsprocess (processkoncept 1) uppgår till ca 29 procent. Kolverkningsgraden i biomassa som används för produktion av drivmedel och råvaror till kemiindustrin kan alltså öka med dryga 36 procent med den integrerade omvandlingsprocessen.

Huvudsakligen beror den högre kolverkningsgraden på att också den kolmonoxid som bildas vid omvandlingen av pyrolysisprodukter till olefiner, används för ytterligare produktion av olefiner. Det sker när kolmonoxiden kombineras med produktgasen från förgasningsprocessen.

De tekniker som undersöktes i studien äger rum vid anläggningar som är självförsörjande på värme för processerna och flexibla avseende bränsleblandningen, dvs de kan justera vissa driftsförhållanden i reaktorerna för att förändra sammansättningen för det flytande bränsle som ska produceras (bensin eller diesel).

För att kunna syntetisera olefiner från syntesgas, behöver man vätgas i rätt sammansättning i processen (StO i figuren ovan). Detta uppnås genom att omvandla kolmonoxid från syntesgasen till vätgas och koldioxid. Denna omvandling innebär en förlust (i form av koldioxid, CO₂) på mellan 18–27 procent av det kol som finns tillgängligt i biomassan. Tekniken för vätgasproduktion (omvandling av kolmonoxid) möjliggör avskiljning av koldioxid och beroende på de undersökta processkoncepten fångas ungefär 48, 26 respektive 25 procent av det biomassainnehållna kolet för processkoncept 1, 2 och 3.

Kan möta framtida variationer i drivmedelsmixar

En fördel med framställning och användning av olefiner för drivmedel med hjälp av MOGD är att det enkelt går göra anpassningar av processen för att producera de efterfrågade bränsleblandningarna. Det uppnås utan någon annan förändring i processutrustningen eller konfigurationen än ändring av hastigheten på återcirkuleringen av flöden från den andra reaktorn till den första (MOGD består av två reaktorer i serie), eller minskning av trycket.

De potentiella koldioxidbesparingarna från direkt fossilbränslesubstitution för nuvarande och framtida bränslemix kan uppgå till 792,2 kg per ton biomassa som bearbetats för processkoncept 3. Kolverkningsgrad, koldioxidbesparing och produktionskostnader för alla tre koncepten visas i tabellen till höger.

Den förväntade nedgången i efterfrågan på flytande transportbränslen innebär osäkra förutsättningar för både teknik- och marknadsutveckling efter år 2050. De undersökta processkoncepten kan ändå vara lönsamma eftersom

lätta olefiner även har ett annat viktigt användningsområde, nämligen som råvara för kemiindustrin och den tillverkande industrin i produktion av t.ex. förpackningsmaterial, fibrer och beläggningar. På kortare sikt kan de alltså användas i drivmedelsproduktion för att minska koldioxidutsläppen från transportsektorn, och ur ett längre tidsperspektiv kan de användas för att producera gröna material och kemikalier.

De beräknade koldioxidbesparingarna endast för produktion av olefiner som ersätter nuvarande fossilbaserad produktion uppskattas till 194 kg koldioxid per bearbetad ton biomassa.

Kostnaderna är utmaningen

Det mest lovande processkonceptet (koncept 3) indikerar en kapitalinvestering på 1,7 MSEK/fat av flytande produkt per dag, och en total produktionskostnad på 10,34 SEK/liter av flytande produkt för en anläggning i storleksordningen 50 MW. Kolverkningsgraden för olika bränslemixar var nästan identiska (skillnader mindre än 1%). Produktionskostnaderna är höga och åtgärder för att underlätta investeringar bör därför införas.

Så kan teknikerna förbättras

Kolomvandlingen från pyrolysångor och syntesgas till olefiner ligger i närheten av 50–60% för båda processerna PtO och StO (se figuren ovan). Det finns flera sätt att ytterligare förbättra den totala kolverkningsgraden från biomassa till olefiner. Ett sätt är koldioxidomvandling, och annat är utnyttjande av synergier med förnybar vätgasteknik. Det skulle gynna både kolverkningsgraden och processekonomin. Om förnybar vätgas tillförs systemet genom elektrolys, så skulle det totala kolutnyttjandet kunna ökas och närma sig den teoretiska kolverkningsgraden på över 50 procent. En ytterligare fördel med synergier mellan termokemisk omvandling av biomassa och elektrolysteknik för förnybar vätgas är parallellproduktionen av syrgas, som kan användas vid förgasningen. Detta är viktigt eftersom kapitalkostnaderna förknippade med luftseparation för syrgasproduktion och kompression representerar 10–13 procent av den totala kapitalinvesteringen. Framtida kostnadsminskningar i vätgasproduktion från elektrolys kan ge minst 3–5 procents minskning av produktionskostnaderna.

Sammanfattningsvis så möjliggör en produktion av lätta olefiner genom den integrerade termokemisk omvandlingen av biomassa för produktion av flytande bränslen ett mer effektivt och flexibelt utnyttjande av förnybart kol. Vidare så kan synergier med andra av förnybara energikällor ytterligare öka kolanvändningen.

Kolverkningsgrad, potentiella koldioxidbesparingar samt uppskattade produktionskostnader ur tidsperspektiven 2020 respektive 2030.					
	Kolverkningsgrad (%)		Koldioxidbesparingar (kg CO ₂ / ton biomassa)		Produktionskostnader (SEK/l)
	2020	2030	2020	2030	50 MWt
Processkoncept 1	28.60	28.56	427.3	573.0	15.79
Processkoncept 2	38.71	38.62	774.0	774.6	10.96
Processkoncept 3	39.52	39.49	790.5	792.2	10.34

Elektrolysassisterad förgasning av biomassa för drivmedelsproduktion

APRIL 2021

Sennai Asmelash Mesfun,

RISE Research Institutes of Sweden

Andrea Toffolo,

Luleå tekniska universitet

Klas Engvall och Carina Lagergren,

KTH Kungliga tekniska högskolan

Rolf Ljunggren,

Cortus Energy

5

Förgasning kan kombineras med elektrolys för effektivare drivmedelsproduktion

Skogsindustrin i Sverige har idag en produktionskapacitet på 18–19 miljoner kubikmeter sågat trävirke och 9 miljoner ton pappersmassa. I ett typiskt nordiskt sågverk hamnar mer än hälften av timret som levereras i biprodukter, till exempel flis, bark och sågspån. Att nyttiggöra denna restbiomassa som råvara för biobaserade drivmedel skulle kunna täcka en betydande andel av framtida behov, främst inom luftfarten och de marina transporterna. I dessa segment är barriärerna för elektrifiering högre än för landbaserade transporter. För att uppnå en 70-procentig minskning av hela den inhemska transportsektorns utsläpp 2030, och i förlängningen ett fossilfritt samhälle år 2045, behövs alternativ för alla segment.

Förgasning är en strategiskt viktig teknik för omvandling av restbiomassa till biodrivmedel. Innan biodrivmedel kan tillverkas krävs dock att den producerade gasen renas och uppgraderas. Det är en utmaning att konstruera effektiva processer för detta och traditionell teknik är i dagsläget dyr och har en hög initial investeringskostnad. Ur det perspektivet är den mindre attraktiv att använda i anläggningar som inte är storskaliga.

Men det finns ett teknikalternativ som skulle kunna integreras i sågverk för att möjliggöra biodrivmedelsproduktion från verkets biprodukter. Genom att kombinera en förgasningsprocess med elektrolys, där tillförd elektrisk energi hjälper till att driva den kemiska omvandlingen i gasrenings- och uppgraderingsprocesserna, går det att få mer kostnadseffektiva processer även i mindre skala. För att stimulera introduktion av den här processkombinationen behövs dock mer information om integrationsmöjligheter i lämpliga industrier.

Inom projektet utvärderades den tekno-ekonomiska potentialen för produktion av biobaserat jetbränsle via processen Fischer-Tropsch till jetbränsle (FTJ) från biprodukten sågspån i en anläggning integrerad i ett sågverk.

Nordiska typsågverk utgjorde modellen

En rad olika processkonfigurationer för produktion av biojetbränsle utvärderades genom processmodellering på olika nivåer och genom processintegrering i ett sågverk. Den totala produktionskostnaden för biojetbränsle och andra flytande produkter utvärderades för varje enskild processkonfiguration för att möjliggöra en jämförelse mellan de olika fallen.

Sågverkets storlek valdes baserat på en typisk produktion för nordiska anläggningar, vilket är ca 30 MW_{biomassa} sågspånsrester. Storleken användes sedan som grund för skalan på övriga processer i anläggningen för biojetbränsleproduktion, och i relation till övrig energianvändning inom sågverket.

Möjligheterna med MCEC-teknik

MCEC (eng. Molten carbonate electrolysis cell), är en elektrokemisk smältkarbonatelektrolyscell som kan användas för att effektivisera flera steg i produktionen av biodrivmedel genom en integrering i syntesgasproduktionen i en process baserad på biomassaeförgasning.

Den kemiska omvandlingen i en elektrokemisk smältkarbonatelektrolyscell (MCEC) kan förenklat beskrivas som en process där elektroner deltar i kemiska reaktionerna vid två elektroder, en positiv (anod), och en negativ (katod). Vatten och koldioxid matas till katoden där främst vätgas och koloxid bildas. Karbonatjoner transporteras från katoden till anoden och sönderdelas till syrgas och koldioxid.

Vid en integrering av MCEC-tekniken i en gasrenings- och uppgraderingsprocess matas produktgasströmmen från förgasningen av biomassa in i katoden tillsammans med vattenånga och återcirkulerad koldioxid.

Jämfört med traditionell teknik finns det flera möjliga fördelar med MCEC-tekniken vid integrering i en FTJ-process baserad på biomassaeförgasning:

- Den ökar produktionen av syntesgas genom att elektrisk energi tillsammans med vattenånga och koldioxid omvandlas till främst vätgas, men även koloxid vid behov.
- Separationen av koldioxid och syrgas i processen gör att

syrgasen kan avskiljas och direkt användas i den termiska förgasningen. Det gör att dyra processer för separering av syrgas från luft kan undvikas. Då även koldioxid avlägsnas, minskas belastningen på nedströms processteg för koldioxidseparering.

- Den kan användas för att skräddarsy sammansättningen av vätgas och koloxid i syntesgasen före Fischer Tropsch-syntesen och ersätter då den traditionella processen vattengasskift (eng. Water Gas Shift, WGS). Detta gör att den effektiva kolomvandlingen blir högre då vattengasskiftprocessen medför större koldioxidemissioner.
- MCEC-tekniken är en så kallad elkraft-till-gas-process. Det möjliggör en större andel intermittent förnybar elkraft i energisystemet eftersom förnybar elektricitet kan lagras i form av kemiska energibärare.
- Tekniken går att köra också i omvänt läge, det vill säga som en bränslecell (MCFC, eng. Molten carbonate fuel cell). Det innebär att det vid behov även går att producera elektricitet. Tekniken är med andra ord flexibel inför skiftande behov i samhället.
- Tyngre (till exempel tjära) och lättare kolväten (till exempel metan) kan delvis sönderdelas i MCEC-processen, vilket minskar behoven av andra katalytiska delprocesser för sönderdelning av kolväten.

Integrering av MCEC i processer för drivmedelsproduktion

Anläggningen för biojetbränsleproduktion består huvudsakligen av en förgasningsprocess, primär gasrengöring (inkluderar partikelseparation och ett processteg för ångreformerings av metan), en elektrokemisk smältkarbonatelektrolyscell (MCEC-enhet), ett steg för slutlig gasrening (bland annat koldioxidseparering) och slutligen Fischer Tropsch-syntes, i vilken vätgas och koloxid används för att producera olika FT-produkter, till exempel kolväten i form av jetbränsle, bensin, diesel och nafta.

Storleken på biomassaförgasaren anpassades till en bestämd syntesgasproduktion på 20 MW, vilket relaterar till storleken på ett typiskt nordiskt sågverk. Övriga värmebehov i det integrerade systemet tillfredsställdes genom en anpassad drift av en biomassapanna. Den totala kapaciteten på processen beträffande biomassa (inklusive syntesgasproduktion och värmebehov) motsvarar ca 30 MW_{biomass}.

I den här studien studerades åtta olika processkonfigurationer för en MCEC-enhet där tre olika förgasningsalternativ ingick:

- Tvåbäddsförgasare (eng. Dual Fluidized Bed, DFB). Detta är den mest använda tekniken för indirekt förgasning av biomassa; den möjliggör förgasning med enbart ånga i förgasningsreaktorn.
- Bubblande fluidiserad bädd (eng. Bubbling Fluidised Bed, BFB). Teknik där värmebehovet i reaktorn tillgodoses genom direkt förbränning av syrgas i bädden. Ånga används vid produktionen av syntesgas för att öka mängden vätgas i syntesgasen.
- WoodRoll (WR). Teknik som omvandlar biomassa till en relativt ren förnybar gas med ett måttligt behov av gasrengöring, jämfört med förgasningsteknikerna DFB och BFB.

För att uppnå kostnadseffektivitet så studerades varianter av konfigurationerna där två olika alternativ till en ångreformer SMR (eng. Steam methane reformer) för metangas inkluderades, en traditionell SMR och en elektriskt uppvärmd SMR (eSMR). En ångreformer omvandlar metan och högre kolväten i produktgasen från förgasaren till koloxid och vätgas.

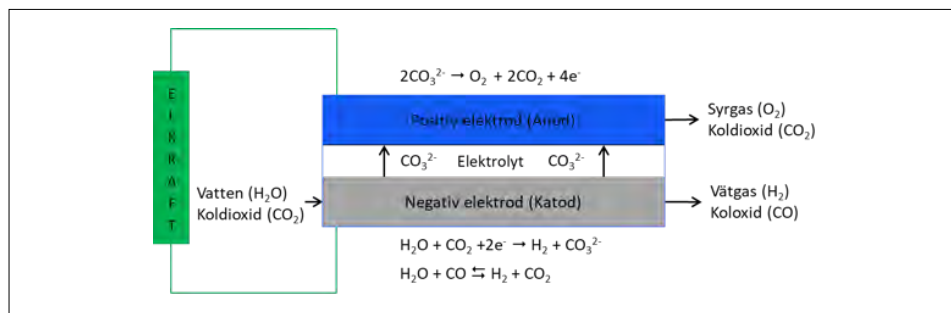
Vad innebär en integrering av MCEC i processer för drivmedelsproduktion?

Resultaten av utvärderingen pekar på tydliga fördelar med MCEC-tekniken jämfört med den traditionella vattengasskiftprocessen. MCEC-tekniken förbättrar utbytet genom en bättre kolomvandlingsgrad, det vill säga mindre av det ursprungliga kolet i restbiomassan går förlorat i processen. Samtidigt möjliggör MCEC-tekniken användning av extern koldioxid i en så kallad ”power-to-X”-process. Detta innebär att potentialen för en introduktion av mer kostnadseffektiva kommersiella FTJ processer i mindre skala ökar väsentligt.

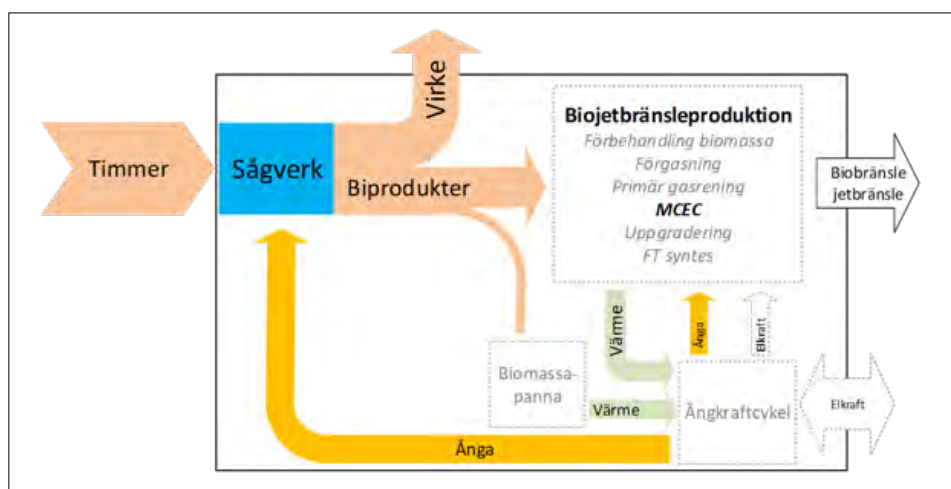
Sammantaget går det att dra följande slutsatser av integreringen av MCEC-teknik i biojetbränsleproduktion vid ett sågverk:

- MCEC-tekniken möjliggör en ökad produktgenomströmning med så mycket som mellan 15–31 procent beroende på processkonfiguration jämfört med den traditionella vattengasskiftprocessen.
- Elektrisk uppvärmning av ångreformen (eSMR) förbättrar det totala utbytet flytande FT-produkter med 9–13 procent jämfört med den traditionella SMR fallet, och så mycket som mellan 15–31 procent jämfört med den traditionella vattengasskiftprocessen.
- Storleken på de utvärderade processkonfigurationerna har en kapacitet på cirka 30 MW_{biomass}, vilket skulle resultera i en produktion av cirka 5–7 kton/år av biojetbränsle och 4–5 kton/år av andra kolväteföreningar såsom nafta och diesel.
- Produktionskostnaden för biojetbränslefraktionen, se diagrammet på sidan 17, hamnar mellan 1700–1800 SEK/MWh för konfigurationen med en traditionell ångreformer (SMR) och 1500–1650 SEK/MWh för konfigurationen med en elektriskt uppvärmd ångreformer (eSMR). Den totala produktionskostnaden utan uppdelning mellan de flytande FT-produkterna (biojet, diesel- och bensinkomponenter) hamnar mellan 1500–1550 respektive 1400–1450 SEK/MWh för SMR- respektive eSMR-konfigurationen. Det placerar dem inom intervallet för de produktionskostnader som presenterades i utredningen Biojet för flyget som utredde styrmedel för att främja användning av biobränsle för flyget.

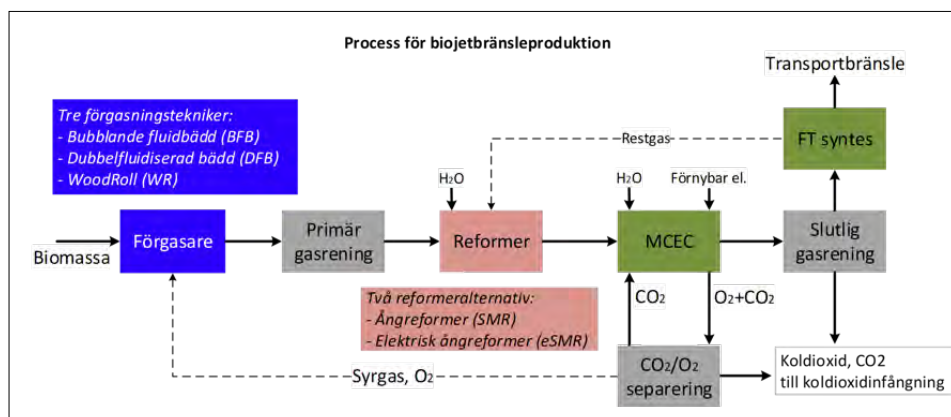
MCEC-tekniken är idag inte kommersiell men är under utveckling. Den bygger på den väl beprövade och kommersiellt introducerade smältkarbonatbränslecellen (MCFC), som idag säljs i enheter av storleksordningen 3 MW för installation i kraftverk (> 60 MWelektricitet) för elproduktion från till exempel naturgas. Utvecklingen av MCEC-tekniken kräver framför allt fortsatta experimentella undersökningar med verklig kontaminerad produktgas producerad från biomassaförgasning för att verifiera modeller och validera funktionen i större skala.



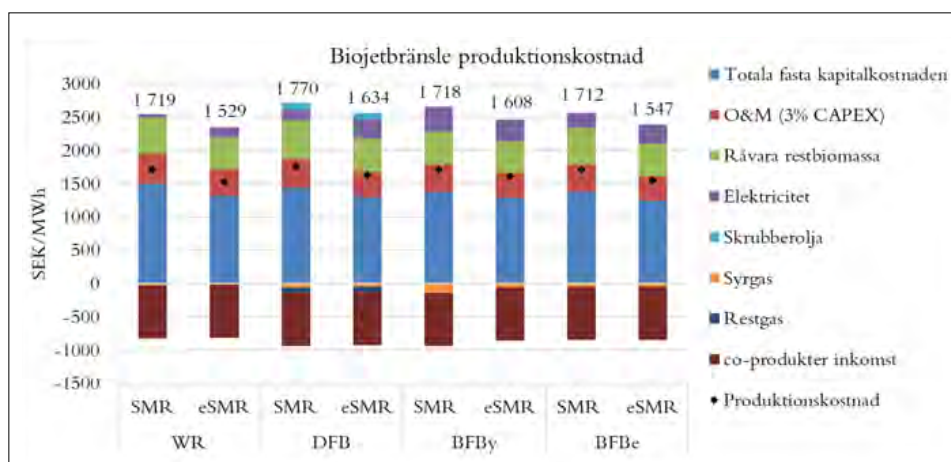
1. Kemisk omvandling i en MCEC-enhet.



2. Flöden av råvara och produkter i ett sågverk där en anläggning för produktion av biojetbränsle integrerats.



3. En översiktlig processbild över de olika konfigurationer som ingick i projektet.



KNOGA – Fossilfri framdrift för tunga långväga godstransporter på väg

Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer

APRIL 2021

Kristina Holmgren, Johanna Takman och Inge Vierth,
VTI Statens väg- och transportforskningsinstitut

Stefan Heyne,
CIT Industriell Energi

Madeleine Ekström och Magnus Fröberg,
Scania

Monica Johansson,
Volvo

Per-Arne Karlsson,
St1 Sverige

Olov Petré,
E.ON



Fossilfria lösningar för framtidens lastbilstransporter

Användningen av förnybar energi i transportsektorn behöver öka för att vi ska nå de svenska klimatmålen om minskade växthusgasutsläpp från inrikes transporterna med 70 procent till 2030, och nettonollutsläpp från samtliga sektorer till 2045. Ökningen av förnybara drivmedel behöver ske i alla segment och över hela fordonsflottan.

Idag används främst diesel som drivmedel för tunga långväga godstransporter på väg men det finns alternativ för fossilfri framdrift.

Denna studie har kvantifierat kostnadsstrukturer och analyserat riskfördelning mellan olika aktörer för fossilfria framdriftstekniker för tunga långväga godstransporter på väg och jämfört dem med alternativet att fortsätta använda diesel som drivmedel.

Följande tekniker är inkluderade i studien: biobränslen (flytande och gasformiga), batterielektriska fordon (BEV), elvägar (tre olika tekniker), vätgasdrivna bränslecellsfordon (H2-FCEV) samt elektrobränslen. Beräkningar görs för år 2030 och 2045.

Från de fem huvudkategorierna för fossilfri framdrift har ett antal representativa motortekniker, bränsleproduktions-tekniker och råvaror valts ut för att analyseras i detalj. Detta har resulterat i ett trettiotal olika fossilfria alternativ till dagens användning av fossil diesel.

Två vanliga lastbilar analyseras

Analyserna gjordes för två typer av lastbilar: HGV40, en tung lastbil med tillåten bruttovikt om max 40 ton som används inom hela Europa, och HGV60, en tung lastbil med tillåten bruttovikt om max 60 ton som står för ca 75 procent av transportarbetet och hälften av energianvändningen för godstransporter som sker med lastbil i Sverige. Förutom i Sverige är HGV60 bara tillåten i ett fåtal andra europeiska länder. Därför benämner studien HGV40 som "standardlastbilen". Genom att inkludera både HGV40 och HGV60 täcker studien största delen av de tonkilometer som körs i Sverige, samtidigt som studien får internationell relevans.

Vad kostar de fossilfria alternativen?

Kostnaderna för de olika framdrivningsteknikerna räknas samman i vad vi har valt att kalla den relativa mobilitetskostnaden. Den relativa mobilitetskostnaden tar hänsyn till investeringskostnader för fordon, kostnader för fordonens service och reparationer, energiförbrukning, energikostnad och kostnad för infrastruktur för distributionen av drivmedel. Studien beräknar den relativa mobilitetskostnaden för det trettiotal alternativ inom de fem fossilfria framdrivningsteknikerna som beskrivs ovan. Den relativa mobilitetskostnaden redovisas med tydlig åtskillnad av bidraget från de olika delarna, enligt figur 1.

Den sammanräknade relativa mobilitetskostnaden anges i SEK/fordonskilometer. Alla kostnader beräknas utan skatter och avgifter. Genom att hålla de olika delarna som ingår i den relativa mobilitetskostnaden separata är det möjligt att se skillnader mellan olika tekniker avseende var tyngdpunkten för kostnaderna ligger.

Kostnadsberäkningarna har gjort det möjligt att rangordna alternativen utan hänsyn tagen till styrmedel. Det går inte att peka ut ett enskilt alternativ som det bästa valet under alla förutsättningar. Det beror bland annat på hur tekniker och energi/bränsleproduktion utvecklas över tid, samt till viss del förutsättningar för enskilda transportutförare.

Inkludering av växthusgasutsläpp

I studien gjordes beräkningar där de olika teknikalternativen belastades med en kostnad för utsläpp av koldioxid för drivmedels- eller energianvändningen i varje specifikt fall. Det visade sig kunna påverka den relativa mobilitetskostnaden och medföra att fler alternativ fick lägre kostnader än dieselreferensen.

Slutligen gjordes en jämförelse avseende enbart växthusgasutsläpp relaterade till de olika teknikalternativen. För samtliga alternativ inkluderades växthusgasutsläppen förknippade med både användningen och produktionen av drivmedlet (eller elen för de elektriskt drivna alternativen). För teknikalternativen med elektrisk framdrivning inkluderades växthusgasutsläppen från batteriproduktionen, och för

elvägsalternativen inkluderades växthusgasutsläppen från nödvändiga infrastrukturförändringar. Denna jämförelse visar att utfallet för de eldrivna alternativen är starkt beroende av växthusgasutsläppen förknippade med produktionen för den el som används.

Den fossilfria standardlastbilen år 2030 och 2045

Beräkningarna av den relativa mobilitetskostnaden för teknikalternativen (se exempel i Figur 2) visar att för standardlastbilen, HGV40, får BEV-alternativen de lägsta relativa mobilitetskostnaderna både år 2030 och 2045. Som de enda fossilfria alternativen har BEV en lägre relativ mobilitetskostnad än en konventionell diesellastbil (dieselreferens), både i tidsperspektivet till 2030 och till 2045. För HGV60 har även ett av elvägsalternativen till 2045 lägre relativ mobilitetskostnad än dieselalternativet.

Ser man till hur kostnaderna för de ingående delarna i den relativa mobilitetskostnaden fördelar sig, är investeringskostnaden för BEV högre än för dieselfordonet, men kostnaden för drivmedel (eller el) och service och reparationer är lägre. De lägre kostnaderna väger upp de högre kostnaderna, inklusive infrastrukturkostnaderna för laddning samt för distribution (elnätskostnad). Depåladdning, det vill säga när batteriet laddas medan fordonet är parkerat i en depå, medför lägre kostnader än snabbaddning utedefter vägarna.

Alternativen som drivs med etanol, DME, metanol, elvägstekniken med skena och alternativet med komprimerad biogas (CBG) där gasen producerats genom rötning av avfall och gödsel, har en relativ mobilitetskostnad som är 4–7 procent högre än densamma för dieselreferensen.

För de flytande biobränslena liknar kostnadsstrukturen den för dieselfallet, med undantag för en något högre distributionskostnad för drivmedlet.

För CBG-alternativet är det framför allt infrastrukturen för distribution och själva distributionen av drivmedlet som är högre jämfört med dieselfallet.

Elvägsalternativen sticker ut med höga investeringskostnader för infrastruktur jämfört med andra kostnader och alternativ. Elvägarnas infrastrukturkostnad beräknad per fordonskilometer är dock mycket osäker. Den beror på utbyggnadsgrad, teknikval och hur stort genomslag tekniken får (hur stor del av de fordon som trafikerar vägen som kan eller väljer att utnyttja tekniken).

Det vätgasdrivna bränslecellsalternativet (H2-FCEV) beräknas få väldigt höga relativa mobilitetskostnader i tidsperspektivet till 2030. I tidsperspektivet till 2045 sjunker kostnaderna och bränslecellsalternativet blir mer konkurrenskraftigt. Det är framför allt fordonskostnader samt kostnader för infrastruktur och drivmedeldistribution som är höga jämfört med andra alternativ.

De relativa mobilitetskostnaderna för elektrobränslena är väldigt höga sett ur bägge tidsperspektiv. Högst är de för de gasformiga elektrobränslena. För samtliga elektrobränslealternativ är det bränsleproduktionskostnaderna som är höga.

Utvärdering med kostnad för växthusgasutsläpp

I studien genomfördes en analys där en kostnad för drivmedlets klimatpåverkan motsvarande dagens nivå för koldioxidskatt (1,17 SEK/kg koldioxidekvivalenter), lades till den

relativa mobilitetskostnaden för varje studerat alternativ. Resultaten visar att betalning för de koldioxidutsläpp som bränsleanvändningen ger upphov till ändrar bilden av vilka fossilfria alternativ för långväga godstransporter på väg som kan bli attraktiva på sikt.

Till 2030 gör kostnadstillägget att den relativa mobilitetskostnaden för en rad fossilfria alternativ blir lägre än för det fossila dieselalternativet: BEV, metanol, DME, ED95, elvägsalternativen med konduktiv överföring (luftledning och skena på väg), RME, HVO, CBG och flytande biogas (LBG) (där gasen producerats genom rötning av gödsel och avfall) samt dieselhybriden. Vid tillägg av en kostnad på 7 SEK/kg koldioxidekvivalenter, den nivå som rekommenderas vid beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet för infrastrukturprojekt, så har samtliga inkluderade alternativ lägre relativ mobilitetskostnad än diesel.

Kostnadstillägget för bränslenas koldioxidutsläpp visar att de relativa mobilitetskostnaderna är mycket känsliga för eventuella skatter och avgifter där hänsyn tas till de olika alternativens växthusgasutsläpp. Det visar på att styrmedel har en viktig roll för de framtida kostnaderna för de olika alternativen.

Kostnadsanalysen visar också att det för flera av teknikerna krävs omfattande investeringar i olika typer av infrastruktur; elvägar, bränsledistribution och -produktion. Flera tekniker står inför marknadsintroduktion och uppskalning i produktionsledet. Även här kan styrmedel användas för att påverka förutsättningarna för vilka tekniker som investerare kan våga satsa på.

Klimatpåverkan från de förnybara systemen

I studien gjordes en jämförelse där avgränsningarna för beräkningar av alternativens klimatpåverkan inkluderar växtgasutsläpp relaterade till bränsle- och energianvändning, batteriproduktion och elvägsinfrastruktur. De resultaten visar att gasfordonen (CBG och LBG) med gnisttänd motor som drivs av biogas som producerats genom rötning har den lägsta klimatpåverkan. Även för LBG-fordonet med den andra motortekniken blir klimatpåverkan med samma bränsle låg. Huruvida elvägsfordonen och batterifordonen placerar sig bättre eller sämre ur klimatsynpunkt än något av dessa fordon, beror på klimatpåverkan av den el som används för framdriften och på hur batteriproduktionen för fordonen kan ske. För att dessa alternativ ska få en lägre klimatpåverkan behöver både elen som används för framdrift samt elen och värmen som används i batteriproduktionen ha producerats med låga växthusgasutsläpp.

Flera av de tekniker som har låga växthusgasutsläpp är starkt beroende av tillgång på el producerad med låga växthusgasutsläpp. Det gäller även för den drivmedelsproduktion som använder mycket el, till exempel vätgas och elektrobränslen.

Växthusgasintensiteten för Sveriges elmix är idag låg, men den påverkas starkt av import och export. Flera av de länder som Sverige importerar från eller exporterar el till, har elmixer med betydligt högre växthusgasintensitet. Trots att det pågår en omställning även i dessa länder blir det viktigt att säkerställa att det i framtiden är möjligt att möta behovet av el (och inte minst eleffekt) med just förnybar el. Om växthusgasintensiteten för elproduktionen antas

vara högre (till exempel som i EU-mix), blir varken BEV eller elvägsfordonen särskilt fördelaktiga ur växthusgassynpunkt; de blir till och med sämre än samtliga biobränslealternativ.

Hinder och risker

För varje fossilfritt teknikalternativ finns ekonomiska, tekniska, miljömässiga och infrastrukturrelaterade risker. Alternativen kan också vara förknippade med olika hinder för olika aktörer.

I studien sammanställdes risker och hinder baserat på kostnadsanalysen och jämförelsen av alternativens växthusgasutsläpp. Här gjordes en litteraturgenomgång av tidigare forskning på området. Dessutom genomfördes en workshop gällande hinder och risker där deltagarna fick svara på frågor om vad de anser är de största riskerna och hindren med olika fossilfria drivmedelsalternativen. Workshopdeltagarna inkluderade aktörer inom långväga godstransporter på väg (exempelvis fordonsägare och transporttjänstleverantörer), tillverkare av fordon, drivmedel och energibärare, distributörer av energibärare, infrastrukturägare och myndighetsrepresentanter.

Sammanställningen visar att för de flytande biodrivmedlen är det framför allt tillgången på hållbar produktion av drivmedel, inklusive råvarutillgång, som ses som ett hinder och en risk, både idag och på sikt. Det finns frågetecken kring hur man skall kunna möta en kraftigt ökad efterfrågan med befintliga råvarubaser.

Även om det redan idag finns både produktion, fordon, och distributionsinfrastruktur för flera av de flytande och gasformiga biodrivmedlen, saknar dock vissa av biobränslen en eller flera av dessa delar. Uppskalning av vissa hållbara produktionstekniker som kräver storskaliga anläggningar har inte kunnat genomföras då investeringen innebär en stor risk eftersom marknaden idag är begränsad och avsakning- en osäker.

För batterielektriska fordon bedöms riskerna som relativt små i alla led. Idag är fordonen dyrare än dieselfordon men priserna på till exempel batterier förväntas sjunka kraftigt över tid till följd av lärandeeffekter när produktionen utökas. Maximal lastvikt och räckvidd för batterielektriska fordon är en aspekt som kan bli ett hinder för vissa applikationer och typer av transportuppdrag. Laddinfrastruktur för tunga fordon saknas till stora delar idag, men i studien bedöms att utbyggnaden kan ske successivt och att risker och kostnader är betydligt lägre än för till exempel elvägsinfrastrukturen.

Förnybar el och infrastruktur är viktigt

Sammanställningen visar att det är tillgång på förnybar el och hållbart producerade batterier som blir en utmaning,

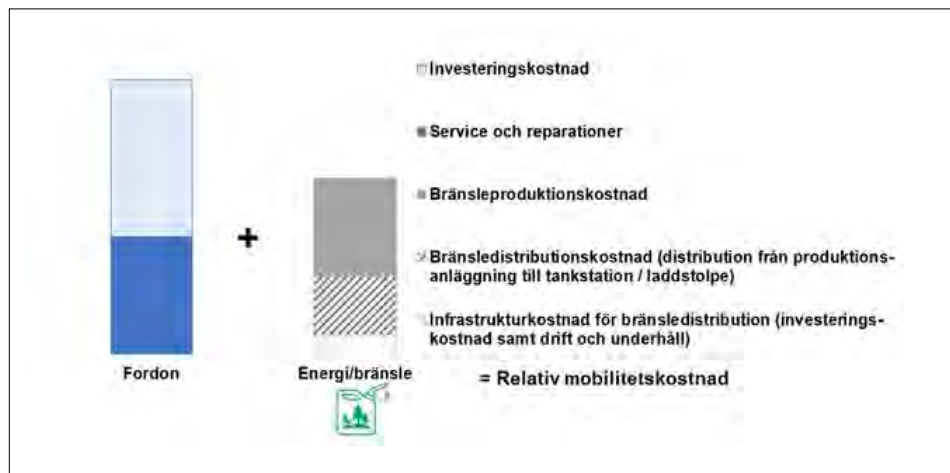
särskilt då efterfrågan ökar även från andra sektorer än de tunga vägtransporterna. Risken för fordonsutvecklare ses som begränsad, men det finns risker gällande materialfrågor i form av framtida tillgång på litium och kobolt till batterierna.

För elvägsalternativen är de stora ekonomiska riskerna framför allt förknippade med infrastrukturinvesteringen, som dock är en förutsättning för att fordon med tekniken ska kunna säljas. Infrastrukturinvesteringen i elväg innebär stora risker eftersom återbetalningen är osäker. Dels kan andra alternativ visa sig vara billigare ur konkurrensperspektiv, dels kan satsningen behöva koordineras med satsningar i andra länder för att göra internationella körningar möjliga. I ett svenskt perspektiv med enbart statliga motorvägar får staten sannolikt stå för investeringen. En successiv elvägsutbyggnad försvåras av att elvägsnätet behöver finnas på plats innan investeringar i fordon kan göras. För elvägar är räckvidden utanför elvägen en begränsning som kan innebära ett hinder. Ett sätt att minska den ekonomiska risken för elvägsalternativen är att välja teknik där fler fordon, inte bara de tunga, har möjlighet att utnyttja vägen. Det finns flera potentiella fordons tekniska och infrastrukturmässiga synergier mellan elvägsalternativen och de batterielektriska alternativen. Elvägsfordonen kommer liksom BEV delvis behöva laddas utanför elvägsnätet, till exempel i depå.

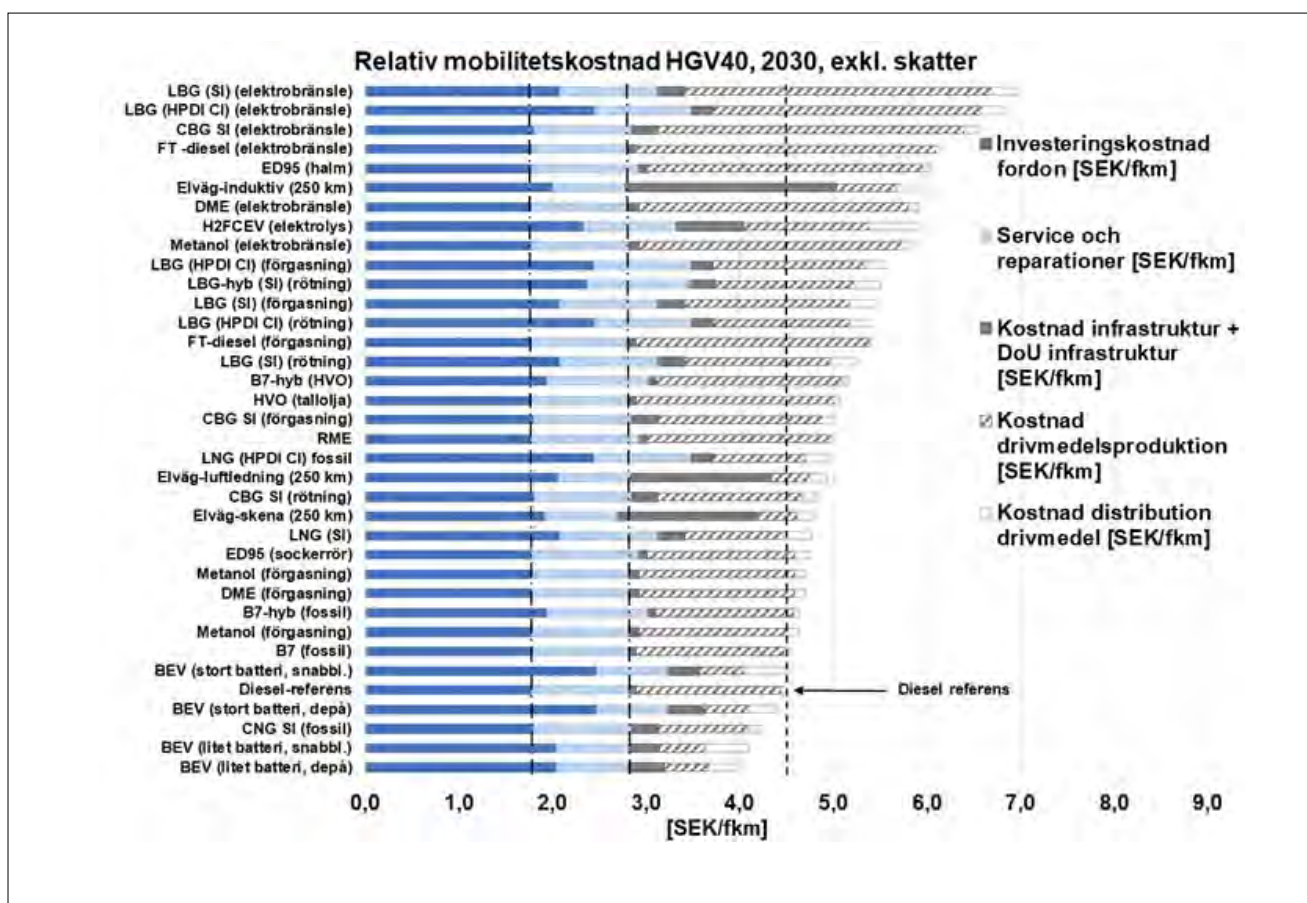
För vätgasdrivna bränslecellsfordon ses höga fordonskostnader till 2030. Bränsleproduktion och infrastruktur behöver komma på plats och priserna för dem behöver sjunka, något som identifierats i EU:s vätgasstrategi. Till 2045, givet att kostnaderna för fordon (bränsleceller och vätgastankar) och bränsle blir lägre, blir denna teknik mer konkurrenskraftig. Men liksom för de andra elektriska drivlinorna är tillgång till förnybar el mycket viktig. En fördel med vätgasdrivna bränslecellsfordon är att de inte har samma räckviddsproblem som batterielektriska fordon. Mer energi kan bäras med fordonet och det går snabbare att fylla på vätgas jämfört med att ladda batterier.

Biodrivmedel, elektrobränslen, batteridrift och vätgasdrivna bränslecellsfordon är alla tekniker som liksom elvägar kräver stora investeringar i bränsleproduktion, laddinfrastruktur och drivmedelsdistribution. Men i fallet med dessa tekniker kan investeringarna göras successivt och delas på fler aktörer än när det gäller elvägar.

Sammantaget finns det viktiga för- och nackdelar med samtliga tekniker. Slutsatsen i studien är att det kommer att vara en palett av tekniker som bidrar till de tunga långväga godstransporternas fossilfria framdrift i framtiden.



Figur 1. Begreppet relativ mobilitetskostnad och dess beståndsdelar.



Figur 2. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 år 2030. Namnen för de olika alternativen indikerar produktionsteknik och råvara för bränslet, motorteknik och laddningsstrategi för elalternativen. De streckade linjerna indikerar nivån av dieselreferensens kostnader för fordonsinvestering, totalen av fordonsinvestering samt service och reparationer respektive den totala relativa mobilitetskostnaden. Utöver dieselreferensen finns B7 (fossil diesel, 7 % bio), B7-hybrid (fossil diesel), CNG PI (fossil), LNG SI (fossil), LNG HPDI (fossil) som också kan ses som fossila referenser för respektive teknik. SI står för spark ignition (gnisttänd motor) och CI står för compression ignition (kompressionständ motorteknik). HPDI står för high pressure direct injection och är ett avancerat dieselmotorsystem med högttrycks direktinsprutning och gemensamt fördelningsrör (common rail).

SunAlfa – Systeminriktad analys av processer för biodrivmedel från skogsråvara

JUNI 2021

Carl Christian Stigsson,
SunBTL/Lunds universitet

Erik Furusjö,
RISE Research Institutes of Sweden

Pål Börjesson,
Lunds universitet

7

Hållbara biodrivmedel kompletterar el och vätgas

Trots den breda satsningen på vätgas och de omfattande satsningar på elektrifiering av transportsektorn som just nu pågår, kommer det under överskådlig framtid finnas ett stort behov av kolbaserade bränslen – som kan vara förnybara eller icke-förnybara – och som kan användas i olika typer av förbränningsmotorer. Delvis förklaras detta av den stora mängd fordon med förbränningsmotorer som fortfarande används globalt, och som kommer ta lång tid att ersätta fullt ut. Det finns också svårigheter att ersätta kolbaserade drivmedel i delar av flyg- och sjöfarten liksom i vissa delar av tung vägtransport, även på lång sikt. I dessa segment har de kolbaserade bränslena en mycket fördelaktig kombination av hög energidensitet och god lagringsbarhet.

I dagsläget är de kolhaltiga bränslena till största delen fossilbaserade, både i Sverige och internationellt. Denna användning är inte hållbar ur ett klimatperspektiv och huvuddelen av oljan och gasen kommer dessutom från ett fåtal länder vilket gör den känslig för störningar.

Riksdagen har beslutat om att Sverige ska ha en fossiloberoende fordonsflotta. Utredningarna Fossilfri fordonsstrafik och Miljömålsberedningen anger mål och strategier för hur denna omställning ska ske. Utsläppen från transporter ska minska med 70 procent till 2030 och därefter är målsättningen att helt ställa om till fossilfri trafik. För att nå målen är en hållbar produktion av biodrivmedel ett nödvändigt komplement till satsningar på el- och vätgas.

En råvaruflexibel process

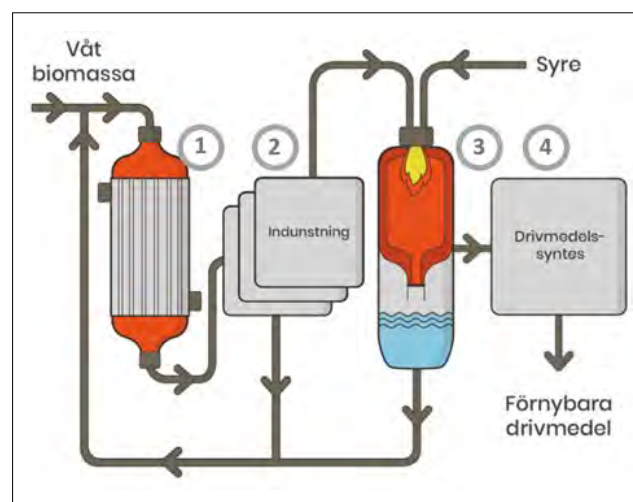
För att på ett önskat sätt kunna komplettera vätgas och el i transportsektorn så måste hållbara förnybara biodrivmedel kunna produceras på ett effektivt sätt och i en kommersiellt relevant skala.

Detta projekt har syftat till att analysera en kemisk process som tar avstamp i hydrotermisk förvätskning (eng. *Hydrothermal liquefaction*, HTL) av skogsbiomassa och efterföljande omvandling till ett vax som med mindre efterbehandling kan upparbetas till högkvalitativa drivmedel.

Processen syftar till att i stor skala kunna omvandla olika slags biomassa med hög inkommande fukthalt på ett effektivt sätt.

Sammanfattningsvis består uppställningen av den analyserade kemiska processen av fyra integrerade delprocesser:

1. Hydrotermisk förvätskning (HTL) – Omvandling av biomassa till en pumpbar bioslurry, dvs en våt slamliknande blandning av fina, fasta partiklar och vätska.
2. Indunstning – Minskning av vätskeinnehåll i bioslurryn.
3. Förgasning – Omvandling av den indunstade bioslurryn till syntesgas/syngas.
4. Fischer-Tropsch-syntes (FT) – Syntesgasen omvandlas till i huvudsak flytande kolväten (FT-vax).

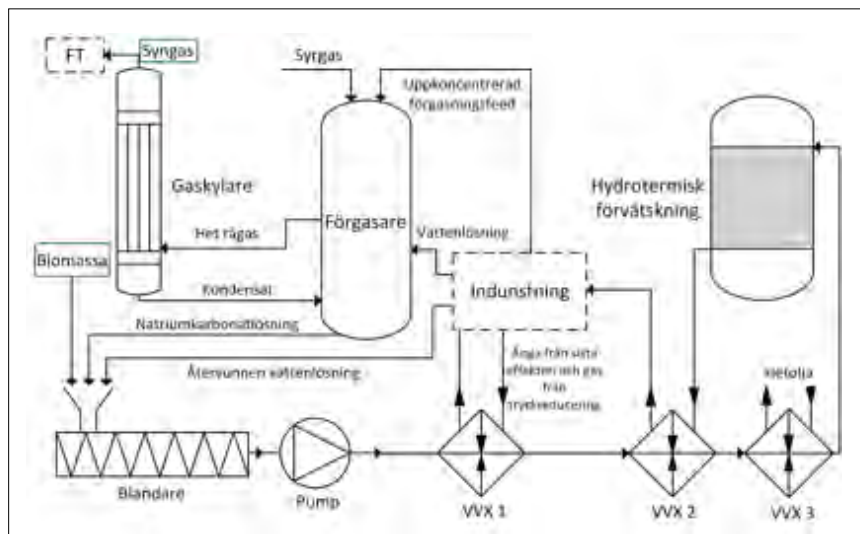


Figur 1: Principiell processuppställning.

De kolväten som bildas under den avslutande FT-syntesen är en utmärkt råvara för upparbetning till flygbränslekomponenter och andra drivmedelsslag i ett petroleumraffinaderi.

HTL - Omvandling av biomassa till flytande form

Råvaran, i detta fall skogsavfall, blandas med alkaliska salter (katalysatorer) som återförs från förgasningsanläggningen. Materialet mals, omblandas intensivt med en vätska/vatten, trycksätts och värms upp innan det matas in i en HTL-reaktor som arbetar vid högt tryck (200 bar) och hög temperatur (över ca 300 °C) under 15 minuter.



Figur 2: Schematisk uppställning av den studerade processen för omvandling av biomassa till syngas.

Skogsavfallet förvätskas därmed och bildar en form av pumpbar bioslurry, där viktförhållandet är fyra delar vatten per del biomassa. Bioslurryn består av en oljefas, vattenlösliga organiska ämnen och fasta partiklar.

Indunstning - Avdrivning av vatten

Vatteninnehållet i den bildade "bioslurryn" behöver minskas till omkring 20–25 viktprocent innan den kan förgasas. För att på ett energieffektivt sätt driva av vattnet utnyttjar processen så kallad flerstegindunstning där vattnet i slurryn kokas av i seriekopplade värmeväxlare. Ju fler indunstningssteg som en process har, desto energisnålare kan den byggas. Valet av antal steg är en avvägning mellan driftskostnader och kapitalkostnader. I den analyserade processen används fem indunstningssteg, vilket är en sedan länge väl beprövad processlösning i massaindustrin. Där används den för att driva av vatten från avlutar, en biprodukt som bildas när träflis kokas till pappersmassa och som sedan vanligen förbränns för energiutvinning.

Förgasning

I förgasningsprocessen omvandlas kolhaltiga material, såsom biomassa, vid hög temperatur till syngas (syntesgas), en blandning av gaserna kolmonoxid och vätgas. Det sker genom att tillföra kontrollerade mängder ånga, syre eller en kombination av dem.

I denna studie används syrgasblåst suspensionsförgasning av biomassa, där bioråvaran matas tillsammans med ett begränsat flöde av syre genom ett brännarmunstycke och bildar en låga med hög lokal temperatur. Omfattande utveckling av denna teknik har tidigare gjorts för förgasning av svartlut (eng. *Black Liquor Gasification, BLG*) samt för pulveriserat trä och torrefierad biomassa. Att använda en

flytande råvara, som bioslurry i detta fall, gör det lättare att implementera en trycksatt process än då pulveriserad biomassa används. Detta har ett antal potentiella fördelar för värmeåtervinning och nedströmsprocesser. En trycksatt process ökar också temperaturen på den överskottsvärme som bildas vilket ger förutsättningar för positiva synergieffekter genom integrering med annan industri.

Tidigare forskning på svartlut har visat att den katalytiska effekten av alkali i svartluten leder till mycket låga koncentrationer av metan och mycket låga halter av tjära vid suspensionsförgasning. I föreliggande studie har därför alkaliska salter tillsatts det undersökta processkonceptet för att ge den här typen av fördelar i både HTL-steget och förgasningssteget.

Förgasningseffektiviteten, dvs energiinnehållet i syntesgasen jämfört med förgasningsråvaran, i detta fall bioslurryn, är 80–85 procent. Ungefär två tredjedelar av den energi som inte återfinns i syntesgasen, dvs ca 10 procent av råvarans energi, kan återvinnas som lågtrycksånga.

Fischer-Tropsch-syntes - Från gas till syntetisk olja

Fischer-Tropsch-processen utvecklades i Tyskland under första halvan av 1900-talet och användes redan då för att framställa syntetiska drivmedel för dieselmotorer i tider av oljebrist.

I syntesen sker en omvandling av kolmonoxid och vätgas till kolväten och vatten med hjälp av en katalysator. Det är vanligt att FT-syntes ger en produkt med långa kolkedjor, t.ex. i form av ett flytande vax där kedjorna kan vara minst 20 kolatomer långa. De kan sedan efterbehandlas för att få rätt längd för att passa framställningen av ett önskat drivmedel.

Syntesgasen från förgasningen innehåller föroreningar, till exempel svavel, som behöver avskiljas innan FT-syntesen. Med den förgasningsprocess som valts i denna studie bildas endast en liten mängd metan i förgasaren, vilket beror på närvaron av katalyserande alkali. FT-reaktorn producerar dock själv en avsevärd mängd metan och andra lätta gaser. De kan återcirkuleras och brytas ned till ny syntesgas för att öka utbytet av flytande FT-produkt.

FT-produkten kan användas för att producera dropin-bränslen. I den process som undersökts specifikt i denna studie var FT-reaktorn kalibrerad att ge en hög andel produkt med kolkedjelängder i fotogenintervallet. Det lämpar sig väl för framställning av dropin-bränslen för flyget.

Svensk skogsråvara ger lågt klimatavtryck

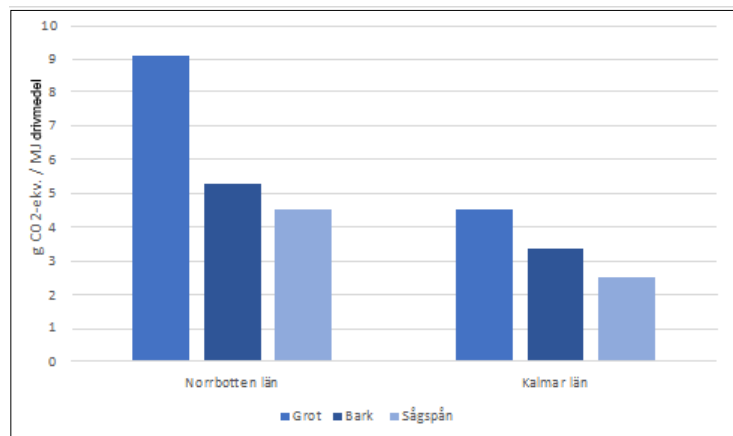
Produktionssystemen som analyserades visar hög klimatprestanda: livscykelutsläppen av växthusgaser är 90–97 procent lägre än de från motsvarande fossilbaserade alternativ.

Livscykelanalysen baseras på den beräkningsmetodik som är fastställd i EU:s Förnybartdirektiv (RED) och som används i beräkningar för svenska styrmedel, till exempel reduktionsplikten.

I livscykelanalysen i studien inkluderas tre råvarukatego-

rier: grenar och toppar (grot), bark samt sågspån. Analysen tog hänsyn till två olika lokaliseringar: Luleå i Norrbottens län respektive Mönsterås i Kalmar län.

I figur 3 visas de olika alternativens livscykelutsläpp av växthusgaser som gram koldioxidekvivalenter (CO_2 -ekv.) per MJ drivmedel. Att grotbaserad produktion i Norrbottens län ger högst livscykelutsläpp (9 gram CO_2 -ekv. per MJ drivmedel) i jämförelse med andra undersökta alternativ beror på förhållandevis längre transportavstånd för råvaran. Lägst växthusgasutsläpp ur livscykelperspektiv blir det av sågspånsbaserad produktion i Kalmar län, 2,5 gram CO_2 -ekv. per MJ drivmedel. Som jämförelse är livscykelutsläppen för motsvarande fossila alternativ ca 90 gram CO_2 -ekv. per MJ drivmedel.



Figur 3. Livscykelutsläpp av växthusgaser, uttryckt som gram koldioxidekvivalenter per MJ drivmedel, baserat på beräkningsmetodiken i EU:s Förnybartdirektiv (RED) för råvarorna grenar och toppar (grot), bark respektive sågspån samt lokalisering i Norrbottens län (Luleå) respektive Kalmar län (Mönsterås).

Beroende på hur stor andel av bruttopotentialen av råvarorna i respektive region som kommer att finnas tillgänglig för en framtida produktionsanläggning, kan växthusgasprestandan variera något beroende på ändrade transportavstånd. Känslighetsanalyser visar att klimatnyttan i vissa fall då kan komma att sjunka till cirka 85 procent. Klimatprestandan kan också bli olika om andra beräkningsmetoder än den som fastställs i RED används. Om beräkningsmetodiken som beskrivs i ISO-standarderna för livscykelanalys används, sjunker framför allt klimatprestandan för grotbaserad produktion till cirka 80 procent.

Betydande investering men möjlighet till lönsam produktion

Investeringskostnaden för den analyserade anläggningen som utifrån 50 ton/h våt biomassa producerar 5 ton/h FT-vax, beräknades till 1 700 miljoner kronor. Den producerade

mängden FT-produkt uppgick till 400 GWh/år, vilket på energibasis motsvarar omkring 20 procent av bränsleförbrukningen i det svenska inrikesflyget.

Driftskostnaderna beräknades till 340 miljoner kronor per år, exklusive kapitalkostnader. Med en antagen avskrivning på 15 år och en ränta på 8 %, erhålls en total produktionskostnad på 537 miljoner kronor. Det motsvarar drygt 1 300 kr/MWh FT-produkt som med högt utbyte kan omvandlas till flygbränsle och andra drivmedelskvaliteter som diesel och bensin. Utifrån dagens och de framöver planerade reduktionspliktsavgifterna för vägtrafik respektive flygtrafik, så ger den framräknade produktionskostnaden möjlighet till lönsam produktion, i synnerhet för flygbränslesegmentet.

Fördelaktig integration med andra industrier

De genomförda beräkningarna visar att den undersökta processen uppnår en total kolverkningsgrad på 32 procent och en energiverkningsgrad på 39 procent. Kolverkningsgraden anger hur stor andel av kolatomerna i den ingående råvaran som återfinns i den utgående produkten. Processens framräknade verkningsgrad ligger i linje med andra förgasningsbaserade FT-processer. Det undersökta konceptets starkaste fördelar bedöms främst vara inom skalbarhet, råvaruflexibilitet och driftssäkerhet.

Flera steg i den studerade processen genererar värme som skulle kunna användas för processer i angränsande industrier. Till exempel finns ett betydande överskott av lågtrycksånga (16,5 MW) som genereras i förgasningsprocessen. Denna ånga, med en temperatur på omkring 130 °C, skulle kunna användas i en massafabrik och då ersätta lågtrycksånga från mottrycksturbinen. Efter förgasaren kyls syntesgasen och i det steget genereras 90-gradigt vatten (2,1 MW) som i många fall också kan användas i en massafabrik som ersättning för lågtrycksånga.

Kylning av produktflödet från FT-reaktorn innehåller också en betydande mängd energi som kan återvinnas. Största delen av denna energi har dock temperaturer under 100 °C. Det minskar potentialen för värmeintegration med en massafabrik men denna temperaturnivå är dock intressant för ett fjärrvärmeverk.

Sammantaget genererar produktionen av 57 MW FT-produkt som studien undersökt, ett värmeöverskott på cirka 25 MW. Att använda den i en massafabrik kan avsevärt förbättra resurseffektiviteten för det undersökta produktionskonceptet. En drivmedelsanläggning baserad på den analyserade processen som samlokaliseras med en skogsindustri eller ett fjärrvärmeverk skulle därmed kunna bidra med betydande mängder hållbara drivmedel för flyg och tunga vägtransporter.

En droppe i tanken eller en ny tank?

En jämförelse av kostnader och klimatprestanda

AUGUSTI 2021

Tomas Lönnqvist och Julia Hansson,
IVL Svenska Miljöinstitutet

Patrik Klintbom, Erik Furusjö och Kristina Holmgren,
RISE Research Institutes of Sweden

8

Vägval för framtidens transportsystem

Biodrivmedel är viktiga för att minska klimatförändringen och utsläppen från transportsektorn. Men vilken roll kan de olika biodrivmedlen spela i framtidens transportsystem?

Det finns två möjliga strategier för Sverige. Antingen blandar vi in biodrivmedel i konventionella fossila bränslen, så kallade dropin-bränslen, och utnyttjar den befintliga infrastrukturen, eller så investerar vi i enmolekylära bränslen som metanol, DME eller metan som dock kräver nya fordon och ny distributionsinfrastruktur.

I den här studien har vi jämfört sammanlagt tolv drivmedel producerade från rester från skogsbruket utifrån deras ekonomiska prestanda, klimatprestanda och resurseffektivitet ur ett svenskt perspektiv. Åtta drivmedel i studien är

dropin-bränslen och fyra är enmolekylära bränslen. Jämförelserna i studien har gjorts för kategorierna lastbilar och personbilar. Vi har också gjort en bedömning av teknikmognadsgraden för drivmedlen. En förenklad överblick ges i tabellen. Den visar vilka drivmedel som ingår i studiens jämförelse, hur de är klassificerade (dropin respektive enmolekylära bränslen) och hur de presterar med avseende på ekonomi, klimat samt resurseffektivitet.

Jämförelse av skogsbiomassabaserade bränsleproduktionsvägarna för lastbilar respektive personbilar. Bedömningen har gjorts i relativ skala (--, -, +, ++) för de inkluderade alternativen, utom för växthusgasprestanda, som bedöms mot hållbarhetskriterier i det uppdaterade direktivet om förnybar energi (med + och ++ förutsatt att en växthusminskningsnivå om minst 65 % nås). Teknisk mognad avser bränsleproduktionen och tar inte hänsyn till fordonsutveckling.

	Total kostnad	Växthusgasprestanda	Resurseffektivitet	Teknisk mognadsgrad (bränsleproduktion)
LASTBILAR				
Enmolekylära bränslen				
Metanol	++	++	+	+
DME	++	++	+	+
Metan - CBG (ottomotor)	+	++	-	+
Metan - LBG (dieselmotor)	+	++	+	+
Metan - LBG (ottomotor)	+	++	-	+
Etanol från cellulos (ED95)	+	+	--	++
Drop-in bränslen				
FT-diesel	+	++	-	+
Biooljabaserad diesel från uppgradering av pyrolysis och vätebehandling	+	+ / ++	+	-
Biooljabaserad diesel från hydropyrolysis	++	+ / ++	+	-
Diesel från förbehandling och uppgradering av lignin	++	+ / ++	++	

	Total kostnad	Växthusgas-prestanda	Resurs-effektivitet	Teknisk mognadsgrad (bränsleproduktion)
PERSONBILAR				
<i>Enmolekylära bränslen</i>				
Metanol	+	++	+	+
DME	+	++	+	+
Metan - CBG	+	++	+	+
Etanol från cellulosa (E85)	-	+	--	++
<i>Drop-in bränslen</i>				
Förgasningsbaserad bensin (MTG)	+	++	-	+
FT-diesel	-	++	-	+
Biooljabaserad diesel från uppgradering av pyrolys och vätebehandling	-	+ / ++	+	-
Biooljabaserad bensin från uppgradering av pyrolys och vätebehandling	+	+ / ++	+	-
Biooljebaserad diesel från hydropyrolys	+	+ / ++	+	-
Biooljebaserad bensin från hydropyrolys	++	+ / ++	+	-
Diesel från förbehandling och uppgradering av lignin	+	+ / ++	++	-
Bensin från förbehandling och uppgradering av lignin	++	+ / ++	++	-

Jämförelsen av drivmedlen i studien visar att det är svårt att peka ut en tydlig vinnare mellan alternativen. Det påverkar också valet av strategi för omställning i olika delar av transportsektorn. För personbilar går elektrifieringen fort och det kan vara att föredra att satsa på drop-in drivmedel som utnyttjar befintlig infrastruktur och fordonspark. För lastbilar kan däremot en satsning på enmolekylära bränslen vara ett alternativ.

Enmolekylära bränslen kan i vissa fall uppvisa bättre prestanda än drop-in-drivmedel när det gäller såväl ekonomi och klimat som resurseffektivitet. Det kan uppväga de initialt högre investeringarna i ny infrastruktur. I denna studie har kostnader för infrastruktur dessutom visat sig utgöra liten del av den totala kostnaden. Detta gäller för samtliga bränslen som analyserats och för både personbilar och lastbilar. Den största kostnaden utgörs av själva fordonet, och drivmedlet utgör den näst största kostnaden.

Olika förutsättningar för distribution

Kostnaden för distributionsinfrastruktur är visserligen högre för enmolekylära bränslen men kostnaden kompenseras av produktionskostnaderna för DME, metanol och metan som är överlägset lägre än produktionskostnaden för drop-in-bränslen.

Att införa nya tekniker är emellertid alltid förenat med kostnader. Olika marknadshinder måste övervinnas innan teknikerna blivit etablerade alternativ. Dessa aspekter har inte beaktats i vår kostnadsanalys. Men nuvarande situation för infrastruktur och drivmedelsdistribution är en viktig faktor som också kan påverka förutsättningarna för olika alternativ i olika länder. Bränsleinfrastruktur för DME och metanol är idag något som saknas i Europa. Eftersom personbilar kräver tätare bränsleinfrastruktur jämfört med lastbilar är det troligt att DME eller metanol som drivmedel först skulle appliceras i lastbilar. De flesta av de bränslena

i vår studie har antingen ett stort nätverk av tankstationer (bensin, diesel, E85) eller ett delvis etablerat nätverk (CBG, LBG, ED95). Övriga studerade drivmedel har ännu inte infrastruktur på plats. För att tanka lastbilar behövs ett relativt lågt antal tankstationer jämfört med bilar. Ett exempel är det BioDME-projekt där fem tankstationer etablerades för att tillgodose behovet av ett litet antal lastbilar som kör långa sträckor i Sverige.

Vid storskalig tillämpning blir bränsleinfrastrukturens del av den totala kostnaden liten, men den kan ändå vara en betydande utmaning i en uppstartsfas, om infrastrukturen inte används fullt ut.

Växthusgasutsläppen minskar med alla studerade alternativ

Växthusgasprestandan är ganska lika för de olika studerade alternativen. Undantagen är etanol samt diesel och bensin producerat från lignin, som visat sig ha något högre utsläpp än de övriga bränslena. För såväl MD95 som ED95 bidrar fossilbaserade bränsletillsatser också till något högre växthusgasutsläpp. Detta kan dock mildras antingen genom motorteknik som tål rena alkoholer eller produktion av biobaserade bränsletillsatser.

Gällande potentialen till växthusgasreduktioner finns det vissa osäkerheter beträffande de tekniker som har låg teknisk mognadsgrad. Alla bränslealternativ som ingår i studien har en potential att bidra till betydande utsläppsminskningar för både bilar och lastbilar, men osäkerheten är större för de vätebehandlingsbaserade bensin- och dieselalternativen. Variationerna är dock större för dessa drivmedel inom kostnads- och resurseffektivitet än de är för växthusgasreduktionspotentialen.

En hög resurseffektivitet kan innebära lägre kostnader för användarna och mer transportarbete per mängd biomassarávara för drivmedelsproduktionen. Ur ett resursperspektiv är

det betydligt effektivare att använda DME eller metanol än FT-biodiesel. En relevant fråga är då om det är värt att offra 30 % resurseffektivitet för att behålla det befintliga fordonet och infrastrukturen jämfört med att investera i den separata infrastrukturen och produktionsanläggningar för DME och metanol.

En annan aspekt på valet är att marknaden för DME och metanol sannolikt kommer att påverkas av ytterligare faktorer, som utvecklingen av alternativa tekniker (till exempel bränsleceller), och elektrifieringen av fordonsflottan.

När det gäller total resurseffektivitet, det vill säga resurseffektivitet längs hela kedjan från biomassa råvara till fordonets hjul, presterar drop-in bränslen väl. Två exempel är bensin och diesel producerade från lignin. De följs tätt av de enmolekylära bränslena metanol, DME och metan i form av CBG (för personbilar), och LBG i dieselmotorer (för lastbilar), samt vissa drop-in-bränslen (övriga vätebehandlingsbaserade bensin- och dieselalternativ).

Teknikutvecklingen är betydelsefull för studiens uppskattningar

För personbilar uppvisar drop-in-bränslen som bensin baserat på lignin samt bensin baserat på hydropyrolys den lägsta kostnaden. Lägre fordonskostnader bidrar generellt till att bensinalternativ rankas bättre än dieselalternativ, trots att dessa har liknande bränslekostnader.

För lastbilar uppvisar metanol och DME (enmolekylära bränslen) samt diesel baserat på förbehandling och uppgradering av lignin och diesel baserat på hydropyrolys (drop-in-bränslen) de lägsta kostnaderna.

Olika typer av bensin finns med som alternativ för personbilar med ottomotorer. Bensin baserat på lignin samt bensin baserat på hydropyrolys visar sig vara lovande alternativ för såväl ekonomi, klimat samt resurseffektivitet, förutsatt att man antar bästa växthusgasprestanda inom det intervall som erhållits i vår analys. Dock är den tekniska mognadsgraden låg för dessa tekniker, vilket innebär att kostnadsuppskattningarna blir osäkra. För de ligninbaserade processerna finns en osäkerhet också gällande växthusgasprestandan eftersom den beror på den slutliga processdesignen och integreringen i raffinaderier.

Nästan lika bra som toppalternativen för personbilar presterar på de tre bedömningskriterierna, är de enmolekylära bränslena metanol, DME och metan (CBG), samt drop-in-bränslena bensin baserat på pyrolys och vätebehandling och diesel baserad på de tre spåren med vätebehandling. Kostnadsskillnaderna mellan alternativen är relativt små men på grund av den låga teknikmognaden för vissa av drop-in-alternativen bör kostnadsuppskattningarna för dem

betraktas som något mer osäkra. E85 och två av elektrobränslena är de enda alternativen med relativt hög teknikmognadsnivå.

För lastbilar finns flera alternativ som presterar väl på de tre bedömningskriterierna ekonomi, klimat och resurseffektivitet; dels de enmolekylära bränslena metanol och DME, dels drop-in-bränslena diesel från lignin och diesel från hydropyrolys. Efter dem följer flytande metan (LBG) i dieselmotorer (enmolekylärt bränsle) och biooljabaserad diesel från uppgradering av pyrolys och vätebehandling (drop-in bränsle). Dock bör man för de biooljabaserade drivmedel beakta den låga teknikmognaden och osäkerheterna för bland annat växthusgasprestanda som detta innebär.

Marknad, teknik och politik i samverkan

Drivmedel som ännu inte finns på marknaden kommer att möta hinder för att nå de volymer där skalfördelarna uppnås (och därmed de kostnader som uppskattas i denna studie). Den nuvarande tekniska mognadsgraden, en nyckelaspekt för denna analys, indikerar också i viss grad osäkerheterna när det gäller kostnadsberäkningar och växthusgasprestanda. Lägre teknisk mognadsgrad för till exempel de vätebehandlingsbaserade bensin- och dieselalternativen innebär mer osäkra uppskattningar.

Den framtida globala användningen kommer också att påverka förutsättningarna för olika alternativ i Sverige. Detta gäller särskilt för DME och metanol som inte används i någon större utsträckning på EU-marknaden. Eftersom fordons- och bränsleproduktionen behöver synkroniseras i tid uppstår en *hönan och ägget*-problematik; det ena är en förutsättning för det andra. Det är troligtvis svårt att införa dessa bränslen utan en samordnad marknadssatsning från flera användningssektorer i olika länder samtidigt. För att ett bränsle ska introduceras på världsmarknaden behöver också olika typer av standarder införas.

Slutligen, vilken strategi som är bäst för Sverige beror också på ett antal faktorer som inte ingått i denna studie, men som behöver inkluderas i framtida arbete. Valet av en ny tank (enmolekylära bränslen) eller drop-in bränslen kan bero på tidsram, sociotekniska aspekter som nuvarande marknadssituation och aktörer, den tekniska utvecklingen av biobränslena (särskilt de med för närvarande låg teknikmognadsgrad) och utveckling av andra alternativ som elfordon och bränslecellsdrivna fordon. Dessutom påverkas valet på samhällsnivå av vilka val som olika industrier gör, eftersom ett nytt bränsle, oavsett dess ekonomiska prestanda, klimatpåverkan och resurseffektivitet, kräver ett samarbete mellan bränsleproducenter, bränsledistributörer, fordonstillverkare och beslutsfattare.

Hållbar HVO-produktionspotential och miljöpåverkan

DECEMBER 2021

Hanna Karlsson Potter, Torun Hammar och Kajsa Henryson,
SLU Sveriges lantbruksuniversitet

Theo Nyberg, Pavinee Nojpanya, Sofia Poulikidou och Julia Hansson,
IVL Svenska Miljöinstitutet

9

Kan inhemska HVO-råvaror ersätta importen?

Det mest använda biodrivmedlet i Sverige idag är Hydrerade Vegetabiliska Oljor, HVO. Det produceras från fettsyror från en mängd olika ursprung. 2019 importerade Sverige hela 95% av råvaran för HVO i form av restprodukter, vilket gör att tillgången bestäms av hur stor efterfrågan är på huvudprodukten.

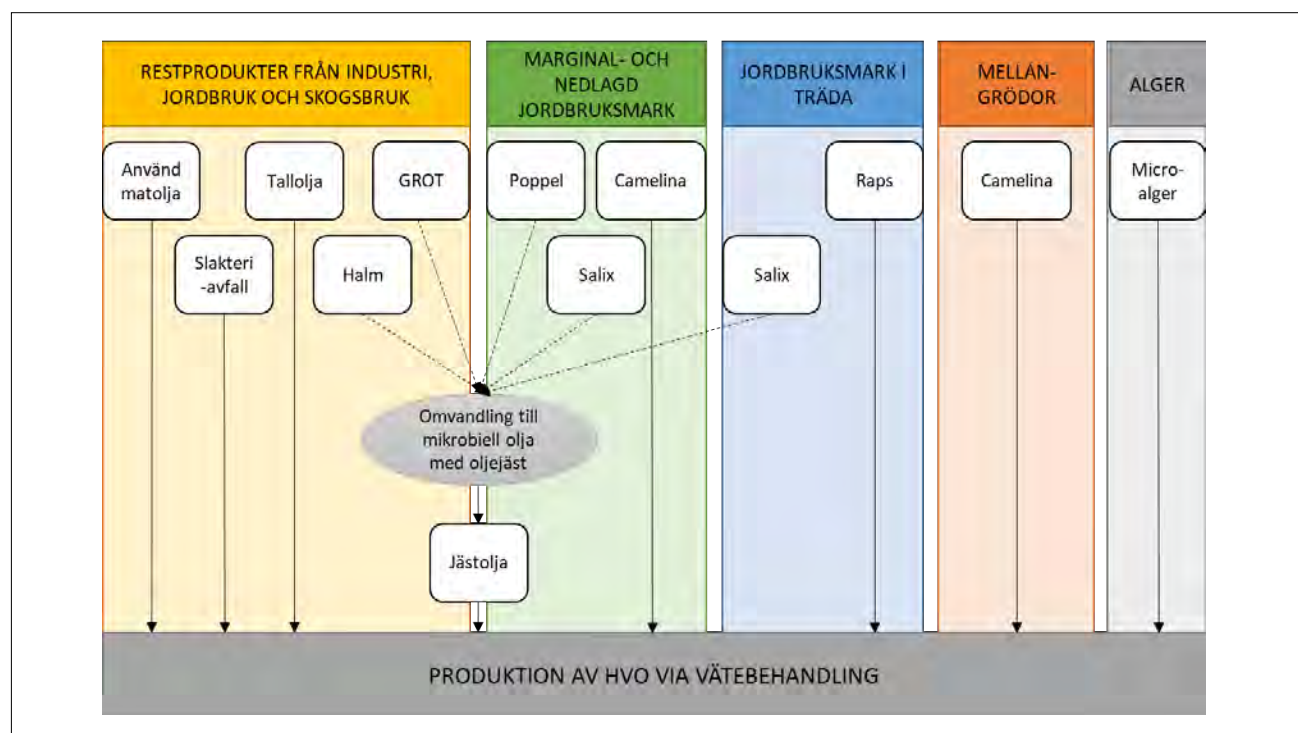
Olika råvaror för produktion av fettsyror/oljor, som i sin tur är råvaran för HVO, lämpar sig för olika produktionssystem. Lignocellulosabaserade råvaror kräver bearbetning i fler steg än andra. Ett exempel är omvandling av GROT till mikrobiell olja med hjälp av oljejäst. Använd matolja och slakteriavfall är exempel på råvaror som inte behöver

samma behandling innan de kan ingå i HVO-produktion. Figur 1 visar förenklat sambanden mellan olika råvaror och tekniska förutsättningar för framställning av fettsyror/oljor ifrån desamma.

Vad figuren också visar är vilka råvaror som valdes ut av oss att ingå i en kartläggning av produktionspotentialen av inhemska alternativ till importerad HVO-råvara.

Baserat på råvarorna och produktionssystemen – Vilka möjligheter har vi att producera HVO i Sverige, av svenska råvaror? Vad skulle vara miljöprestandan för dessa råvaror?

Vi har studerat detta genom att först kartlägga inhemska alternativ till importerad HVO-råvara och därefter analysera klimatpåverkan och tekoekonomisk prestanda för två utvalda råvaror.



Figur 1. Kategorier av råvaror för framställning av fettsyror och efterföljande produktion av HVO som studiens initiala kartläggning har inkluderat.

Dagens inhemska råvaror kan inte fylla behovet

Av de råvaror som idag används till HVO-produktion är den inhemska tillgången liten. Den långsiktiga årliga tekniska potentialen uppskattades till 0,2 TWh för använd matolja, 0,6 TWh för slakteriavfall, 2,7 TWh för rapsolja odlad på mark i träda, och 1,3–2,6 TWh för tallolja.

Utöver de råvaror som används idag analyserades också oljegrödan camelina (oljedådra). Den årliga tekniska potentialen uppskattades till 0,4 TWh i fallet med vintercamelina odlad som mellangröda, och 0,4 TWh när grödan odlas som enskild gröda på marginalmarker.

Dessa potentialer, sammanlagt mellan 5,6–6,9 TWh, kan jämföras med de ungefär 13 TWh HVO och 4,6 TWh FAME (fettsyrametylestrar, i dagligt tal biodiesel) som användes i Sverige 2019¹. Sammanfattningsvis visar studien att det finns utrymme för svenskproducerad råvara i HVO- och FAME-produktionen i Sverige att ersätta delar av den importerade råvaran. Dock ser potentialen för ökad produktion av fettsyror inte ut att kunna möta dagens användning av biobränslen som produceras från fettsyror.

På sikt finns mer att hämta i skogen

Kartläggningen av inhemska alternativa HVO-råvaror visade att tekniker för omvandling av lignocellulosa till fettsyror som kan användas direkt i dagens HVO-produktion hade störst potential på längre sikt (2050). Den årliga ekonomiska potentialen 2050 för HVO-produktion från dessa råvaror uppskattades till 0,3–0,4 TWh för salix och poppel på nedlagd jordbruksmark, 0,7 TWh från halm och 5,7 TWh från grenar och toppar, så kallad GROT. Men den totala energiproduktionen från respektive råvara skulle bli ännu högre eftersom även biogas och elektricitet produceras (se figur 2).

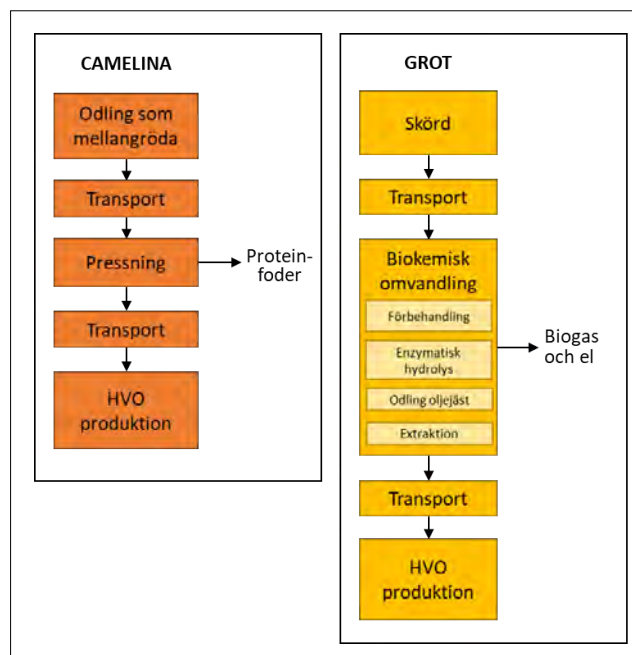
Den teknik för omvandling av lignocellulosa till fettsyror som undersöktes var biokemisk omvandling av lignocellulosa till fett med hjälp av oljejäst, en slags oljeinlagrande jästsvampar. Metoden har ännu inte nått kommersiell status och för att utnyttja de potentialer som beskrivs ovan krävs satsningar i industriell skala.

Camelina och grot som möjliga alternativ

Från resultatet av kartläggningen av svenska potentiella HVO-råvaror gick vi vidare med fördjupande analyser av två intressanta alternativ där klimatprestanda och teknoekonomiska förutsättningar undersöktes närmare.

1. HVO producerad från vintercamelina odlad som mellangröda
2. HVO producerad från GROT som omvandlas till fettsyror med hjälp av oljejäst

Råvarorna och produktionssystemen valdes ut efter diskussioner i forskargruppen och en referensgrupp bestående av drivmedelsproducenter.



Figur 2. Systembeskrivningar av vintercamelina odlad som mellangröda och vidare förädling till HVO (vänster), samt GROT som via biokemisk omvandling kan vidareförädlas till HVO (höger).

Vintercamelina odlad som mellangröda valdes trots en förhållandevis låg uppskattad potential. Skälet är att odling av en mellangröda kan öka produktionen från jordbruksmark samt medföra positiva effekter såsom minskad erosion. Dessutom innebär vintercamelinas tidiga blomning på våren fördelar för pollinerare.

GROT valdes dels på grund av sin höga råvarupotential, dels för att den är en relativt billig råvara. En förutsättning för utnyttjande är dock mognadsnivån för tekniken med mikrobiell jäst som beskrivits ovan.

Men de båda utvalda systemen kan också medföra negativa effekter på miljön. Camelina behöver en mängd insatsmedel såsom gödsel och energi för fältoperationer. Biokemisk omvandling av GROT kräver även det insatsmedel. En ökad skörd av GROT påverkar mängden kol som lagras i död biomassa och marken i skogen, vilket i senare led påverkar det producerade bränslets klimatprestanda.

Råvarukostnad och inkomst från biprodukter avgör priset

Den beräknade kostnaden för att producera camelinaolja var 5 SEK/l och motsvarande kostnad för GROT-oljan var 10 SEK/l. Råvarupriserna och produktionskapaciteten påverkade i hög grad kostnaden. Andra viktiga aspekter var marknadspotentialen för och försäljningspriset på biprodukterna som el eller biogas i fallet med mikrobiell olja från GROT.

För att beräkna den totala kostnaden för oljan som senare kommer att användas i HVO-processen tog vi hänsyn till investeringskostnad (CAPEX), driftskostnad (OPEX) och intäkter från biprodukter. Vidare förädling till HVO inkluderades inte i den teknoekonomiska bedömningen eftersom denna förädling antogs vara liknande för båda oljorna.

Bättre klimatprestanda än fossila bränslen

För HVO producerat från camelinaolja respektive GROT-olja beräknade vi klimatprestanda med två olika metoder: enligt förnybartdirektivet² (RED-metoden) och enligt ISO-standard för LCA³, livscykelanalys (ISO-metoden).

Resultaten av beräkningarna enligt RED-metoden visade att HVO producerat från camelinaolja har potential att reducera klimatpåverkan (koldioxidutsläpp) med 90 % jämfört med en fossil referens, om effekten av en ökad markkolinlagring inkluderades. Utan inkludering av markkolinlagring blev reduktionen 72 % (Figur 3).

För HVO producerat från GROT-olja var minskningspotentialen 82 % beräknat enligt RED-metoden.

Beräkning av klimatpåverkan enligt ISO-metoden inkluderade både förändringar i markkollager och biogena kollager för båda systemen (camelinaolja- respektive GROT-oljeproduktion), och använde systemexpansion där biprodukterna antas ersätta jämförbara produkter på andra marknader. Substitutionseffekten från biprodukterna gjorde att båda systemen resulterade i betydande reduktionspotential jämfört med den fossila referensen (Figur 3). Odlingen av camelina resulterade i en ökad mängd markkol jämfört med ett system där ingen mellangröda odlas. Skörd av GROT minskade däremot mängden kol i skogen, jämfört med om toppar och grenar hade lämnats kvar. Skillnaden i förändringar av markkol och biogena kollager för de båda systemen uppskattades i ett tidsperspektiv på 100 år för camelina och 90 år för GROT för att motsvara en rotationsperiod för skogsbruk i Mellansverige.

Klimatet påverkas av förändringar i biogena kollager över tid

Vi analyserade klimatpåverkan över tid med metoden Absolute Global Temperature Change Potential (AGTP) som ger ett mått på potentiellt bidrag till temperaturförändring. Analysen visade att camelinaoljebaserad HVO bidrar mindre till temperaturhöjning än den fossila referensen gör. Analysen visar en omedelbar klimatvinst för camelinaoljebaserad HVO som beror på att introduktionen av en mellangröda tillför biomassa, vilket ökar mängden kol som lagras i marken (Figur 4).

I figur 5 syns hur HVO producerat från GROT-olja i ett 30-årsperspektiv gav högre klimatpåverkan än fossilreferensen (analys ur skogsbeståndsperspektiv, inte med effekter på ett helt landskap). Den biogena kolförändringen visar hur skörd av GROT för att använda den som bioenergi innebär ett utsläpp av kolet i biomassan i form av koldioxid. I referensfallet har GROT lämnats kvar i skogen. Skillnaden mellan utsläpp till följd av skördad respektive kvarlämnad GROT blir mindre över tid eftersom GROT i skogen förmultnar och koldioxid släpps ut långsamt. Tillväxten av skogen påverkar inte denna analys eftersom tillväxt av ny biomassa i den växande skogen sker även i referensfallet.

Effekter på biodiversitet och näringscykler

I studien lyfte vi respektive produktionssystemers miljöpåverkan utöver klimatpåverkan i en kvalitativ diskussion.

Odling av vintercamelina som mellangröda kan förknippas med flera positiva miljöaspekter. En är positiv påverkan på biodiversitet, både vad gäller bidraget till en större va-

riation av grödor i odlingssystemet, och att den kan gynna pollinerare eftersom den blommar tidigt på våren. Ökning av markkol ger en inlagring av kol vilket är positivt ur klimatsynpunkt, men ökad markkol är även önskvärt också för långsiktig produktivitet i jordbruket och ökad biodiversitet i marken.

Negativa effekter av vintercamelina innefattar bland annat risk att odlingen påverkar sådden och etableringen av huvudgrödan som sås efter camelina. Vidare kan camelina behöva tillförsel av växtnäring vilket innebär en ökad risk för näringsläckage.

Vad gäller miljöpåverkan av ett ökat uttag av GROT kan det innebära ett intensifierat skogsbruk som i sin tur får konsekvenser som läckage av tungmetaller, ökade försurande utsläpp och negativ påverkan på biodiversitet. Speciellt för skörd av GROT är att toppar och grenar är särskilt näringsrika delar av trädet, och med ett ökat uttag av GROT finns farhågor att den långsiktiga tillväxten av skogen påverkas. Detta kan delvis kompenseras för genom askåterföring och eventuell kvävegödsling. Att öka uttaget av GROT resulterar i mindre mängd död ved i landskapet vilket påverkar biodiversiteten negativt.

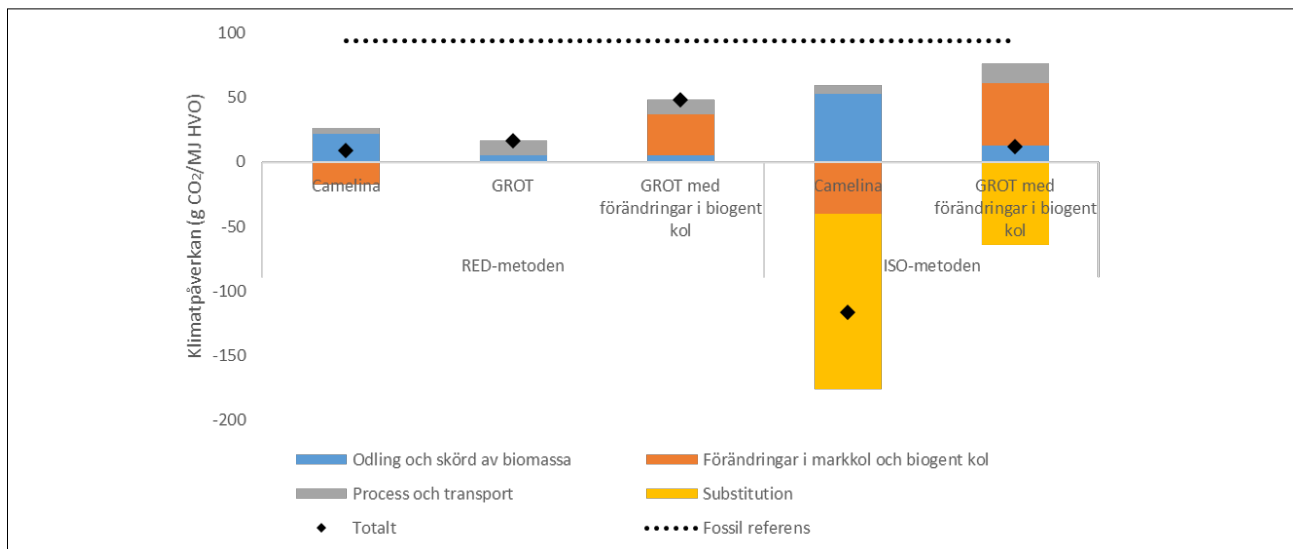
Lägre kostnad och fler miljövinster med HVO från camelina

Studien visar att både camelina-HVO och GROT-HVO kan produceras med relativt låga klimatpåverkande utsläpp från odling, skörd och omvandling till HVO, men förändringar i biogena kollager är viktiga att beakta då dessa kan ha stor betydelse för systemets klimatpåverkan.

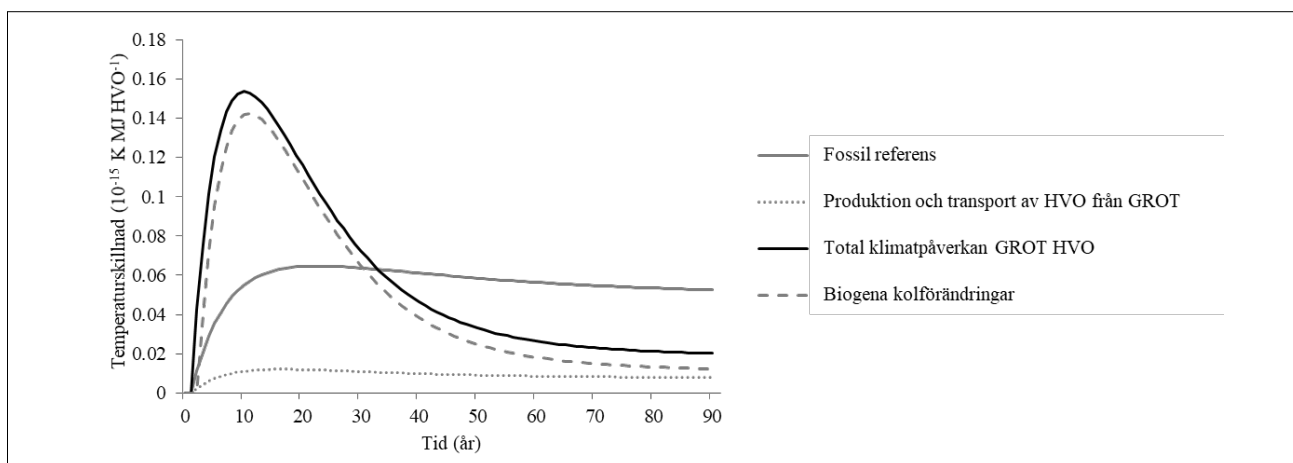
Trots den relativt låga potentialen som studiens inledande råvarukartläggning visade, är HVO från camelinaolja intressant ur både ekonomiska och miljömässiga perspektiv. Grödan kan öka produktionen från befintliga jordbrukssystem och också bidra till ökad biodiversitet och ökad markkol. Camelina är dock en obeprövad gröda i Sverige, och det behövs fler studier av grödans lämplighet för svenska jordbrukssystem och klimat, samt av i vilka typer av växtföljder den kunna skulle passa och vilka effekterna blir på efterföljande gröda. Framför allt skulle påverkan på rapsodling och växtföljdseffekter i samband med det behöva analyseras.

När det gäller ökat uttag av GROT för framställning av HVO-råvara till drivmedel riskerar det att minska mängden lagrad kol i biomassa och mark vilket är avgörande för det producerade drivmedlets klimatprestanda. För att öka kunskapen om dessa samband behövs vidare analys på hela skogens system över större områden och studier som inkluderar effektiv användning av alla skogens produkter samt substitutionseffekter. Mikrobiell olja från lignocellulosa, det vill säga råvara till HVO, kan produceras från flera olika lignocellulosa material. Ur klimatperspektiv är det speciellt intressant med produktionssystem som kan bidra till en ökad inbindning av kol i mark och biomassa. Exempel på det är odling av salix eller poppel på nedlagd odlingsmark.

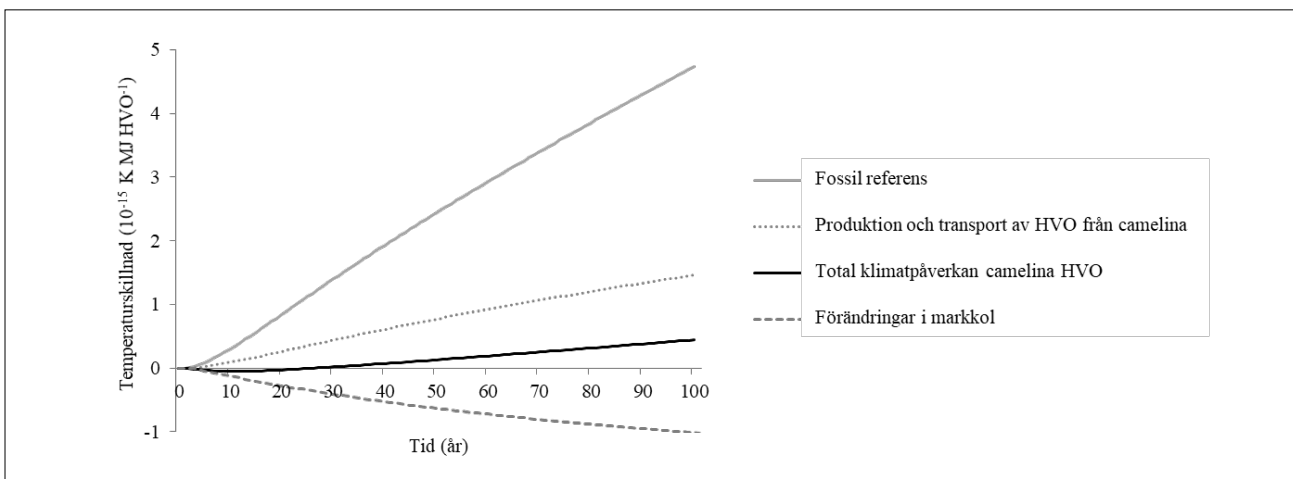
Sammanfattningsvis visar denna studie på nulägespotential och framtida möjligheter för en ökad HVO-produktion från inhemska råvaror. Vidare så har studien ökat kunskapen om utvalda råvarors miljöpåverkan och teknoeconomiska förutsättningar.



Figur 3. Klimatpåverkan för HVO som produceras från camelinaolja respektive GROT-olja beräknat med RED-metoden och ISO-metoden. ISO-metoden inkluderar effekter på biogena kollager för båda systemen och hanterar biprodukter med systemexpansion.



Figur 4. Klimatpåverkan visat som potentiellt bidrag till temperaturförändring över 100 år för vinter-camelina odlad som mellangröda och vidare förädling till HVO.



Figur 5. Klimatpåverkan visat som potentiellt bidrag till temperaturförändring över 90 år för GROT-olja som vidareförädlas till HVO.

¹ Drivmedel 2019. Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten. Statens energimyndighet oktober 2020, ER 2020:26.

² Renewable Energy Directive II (RED II).

³ Metod 2 följer standarderna Miljöledning – Livscykelanalys – Principer och struktur (ISO 14040:2006) och Miljöledning – Livscykelanalys – Krav och vägledning (ISO 14044:2006).

El- och bränslecellsdrift inom massgodstransporter i städer och tätorter

Analys av systemupplägg

DECEMBER 2021

Ingrid Nordmark,
TFK – TransportForsk

10

Fossilfria massgodstransporter med el och bränsleceller

Hur passar batterielektriska fordon och fordon med vätgasdrivna bränsleceller in när transporter av jord, sten, sand, grus och schaktmassor, dvs. massgods, i städer och tätorter ska bli fossilfria?

För att svara på frågan har det här projektet överblickat tillgängliga fordonsalternativ, undersökt klimatpåverkan och ekonomi för olika tillämpningar, analyserat viktiga aspekter för framtiden och frågat hur transportutövarna själva ställer sig till utvecklingen.

Det finns ett stort behov av att klargöra hur prestanda, energiförbrukningen, klimatpåverkan och de ekonomiska förutsättningarna ser ut för de elektrifierade drivlinorna.

Teknikläget idag

De senaste åren har utvecklingen av el- och bränslecellsdrivna tyngre lastbilar verkligen tagit fart. Kommersialisering har kommit längre för batterielektriska än för bränslecellsdrivna lastbilar. Redan nu finns ett antal modeller av lastbilar på marknaden som kan passa till massgodstransporter, och flera är på väg. Det är också möjligt att konvertera nya eller begagnade fordon med förbränningsmotorer till helelektrisk drift. Bränslecellsutrustade tyngre lastbilar har bra förutsättningar att klara tunga transporter. Jämfört med batterielektriska fordon kan de ta ombord större energi-

mängder i form av vätgas, utan att i högre grad påverka fordonens maximala lastvikt.

Den kartläggning av teknikläget som utförts inom denna studie visar att det finns ett tiotal lastbilsmodeller försedda med bränsleceller som är på väg ut på marknaden. I figuren på sidan 33 har ett antal eldrivna tunga lastbilsars totalvikt och räckvidder sammanställts för att ge en överblick.

Den fordonstillverkare som i dagsläget kommit längst i kommersialiseringen av vätgasdrivna lastbilar är Hyundai. 45 exemplar av modellen XCIENT Fuel Cell utför transportuppdrag åt olika aktörer i Schweiz. Till år 2023 och 2025 avser är det flera tillverkare som avser vara i produktion av bränslecellsdrivna lastbilar.

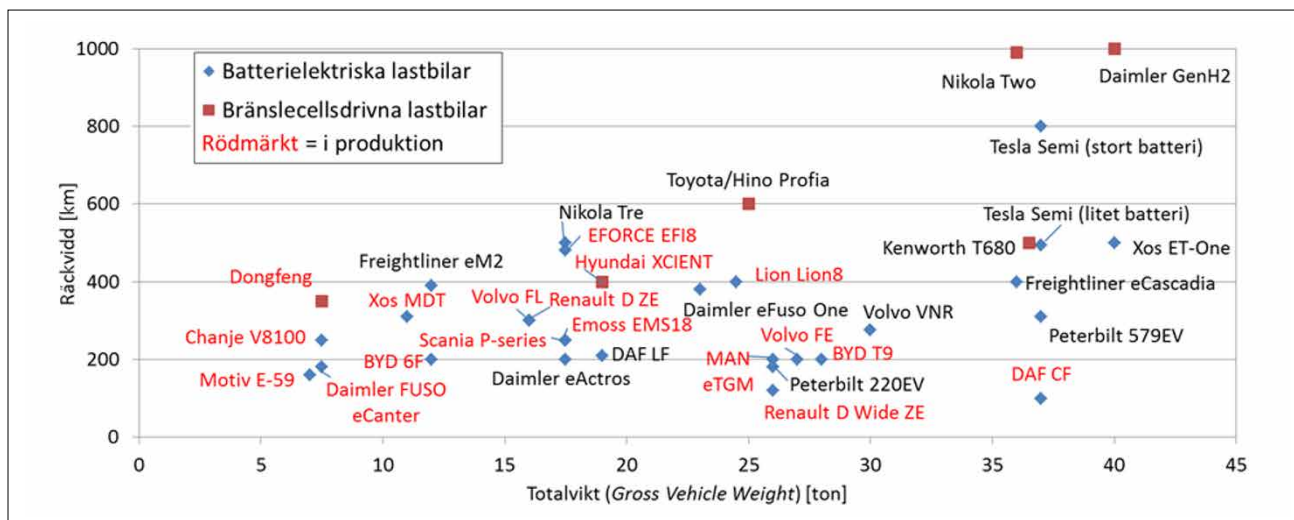
Lägre utsläpp och bättre ekonomi

Fordon med alternativa drivmedel eller energilager, som vätgasdrivna bränsleceller och batterier, ger lägre växthusgasutsläpp, energikostnader och i flera fall lägre energiförbrukning än konventionella dieselfordon. Det visar en syntes av kunskap och erfarenheter från några utvalda tidigare studier på området², som vi kompletterat med resultat från en ny fallstudie. Alla ingående studier i syntesen gäller tunga massgodstransportuppdrag i tätortsmiljö, specifikt Stockholm.

Syntesen visar att batterielektriska fordon med eller utan anslutning till elväg teoretiskt sett ger bra värden utifrån såväl energimässiga, miljömässiga som ekonomiska aspek-



Diesellastbil för massgodstransport (till vänster) och lastbil från Hyundai utrustad med bränsleceller (till höger).



Sammanställning av marknadsläget i världen för eldrivna lastbilar baserat på driftsätt (blå punkt = batterielektrisk drift; röd punkt = bränsleceller med vätgasdrift), räckvidd och bruttovikt. (Figuren är baserad på Wyatt och Gear, 2020¹)

ter. För tunga transporter var lastkapaciteten (kvantifierad i lastvikt) betydelsefull. Den kan påverka klimatvinster och ekonomiska aspekter.

I fallstudierna var energiförbrukningen 0–40 % högre för fordon med bränsleceller jämfört med diesel/HVO-drift. För batterielektriska lastbilar minskade energiförbrukningen med 8–55 %, beroende på vilken räckvidd som batterierna hade dimensionerats utifrån, jämfört med diesel/HVO-drift. För batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg minskade energiförbrukningen ned till ungefär hälften jämfört med diesel/HVO.

Växthusgasutsläppen minskade i alla fallstudier och alla typer av fordon med 82–92 % jämfört med diesel. Emissionsparametrar som använts i studien speglar genomsnittliga växthusgasutsläpp från diesel, HVO och el i Sverige (i ett livscykelperspektiv), vilket innebär att resultaten inte kan generaliseras direkt för länder/områden som har högre andel el med fossilt ursprung i sin elmix.

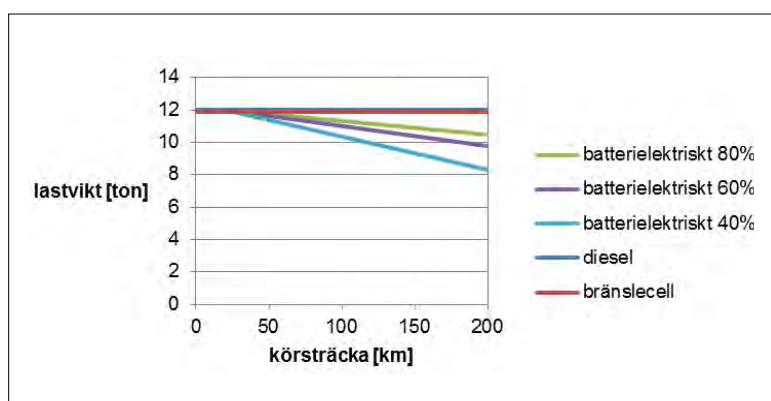
Elalternativen i fallstudierna som ingått i syntesen ser lovande ut ur flera aspekter. Dock finns det några osäkerheter gällande alternativet med batteridrift som rör batterivikt, lastvikt och laddning. Kommer batterivikten att kunna hållas så pass låg framöver att lastvikten inte minskas avsevärt? Utvecklingen av batterier har gått snabbt de senaste åren, men hur det ser ut i framtiden är svårt att förutse. Avseende laddning finns frågor som framför allt rör hur laddning ska hinnas med när bilarna är i rörelse stor del av tiden och gör få stillastående pauser. Ökade laddeffekter och effektivare batterier kan vara dellösningar på detta, men även system med utbytbara batterier är intressanta att titta närmare på.

Lastvikten är en viktig och styrande parameter

Idag utgör massgods över 50 % av den transporterade godsmängden i Stockholms län. Massgodstransporternas ofta höga bruttovikter gör det svårt att implementera batterielek-

triska system eftersom ökad batterivikt minskar fordonens lastkapacitet.

I hälften av fallen i vår studie påverkar batterivikten så pass mycket att lastvikten minskar, och det redan vid en batterikapacitet som dimensioneras enbart för en körning tur och retur. För de tyngsta transporterna i fallstudierna kan det handla om att lastvikt som minskar med 10–15% beroende på hur batterierna är dimensionerade. Sträckorna som lastbilarna används på kan i vissa större projekt vara lika över längre tid, men det är vanligt att sträckornas längd varierar och att uppdrag för enskilda fordon med kort varsel kan ändras. Det gör det svårt att dimensionera batterierna. I figuren nedan syns hur lastvikten kan minska med ökad räckvidd på batterierna.



Förändring av lastvikt i fallstudie med masstransporter från bygge av avloppstunnel, påslag Åkeshov.

Nuvarande och framtida energinfrastruktur

Idag finns få publika laddstationer och vätgastankstationer för lastbilar i Sverige. Men här, såväl som i EU och andra länder och regioner, har visioner, strategier och färdplaner för användning av vätgas tagits fram. Satsningar på vätgaskorridorer mellan länder och regioner med ett flertal strategiskt utplacerade tankstationer längs vältrafikerade korridorer

rer har inletts. Ett exempel på det är EU-projektet Nordic Hydrogen Corridor. Utbyggnaden av infrastruktur för vätgas underlättas också av etableringsplaner från företag som till exempel Everfuel.

Var och hur tillverkningen av grön vätgas ska, kan och bör ske är ännu inte tydligt i planerna. Det mest troliga är att det i första hand är sol- och vindkraft som kommer användas för elgenerering. Tekniker för solceller, vindkraftverk liksom för elektrolysörer existerar sedan tidigare. De kan kombineras för att tillverka vätgas för fordonstillämpningar, men antalet anläggningar i drift som gör detta är få både i Sverige och internationellt. Den enda svenska anläggningen finns i Mariestad med en solcellspark och en elektrolysör intill en vätgastankstation.

Elenergibehovet i Sverige växer alltmer med en ökad elektrifiering och minskad användning av fossil energi. Ökad efterfrågan på vätgasproduktion, vilket kommer bli följderna av storskalig bränslecellsdrift, kräver troligen åtskilliga nybyggnationer av sol- och vindkraftverk.

Att omfördela den elenergi som idag produceras är i nuläget inte rimligt. Med utbyggnad av nya kraftverk för förnybar elgenerering aktualiseras frågor om var de ska lokaliseras, vilka konsekvenser det innebär och acceptansen för lokaliseringarna. Där det finns stora möjligheter till energiutvinning, som vid stora solcells- och vindkraftsparker eller vattenkraftverk, bör man avväga möjligheter att bygga upp system som innefattar transporter av gas till ett antal relativt närbelägna tankstationer.

Utbyggnader av tankinfrastruktur för vätgas är en förutsättning för fordonsanvändare att gå över till bränslecellsdrivna fordon. För att möjliggöra en övergång till förnybara, klimatneutrala och lokalt utsläppsfria drivmedel för massgodstransporter i städer och tätorter, bör energiinfrastrukturen utformas så att

- vätgastankstationer lokaliseras i närheten av vanliga transportrutter eller vägsträckningar, för tunga transporter, såsom större vägar och områden/regioner med många större byggprojekt/stark tillväxt. Laddstationer för batterielektriska tunga fordon bör finnas vid uppställningsplatser, lunchställen och rastplatser.
- vätgastankstationer och elektrolysörer för vätgasproduktion placeras i anslutning till varandra eftersom det då går att undvika både transport och extra komprimering av vätgasen.
- det finns möjligheter att tillvarata den syrgas som bildas vid elektrolysprocesser.

Transportutöversyn syn på utvecklingen och villkoren för omställning

Många åkeriföretag har en stark vilja att ställa om till mer miljö- och klimatvänliga bränslen och drivlinor. Inom ramen för den här studien gjordes intervjuer med transportföretag som utför massgodstransporter för att lyfta fram deras perspektiv.

De intervjuade visade stort intresse för el- och vätgasdrift av lastbilar och ville gärna öka sina kunskaper på området,

speciellt rörande vätgasfordon. Ett par av de intervjuade företagen förbereder sig för att påbörja tester med batterielektriska lastbilar för massgodsuppdrag.

Intervjuerna visade att de ekonomiska incitamenten för bygg- och anläggningsföretag respektive transportföretag att införskaffa och använda vätgasdrivna bränslecellsfordon främst kopplas till långsiktig överlevnad i en traditionellt fossildriven bransch. Det kommer initialt att kosta mer att investera i tunga fordon med el- respektive bränslecellsdrift än i konventionella dieselfordon.

Höga inköpskostnader och eventuella tillkommande kostnader för installation av tankinfrastruktur för vätgas (om transportföretagen väljer eller tvingas investera i dessa) utgör en hög tröskel för inköp av såväl el- som vätgasdrivna tunga fordon eller lastbilar. Enligt fordonstillverkarnas analyser ligger tidpunkten för när inköpspriset är i paritet med dieseldrivna lastbilar två till tre år framåt i tiden för eldrift, och fem till tio år för bränsleceller.

Möjliga vägar för att påskynda omställningen till förnybara drivmedel och system är samarbeten mellan transportutförare och beställare/kunder om ändrade avtalslängder, ersättningsnivåer samt ekonomiskt bistånd för uppbyggnad av tankinfrastruktur. Miljöpremier som underlättar inköp och infrastrukturuppbyggnad skulle underlätta omställningen.

Insatser behövs för att driva på omställningen

De främsta möjligheterna med el- och vätgasdrivna fordon för massgodstransporter som kom fram i intervjuerna kunde knytas till miljö (minskade utsläpp, minskning av fossila bränslen fram till 2030), fordonens prestanda (räckvidder och tanktider i paritet dagens, främst avseende vätgas) samt arbetsmiljö (tystare arbetsmiljö, inga avgaser – gynnsamt vid tunnelkörning).

De huvudsakliga hinder som pekades ut hör ihop med tillgången till lämpliga fordon (framför allt bränslecellsfordon), höga inköpskostnader, osäker tillgång till vätgas och tankinfrastruktur samt låg betalningsvilja för gröna transporter. För lösningar med batterielektriska lastbilar eller fordon som används intensivt, lastar tungt och sällan står stilla under längre tidsperioder är långa laddningstider och avsaknad av naturliga laddplatser potentiella hinder. Vikten på batterierna är i dessa fall kritisk eftersom lastkapaciteten, angiven som lastvikt, minskar med ökad batterivikt.

De insatser som skulle gynna ett införande av el- och vätgasdrivna fordon för massgodstransporter behöver undanröja dessa hinder. I intervjuerna föreslogs följande:

- att bygga ut tillgänglig infrastruktur för vätgasförsörjning
- att serietillverka fordon för att göra dem billigare
- att staten tar ett större ansvar och erbjuder morötter i form av exempelvis utökad miljöbonus, omställningsstöd, initialt skattemässiga lättnader, underlättade inköp av hybridfordon och skarpare åtgärder mot fossilbränslen
- insatser för att öka kunskaperna hos både kunder och fordonsköpare och öka kundernas betalningsvilja för vätgasdrivna transporter

Slutsatser från studien

- Det finns kommersiella modeller och typer av el- och bränslecellsfordon som lämpar sig för transporter av massgods i städer och tätorter; och fler är på väg ut på marknaden.
- Klimat- och kostnadsförutsättningarna för el- och bränslecellsfordon är goda utifrån de redovisade fallstudierna, men initialt ekonomiskt stöd för inköp är viktigt.
- För massgodstransporter är lastkapaciteten av största vikt! Tunga batterier tenderar i många fall att inkräkta på den, vilket kan påverka val av fordon.
- Tillgång till vätgas är en förutsättning för att kunna använda bränsleceller. I dagsläget behöver transportutövare antingen (1) invänta/uppmuntra/delta i initiativ från andra aktörer, (2) investera i system med egen vätgasproduktion eller (3) köpa in vätgas.
- Transportutövarna har ett stort intresse av förnybara alternativ. Större samförstånd mellan beställare och utövare kring kostnader för fossilfria transporter är dock önskvärt.
- Åkeriföretag ser möjligheter att med bränslecellsdrift minska sina globala och lokala utsläpp samtidigt som de kan utföra transportuppdrag på likande sätt som idag, utan att behöva lägga in längre tidsperioder med laddning.
- Demonstration med bränslecellslastbilar som testas i verkliga uppdrag med massgods är önskvärt för att driva utvecklingen av fossilfria tunga transporter ytterligare framåt.

Idag planeras även andra nya tillämpningar för vätgas som energibärare, till exempel inom stålindustrin. Det bidrar till att vätgaslösningar diskuteras alltmer och öppnar för att utnyttja möjliga synergieffekter mellan olika tillämpningar, som stålindustrin och transportsektorn. Det kan beröra utveckling av tekniker och systemlösningar för vätgasgenerering, eller satsningar inom vissa geografiska områden med stora behov av vätgas.

Ytterligare relevanta perspektiv på systemupplägget med elektrifiering är råvaruutvinning och materialtillgång för komponenter i elmotorer, batterier, bränsleceller, sol- och vindkraftverk osv, samt hur möjligheterna att återvinna dem på olika sätt ser ut för att minska miljöpåverkan. Det återstår att undersöka hur nya teknikupplägg kan minska behovet av sällsynta råvaror.

¹ Wyatt D., Gear L. (2020), *Electric Truck Markets 2021-2041, Analysis of the medium and heavy-duty BEV, PHEV & FCEV electric truck markets; detailed Covid-19 adjusted sales, battery demand and market value forecasts by region; Li-ion and electric motor technologies*, IDTechEx, IEA.

² För detaljerad information om underlaget till syntesen hänvisas till projektets slutrapport.

Cirkularitets- och försörjningsnytta

Metodutveckling

FEBRUARI 2022

Tomas Lönnqvist, Anton Fagerström, Sofia Poulikidou och Mark Sanctuary,
IVL Svenska Miljöinstitutet

Roosbeh Feiz och Axel Lindfors,
Linköpings universitet

11

Vad är samhällsnyttan av drivmedel?

I samhällsekonomiska analyser vägs olika effekter mot varandra genom att man kvantifierar effekternas ekonomiska värde. För- och nackdelar av olika system kan på så sätt värderas inom samma värdekategori. Saknas det metoder för att kvantifiera en viss nytta kan effekterna av den inte heller värdesättas ekonomiskt. Då finns det risk att åtgärden inte inkluderas i beslutsunderlag.

Fram tills nu har inte nyttan försörjningstrygghet för inhemskt producerade drivmedel eller nyttan av cirkularitet i produktionskedjan för drivmedel kunnat värderas på ett tillfredsställande sätt. De är särskilt intressanta att kartlägga eftersom de kan ha potentiellt stora effekter på den sammanvägda värderingen av flera olika nyttor, vid sidan av exempelvis koldioxidsutsläppsreduktion, av att byta till fossilfria drivmedel samt det generella intresset i samhället för dessa båda nyttor.

Detta projekt har tagit fram och utvärderat metoder för att möjliggöra kvantifiering av nyttan för försörjningstrygghet och cirkularitet. Huvudresultaten från projektet är alltså de nya metoderna i sig själva. Metoderna har också kombinerats med existerande metodik vilken värderar nyttan av minskade klimatgasutsläpp.

Den kombinerade metodiken har applicerats på flera värdekedjor för förnybara bränslen och energibärare: i) HVO producerad av tallolja (en specifik restprodukt från skogsindustrin), ii) etanol från skogsrester, iii) svenskproducerad el och iv) biogas från matavfall från hushåll.

Värdet av säkrare drivmedelstillgång

När det gäller försörjningstrygghet visar studien att inhemsk svensk produktion av förnybara bränslen till viss del kan bidra till att dämpa effekterna av globala bränsleförsörjningsstörningar på svensk ekonomi.

Den visar också att det finns betydande förluster i den ekonomiska produktionen, mätt som förändring i BNP, till följd av mindre bränsletillförselchocker som uppstår med ca tioårig periodicitet. BNP-tappet förväntas vara tiotals miljarder kronor.

Att minska Sveriges beroende av oljebaserade bränslen minskar Sveriges exponering för de ekonomiska effekterna av oljeförsörjningsstörningar. Men de ökar också Sveriges exponering för försörjningsstörningar som påverkar andra bränsletyper, som de produktionssystem som tjänat som exempel för att illustrera metoderna i just den här studien.

Går det att kvantifiera cirkulära produktionssystem?

Studiens utvecklade metod för att kvantifiera cirkularitet bygger på mätbara indikatorer av förnybarhet och återvinningsbarhet hos insatserna i olika produktionssystem. Tillämpningen av metoden visar att produktionssystemen för biobränslen, dvs. HVO från tallolja, etanol från skogsrester och biogas från matavfall från hushåll, i allmänhet får resultat på över 65 procents cirkularitet. Det kan indikera att andra typer av biobränslen baserade på sekundära resurser kan ge liknande resultat under svenska förutsättningar, även om dessa inte har studerats specifikt.

En begränsning med den föreslagna metoden för cirkularitet är att den endast kan användas för att illustrera cirkulariteten hos ett produktionssystem som helhet; den kan inte skilja mellan systemets samprodukter. Därför bör metoden tillämpas på fler fall, både nationellt inom Sverige och internationellt, för att bättre förstå andra typer av bränslesystem och förfina metoden. Dessutom skulle det vara värdefullt att utforska andra sätt att aggregera insatsernas förnybarhet och återvinningsbarhet.

Cirkularitet kan också inkludera faktorer som har ett värde ur socioekonomiska perspektiv, till exempel en ökning eller minskning i arbetstillfällen. Att fånga det socioekonomiska värdet av cirkularitet visade sig vara svårt eftersom begreppet cirkulär ekonomi har en vag, bred och komplex karaktär. Den cirkulära ekonomin kan ge många potentiella fördelar för samhället, men det är oklart hur dessa ska realiseras i samhället och om dessa samhällsekonomiska nyttor bör grupperas under ett gemensamt administrativt stöd, ett cirkularitetsstöd, eller inte. Det tillvägagångssätt som används i den här studien representerar ett första steg mot att tänka på hur det socioekonomiska värdet av cirkularitet kan fångas upp, men det behövs ytterligare studier.

Produktionssystem	Förnybarhet	Återvinningsbarhet	Cirkularitet
HVO producerad av tallolja	76 %	73 %	75 %
Etanol E100, producerad av skogsrester	71 %	56 %	64 %
Etanol E85, producerad av skogsrester	50 %	40 %	45 %
Svenskproducerad el i nätet	57 %	7 %	32 %
Svenskproducerad el i batteri	30 %	4 %	17 %
Biogas producerad från matavfall från hushåll	92 %	76 %	84 %
Genomsnittlig svensk fordonsgas (för jämförelse)	88 %	73 %	81 %

Överblick över de olika drivmedlens, inklusive produktionssystemens, förnybarhet, återvinningsbarhet och cirkularitet.

Tabellen visar förnybarhet och återvinningsbarhet för respektive drivmedel. Något förenklat betyder detta, exempelvis, att produktionssystemet för E85 från skogsrester använder 40 procent sekundärt material och energi (återvunnet, återanvänt eller avfallsklassade material och energibärare) där procenten beräknas på ekonomisk basis, dvs. den del av den ekonomiska kostnaden för produktionssystemet som de sekundära materialen och energi utgör. Likaså med förnybarhet så betyder det att 50 procent av det ekonomiska värdet av ingående material och energi är förnybart. Tillsammans ger dessa parametrar ett värde för cirkularitet, för E85 är det 45 %.

En samlad nytta av förnybara drivmedel

Studiens utvecklade metoder kombinerades med befintlig metodik för bedömning av klimatfördelar eller klimatbe-gränsande potential, här uttryckt som den undvikna samhällsekonomiska kostnaden baserad på besparingen av växthusgasutsläpp för varje drivmedelsalternativ.

Resultaten från denna bedömning stämde relativt väl med resultaten från kvantifieringen av produktionssystemens cirkularitetsnytta. I den sammanlagda bedömningen resulterade alla studerade alternativ i höga utsläppsminskningspotentialer, över 75 procent.

Att enligt studiens metodik kvantifiera fördelarna med ökad försörjningstrygghet och cirkularitet för drivmedel från ett urval av produktionssystem visar att effekterna av dessa två indikatorer är betydligt mindre än vad som erhålls från minskade klimateffekter för samma bränslen. Det uppskattade värdet av försörjningstrygghet är ungefär i storleksordningen en tiondedel av det samhällsekonomiska värdet av klimatnyttan. Det uppskattade värdet av cirkularitet uppgår till mellan en femtedel och en tredjedel av värdet av klimatnyttan. Variationerna beror på vilka drivmedelssystem som studeras och vilka underliggande aspekter som tas med i bedömningen av samhällsnyttan av cirkularitet. Dessa värden kan även se annorlunda om de olika aspekterna viktas. Viktning bör ske tillsammans med policybeslutsfattare och återspegla samhällsprioriteringar.

Nästa steg är att vidareutveckla metoderna

Metoderna som den här studien velat utveckla och testa representerar de första stegen mot att kvantifiera värden av försörjningstrygghet och cirkularitet i samhällsekonomiska analyser. Även om testerna kan visa på intressanta resultat behövs fler studier för att ytterligare utveckla och förfinas metoderna.

Vad gäller försörjningstrygghet och cirkularitetsnytta med drivmedel från olika förnybara produktionssystem, kan metoderna vidareutvecklas genom att man använder uppdaterade data i bränsleproduktionsmodellerna något som kan påverka både cirkularitets- och klimatberäkningar. Man kan också tillämpa metoderna på en större palett av drivmedel som är relevanta utifrån svenska förutsättningar.

En undersökning av alternativa sätt att synliggöra socioekonomiska effekter, och ett införande av fler betydelsefulla indikatorer för transportsektorn utöver bidraget till klimatförändringar, hade gjort metodiken mer robust och dess resultat mer pålitliga. Sådana indikatorer kan till exempel vara människors hälsa och lokala föroreningsaspekter orsakade av partikelutsläpp.

Tillför perspektiv i debatten

Det finns en risk med att effekter av åtgärder i samhället som är svåra att mäta inte inkluderas i politiken eller den offentliga debatten. Detta gäller också för osäkerheterna i värderingen av försörjningstrygghet och cirkularitet för olika drivmedel, vilket innebär att betydelsen av deras effekter kan överskuggas av klimatrelaterade för- och nackdelar. Fortsatt forskning om metodiken kan försöka uppskatta dessa och andra icke-klimatrelaterade värden med förnybara drivmedel mer exakt och därigenom bidra till ett bättre politiskt beslutsunderlag.

Sammanfattningsvis tillför studien fler perspektiv till policydebatten som i nuläget lägger en stark tonvikt på klimatrelaterade effekter och därför tenderar att missa värden relaterade till andra indikatorer, såsom försörjningstrygghet och cirkularitet. Att förfinas det beräknade resultatet av de viktiga samhällsnyttor som förnybara drivmedel kan främja är ett starkt skäl att forska vidare på området för den här studien.

Framtida bränsleval för flyg, sjöfart och vägtransporter ur ett energi-systemperspektiv

FEBRUARI 2022

Julia Hansson och Erik Fridell,
IVL Svenska Miljöinstitutet

Selma Brynolf, Maria Grahn, Elin Malmgren och Karin Andersson,
Chalmers tekniska högskola

12

Förnybara sjöfarts- och flygdrivmedel avgörande för att minska koldioxidutsläppen

För att drastiskt minska koldioxidutsläppen från transportsektorn måste introduktionen av drivmedel och framdrivningstekniker med låga utsläpp accelerera, inte minst inom sjöfarten och flyget. Det finns en rad olika drivmedelsalternativ med olika förutsättningar.

Sett ur ett kombinerat kostnads- och klimatperspektiv, vilka är på sikt de mest intressanta alternativen och vilka faktorer påverkar valet?

Biodrivmedel har en nyckelroll och behöver öka snarast

En betydande elektrifiering framstår som kostnadseffektiv både för person- och godstransporter på väg i de studerade nordiska länderna. Fram till 2030 behövs även biodrivmedel för samtliga vägtransporter, men på längre sikt, till 2050, ökar behoven framför allt inom sjöfarten och flyget. Det beror på att de andra alternativen inte har samma möjligheter att tillgodose efterfrågan inom sjöfart och flyg.

Biomassabaserade marina bränslen och biojetbränslen är kostnadseffektiva åtgärder för att minska koldioxidutsläppen inom den nordiska sjöfarts- och flygsektorn för 2030 och 2050. Det visar sig i alla de scenariefall som studerats i detta projekt. Resultaten för åtta av scenariefallen presenteras i Figur 1 för sjöfarten och figur 2 för flyget.

Elektrobränslen för flyg- och sjöfartssektorn är i viss mån ett kostnadseffektivt alternativ, men bara när avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) inte introduceras och med en begränsad tillgång på biomassa. Elektrobränslen avser drivmedel gjorda av el, vatten och koldioxid (eller kväve). En faktor som är viktig för utvecklingen inom transportsektorn, särskilt för biodrivmedlens framtida roll, är utvecklingen av avskiljning och lagring av kol för biomassabaserad teknik (bio-CCS) och hur beslutsfattare kommer att beakta dessa potentiellt negativa utsläpp i framtida styrmedel. Skälet är att det, i förhållande till andra sektorer, är relativt dyrt att minska utsläppen i transportsektorn och att den totala mängd biodrivmedel som behövs beror på hur mycket ut-

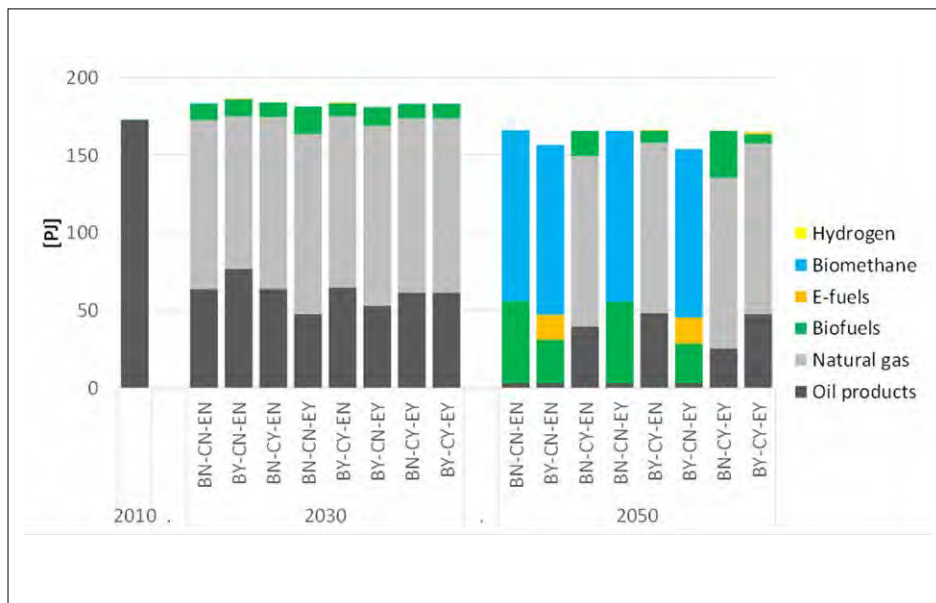
släppen för samtliga transportslag i praktiken måste minska. Förutsättningarna för vätgas att utgöra ett kostnadseffektivt alternativ för sjöfarten och flyget i Norden måste utvärderas vidare med hänsyn till uppdaterade uppskattningar för kostnads- och teknikprestanda. Med nuvarande antaganden och modell fås en ganska låg användning av vätgas för transporter i de flesta studerade scenariefallen. Vätgas har dock inte varit i fokus för detta projekt. Ytterligare bedömningar behövs innan säkra slutsatser kan dras om vätgasens potentiella roll i de nordiska och globala transportsektorerna och för vilka transportsätt.

En kostnadseffektiv drivmedels- och teknikmix beror på flera nyckelfaktorer

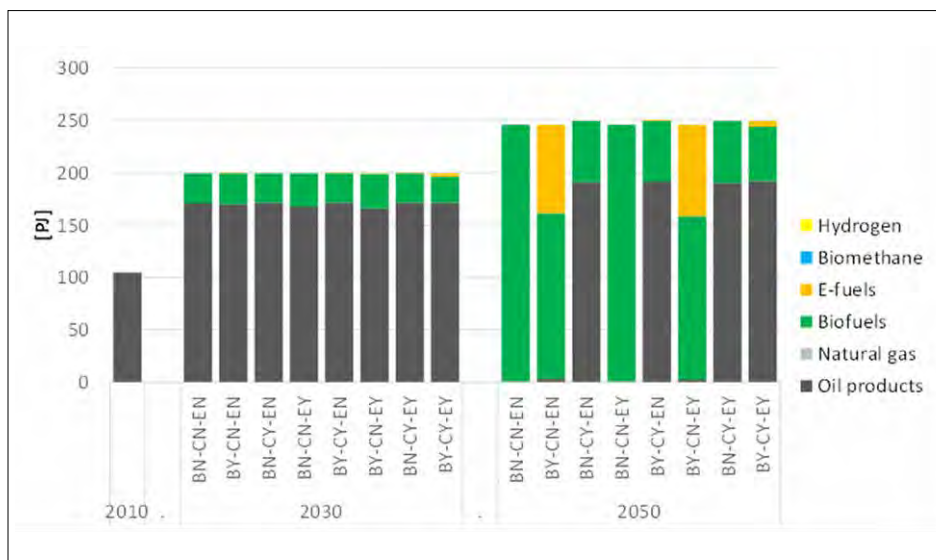
Det går att peka på ett antal nyckelfaktorer som är betydelsefulla för att uppnå en kostnadseffektiv drivmedels- och teknikmix inom den nordiska transportsektorn och specifikt inom sjöfarten och flyget. Dessa inkluderar

1. Tillgång till hållbara biodrivmedel
2. Teknisk utveckling, möjlig kostnadsminskning och säkerhet för nya framdrivningssystem för flygplan och fartyg (t.ex. vätgasbaserade koncept, helelektriska och hybridkoncept)
3. Utbyggnad av elproduktion med låga koldioxidutsläpp
4. Kostnadsutveckling av elektrifierade och vätgasbaserade alternativ i andra sektorer
5. Utveckling och införande av biomassabaserad CCS i el- och värmeproduktion

Det sista kan, beroende på hur negativa utsläpp får redovisas, ge utrymme för fortsatta utsläpp inom till exempel transportsektorn och därmed underlätta omställningen för flyg och sjöfart och hela transportsektorn, som då kanske inte behöver minska sina utsläpp i samma omfattning. Detta beror dock i stor utsträckning på hur negativa utsläpp från bio-CCS kommer att hanteras av beslutsfattare och i styrmedel. Det är viktigt att alla sektorer minskar sina koldioxidutsläpp.



Figur 1. Drivmedelsanvändning (PJ / år) i sjöfartssektorn i Danmark, Norge och Sverige 2030 och 2050 för åtta olika scenarier som konstruerats som kombinationer av olika variabler. B betecknar begränsad tillgång på biomassa, C introduktion av CO₂-avskiljning och lagring (CCS) och E hög kostnad för el- och bränslecellsfordon. Bokstäverna Y (Yes) och N (No) beskriver i kombination med variabeln ifall förutsättningarna uppfylls i respektive scenario. Drivmedelsanvändningen 2010 ingår för jämförelse. *E-fuels* representerar elektrobränslen, *Biomethane* gasformiga biodrivmedel, och *Biofuels* flytande biodrivmedel.



Figur 2. Drivmedelsanvändning (PJ/ år) i flygsektorn i Danmark, Norge och Sverige 2030 och 2050 för åtta olika scenarier som konstruerats som kombinationer av olika variabler. B betecknar begränsad tillgång på biomassa, C introduktion av CO₂-avskiljning och lagring (CCS) och E hög kostnad för el- och bränslecellsfordon. Bokstäverna Y (Yes) och N (No) beskriver i kombination med variabeln ifall förutsättningarna uppfylls i respektive scenario. Drivmedelsanvändningen 2010 ingår för jämförelse. *E-fuels* representerar elektrobränslen, *Biomethane* gasformiga biodrivmedel, och *Biofuels* flytande biodrivmedel.

En kombination av åtgärder behövs – styrmedel är avgörande

Utöver byte av drivmedel är det kostnadseffektivt att minska koldioxidutsläppen från den nordiska transportsektorn med energieffektivare fordon och minskad transportefterfrågan. En kombination av olika åtgärder för att åstadkomma detta är centralt och genomförandet av dem kan också minska det totala behovet av förnybara drivmedel och dess råvaror. Styrmedel och mål kopplade till alternativa drivmedel för flyg och sjöfart i de nordiska länderna kommer att påverka deras utveckling på olika sätt beroende på hur styrmedlen utformas.

Kostnadseffektiviteten för olika drivmedelsval med låga koldioxidutsläpp inom olika delar av transportsektorn har analyserats med hjälp av en energisystemmodell som täcker Sverige, Norge och Danmark. Figur 1 och 2 visar exempel på resultaten från modellen. I takt med teknisk utveckling, marknadsintroduktion av nya drivmedel och införande av styrmedel behöver kostnadsuppskattningar för olika drivmedel och framdrivningssystem uppdateras för att förbättra

bedömningen och klargöra den potentiella rollen för olika alternativ för flyg och sjöfart.

Miljö- och klimatpåverkan från elektrobränslen

Den möjliga miljöpåverkan från produktion och användningen av elektrobränslen, med fokus på fartyg, och de faktorer som påverkar utfallet har också undersökts eftersom det saknats sådan kunskap. Även om elektrobränslen enbart framstår intressant under vissa förutsättningar i analysen ovan kan detta alternativ introduceras framöver och då behöver kunskapen om det öka. De största utmaningarna med att bedöma miljöpåverkan för elektrobränslen relaterar till vad som inkluderas i livscykeln. Miljöpåverkan från marina drivmedel sker inte bara på den omgivande miljön när fartyget används, utan även i produktionen av drivmedlet och framdrivningsutrustning som motorer, bränsleceller och lagringsbehållare. För att kunna bedöma miljöpåverkan av elektrobränslen ur ett livscykelperspektiv behövs därför kunskap om den framtida produktionsvägen, detaljer kring an-

vändning, utsläpp till miljön och omvandlingseffektiviteten.

De faktorer som avgör elektrobränslets miljöpåverkan är elens ursprung och energibehovet vid produktionen, prestandan vid förbränning av drivmedlet på fartyget (marina motoregenskaper), el och värmebehov för stödsystem (främst bränslesyntesen), hållbarhet hos den kolkälla som används i produktionen, och vilka uppströms utsläpp kopplat till biprodukter som inkluderas och hur de fördelas.

Förnybar el centralt för elektrobränslets klimatpåverkan

Tillgång till förnybar el är ett krav för att elektrobränslen ska bidra till lägre klimatpåverkan. Det kan dock vara så att en minskning av klimatpåverkan bara kräver elproduktionsmixar med en hög grad av förnybar energi, vilket förväntas vara situationen i många europeiska länder framöver.

Våra analyser visar att miljöpåverkan från elektrometanol

(metanol producerad som elektrobränsle) kan vara lägre än miljöpåverkan från konventionella marina drivmedel för de flesta undersökta påverkanskategorierna (klimatpåverkan, förorening, övergödning, partiklar). Effekterna på människors hälsa kan dock vara högre för elektrometanol (och andra elektrobränslen) än dagens konventionella drivmedel. Det verkar bero på behovet av el som vid sin produktion ger upphov till flera potentiellt skadliga ämnen men i vilken utsträckning är osäkert. Känslighetsanalys konstaterar att dessa resultat är osäkra och påverkas av begränsningar i metoden för livscykelbedömning av marina drivmedel. Det behöver därmed studeras mer ingående i framtida bedömningar av elektrobränslen.

Det behövs också ytterligare analyser av hur elektrobränslen påverkar markanvändning, vattenbehov, buller och syreanvändning för att till fullo förstå deras totala miljöpåverkan

Kan förnybar flytande metan (LBM) ersätta LNG inom sjöfarten?

APRIL 2022

Karl Jivén, Anders Hjort, Emelie Persson, Tomas Lönnqvist, Mirjam Särnbratt och Anna Mellin,
IVL Svenska Miljöinstitutet

Elin Malmgren och Selma Brynolf,
Chalmers tekniska högskola

13

Nästa steg mot fossiloberoende sjöfart

Sjöfarten måste fasa ut de fossila bränslen som används. Fram till för ett par år sedan sågs flytande naturgas, LNG, (eng. *liquefied natural gas*) av många som en del av lösningen. LNG innehåller mindre kol per energimängd och har potential att i viss mån minska koldioxidutsläppen. Jämfört med traditionella bunkerbränslen inom sjöfarten, såsom marin dieselbrännolja, MGO, (eng. *marine gas oil*) och tjockolja, HFO (eng. *heavy fuel oil*), kan LNG också avsevärt minska utsläpp av partiklar och svaveloxider.

Men såväl en större del av sjöfartsbranschen som beslutsfattare och allmänhet uppfattar att det behöver göras mer. För att på allvar minska sjöfartens fossila bränsleanvändning är det inte tillräckligt att byta till LNG om det inte samtidigt kombineras med andra åtgärder, till exempel koldioxidinfångning och -lagring, s.k. CSS (eng. *carbon capture and storage*).

Två decennier har gått sedan LNG introducerades som bunkerbränsle och gjordes tillgängligt i större hamnar. LNG-fartyg prognostiseras att utgöra 10–40 % av alla fartyg i framtiden. Med den utvecklingen krävs lösningar för hur utfasningen av fossila bränslen i denna del av fartygsflottan ska uppnås.

Flytande biometan kan ersätta LNG

Förnybar och hållbart producerad metan i flytande form, LBM (eng. *Liquid Bio-Methane*), skulle utan krav på några ändringar ombord på LNG-fartygen kunna ersätta LNG som bränsle. Den här studien har undersökt möjligheterna till det.

Termen LBM har valts för att uttrycket flytande biogas (LBG, eng. *liquefied biogas*), som annars ofta används i Sverige, varken inkluderar den metan som kan produceras som ett elektrobränsle baserad på koldioxid från rötningsprocessen, eller den som produceras via metanisering av syngas från förgasningsanläggningar. LBM används alltså som en paraplyterm för förnybart producerad metan för rotat och förgasat substrat med biologiskt ursprung, för elektrometan samt för metan som produceras på basis av vätgas och koldioxid som uppkommer i rötningsprocessen. För sådan förnybart producerad metan i flytande form används här

termen LBM och för trycksatt förnybar metangas används termen CBG (eng. *compressed biogas*).

Produktionspotentialen för biometan

Sedan 80-talet har flera studier beräknat hur mycket biogas som kan produceras i Sverige via anaerob rötning från svenska substrat, baserat på olika antaganden. Den här studien har utöver det sammanställt befintlig såväl som planerad biogasproduktionskapacitet för varje län i Sverige.

För att uppskatta den totala biometanproduktionspotentialen fram till och med 2045 har vi lagt ihop potentialerna från tre olika produktionsmetoder; anaerob rötning, metanisering av överskott av koldioxid från anaerob rötning samt metanisering av syngas från förgasning.

Resultatet av sammanställningen visar en total årlig biogasproduktionskapacitet på cirka 3,6 TWh i Sverige för år 2026, där 2,1 TWh är befintlig kapacitet och 1,5 TWh är ny kapacitet. Planerad nyproduktion består av ca 1,3 TWh/år LBG och 0,2 TWh/år komprimerad biogas (CBG). Förutom nya produktionsanläggningar för biogas finns det också planer på investeringar för kondensering av befintlig CBG-produktion till LBG, vilket ger totalt 0,5 TWh/år. Produktionskapaciteten avser planerad kapacitet som förväntas vara på plats före 2030 i linje med beviljade stöd från Klimatklivet.

Med utgångspunkt från den potential på tillgängliga substrat har vi sett på framtida potential som vi bedömer är möjlig att producera. Det presenteras i tabellen på sidan 42.

Sammantaget tycks det potentiellt möjligt att med tekniska, ekonomiska och hållbarhetsaspekter tagna i beaktande producera dryga 20 TWh biometan 2030 och upp emot 30 TWh 2045.

Befintlig och planerad kapacitet återspeglar varje läns identifierade teoretiska potential enligt värden som utgår från Linné et al (2008)¹.

Befintlig biogasproduktion från anaerob rötning har potential att öka med mellan 15–70 % utan tillsats av ytterligare substrat när elektroprocesser kombineras med befintlig rötningsprocess. Det görs genom att ta tillvara den koldioxid som bildas i rötningsprocessen och använda den till ytterligare elektrometanproduktion. Variationen i potentialökning-

	Biometanproduktion potentiellt		Begränsningar avseende teknik, ekonomi och hållbarhetsaspekter
	2030	2045	
Anaerob rötning	14 TWh/år	19 TWh/år	Endast substrat som härrör från gödsel, organiska restprodukter, halm och biomassa från områden med ekologiskt fokus och jordar i träda ingår.
Metanisering av CO ₂ från rötning	4.7 TWh/år	6.4 TWh/år	95 resp. 96 % av CO ₂ från biogasanläggningar används för att producera elektrometan år 2030 resp. 2045
Metanisering av syngas från förgasningsanläggningar	3.5 TWh/år	3.5 TWh/år	Endast syngas från förgasning från rester av lignocellulosamaterial (t.ex. rivning och förpackningsmaterial inklusive pallar) ingår.
TOTAL	22.2 TWh/år	28.9 TWh/år	

Biometanproduktionspotential för år 2030 och 2045 från anaerob nedbrytning och metanisering av koldioxid (CO₂) från anaeroba rötnings- och förgasningsanläggningar.

en beror på att olika substratkombinationer ger upphov till skillnader i metan- och koldioxidkoncentration i den producerade biogasen. Rå biogas innehåller mellan 20–50 % koldioxid beroende på vilken typ av biomassa som rötas. Teoretiskt sett kan all koldioxid kombineras med vätgas som produceras av elektrolys av vatten i en metaniseringsreaktor.

Både kemisk och biologisk metanisering är möjlig, men eftersom den kemiska metaniseringsprocessen för närvarande är mer mogen har potentialen beräknats med data från kemisk metanisering. Trots att biologisk metanisering är mindre tekniskt utvecklat anses det vara en lovande teknik framöver.

Konkurrens om biometan

År 2021 hade cirka 12 % av de befintliga *fartygen* s.k. alternativa bränslesystem, varav cirka 6 % är LNG-system. Men flytande metan efterfrågas inte bara av sjöfarten.

Efterfrågan på flytande metan från *vägtransporter* i Sverige uppgick 2021 till cirka 0,10 TWh och förväntas öka framöver. Intresset för elektrifierad framdrivning som en central del av fossilfria transporter i stadsmiljöer ökar stadigt och många kommuner har påbörjat en övergång från biobränslen till elektrifiering i sina bussflottor. Den accelererande utvecklingen driver däremot bort CBG och andra biobränslen från det transportsegmentet. En liknande utveckling med elektrifiering ses för personbilar.

Det finns idag tunga lastbilar som kan köras på LBM. Med den nuvarande kostnadsstrukturen inklusive skatter och styrmedel etc. har LBM blivit ett drivmedel med en generellt bra kostnadsbild, särskilt för långdistanslastbils-transporter med höga årliga miltal. Antalet tunga LNG/LBM-drivna fordon i Sverige ökar sedan 2018 i allt högre takt. Vår bedömning är att det är här som den huvudsakliga efterfrågan på LBM kommer att finnas inom vägtransporter.

Industrin använde 2020 cirka 81 TWh bränsle, varav ungefär en tredjedel, ca 27 TWh, var fossila bränslen. De bränslen som direkt kan ersättas med LBM är LNG, medan naturgas kan ersättas med biometan. År 2020 användes i Sverige

ca 1 TWh LNG och 3 TWh naturgas. Vissa industrier har börjat ersätta olja, kol och koks med naturgas, LNG eller gasol. De kan i sin tur ersättas med biometan eller LBM.

I stålindustrin finns planer på att ersätta fossila bränslen med el eller vätgas producerad genom elektrolys av vatten. Andra branscher har sett över möjligheten att reformera biogas till vätgas eller att använda kolatomer i biogasen i sina kemiska tillverkningsprocesser. Sammantaget syns en betydande efterfrågan på biometan från industrin.

Dagens efterfrågan från svensk sjöfart

Vad som utgör den svenska andelen av global eller europeisk användning av marinbränsle respektive LNG är svårt att definiera. Andelen kan beräknas utifrån bränsle som bunkras i Sverige eller genom analys av inhemska fartygsrörelser tillsammans med en tilldelad del av fartygsrörelsen mellan svenska och utländska hamnar. Ungefär 25 TWh bunkerbränsle bunkras årligen i Sverige och den nivån har i studien använts som en indikator på den totala energiefterfrågan från sjöfartssektorn i Sverige. Om till exempel 15 % av bunkerbränslet om ett par år var relaterat till fartyg med LNG-bränslesystem, skulle därmed knappt 4 TWh LNG kunna vara aktuellt att fasa ut med LBM.

Vad påverkar framtida tillgång och efterfrågan på biometan?

I vår studie har data från EU:s MRV-system (eng. *Monitoring, Reporting and Verifying*) och fartygsdatabaser använts för att modellera dagens förbrukning för LNG-fartyg inom EU. På basis av det har vi modellerat trender och scenarios för Sverige.

Tillgång och efterfrågan har uppskattats och beräknas för LBM och CBM från 2021 till 2045. Potentiellt tillgänglig förnybar metan har fördelats som produktionskapacitet för LBM och CBM, och efterfrågan på LBM och CBM har fördelats mellan de tre kategorierna industri, vägtransporter och sjöfart. Syftet är att undersöka om efterfrågan från sjöfart och andra sektorer kan matcha möjlig produktion.

Uppskattningarna av potentiellt tillgänglig förnybar metan för 2021 har utgått från den nuvarande produktionskapaciteten för LBM och CBM i Sverige. Prognosen fram till 2045 utgår bland annat från de kartlagda planerade nya projekten för produktionsanläggningar i Sverige.

Efterfrågan 2021 baseras på den nuvarande efterfrågan på LBM och CBM i Sverige. Prognosen fram till 2045 baseras främst på kartlagda planerade projekt för kategorierna industri, vägtransporter och sjöfart, där årliga ökningarna fram till 2045 har antagits. Efterfrågescenarierna för sjöfart bygger på data och prognoser inom de segment och fartygstyper som använder LNG idag och den förväntade utvecklingen. Bakgrunden till de olika scenarierna som vi tagit fram bygger på olika nivåer av policyutveckling som stöd till biometanproduktion, internalisering av externa kostnader för utsläpp och växthusgasutsläpp inom sjöfarten etc.

Tillgång och efterfrågan på biometan är delvis beroende av varandras utveckling eftersom tillgången inte ökar om det inte finns någon efterfrågan och vice versa. Det krävs interaktion inom flera områden för att öka tillgång och efterfrågan där det kan finnas hinder som hindrar utvecklingen.

Scenarierna som vi tog fram visar att potentiellt möjlig utbyggnad av produktion ligger i linje med vad ett avvägt

sammanlagt behov av LBM inom de studerade sektorerna kan förväntas vilja konsumera. Vi gör också bedömningen att utvecklingen av produktion och konsumtion av biometan kan komma att se väldigt olika ut beroende på vilka satsningar som görs på att förverkliga den potential som identifierats.

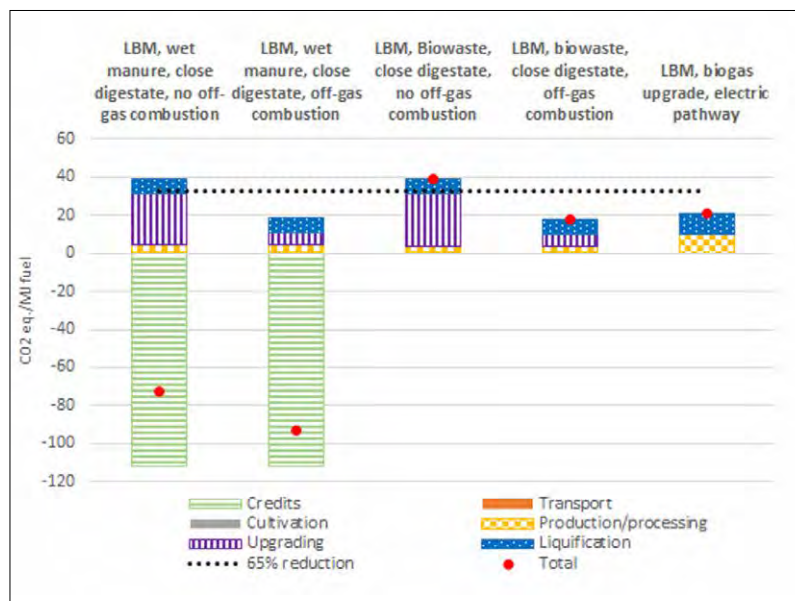
Två produktionsvägar med god klimatprestanda

För att ge en bild av klimatprestanda för LBM genomfördes livscykelanalyser för olika produktionsvägar av LBM. Miljöpåverkan från några av produktionsvägarna är tidigare väl utredda. Andra genomförda beräkningar (elektrometan/metan baserat på metaniserad koldioxid från rötningsprocessen) har tidigare i alla fall inte utvärderats i förhållande till en svensk kontext.

Beräkningarna i studien har gjorts i enlighet med och på basis av emissionsfaktorerna för beräkningar av klimatpåverkan från RED II, *Renewable Energy Directive* (förnybart-direktivet).

I figuren nedan presenteras resultaten för några valda produktionsvägar för att ge mer insikt i miljöprestandan hos den LBM som kan komma att produceras i Sverige i framtiden. Där syns det att LBM som producerats genom rötning av substrat baserat på gödsel (första och andra stapeln från vänster) ger en mycket god klimatprestanda som till och med skapar negativa utsläpp genom att produktionen tilldelas så kallade gödselkrediter. Det innebär ett undvikande av klimatpåverkan eftersom gödsel som samlas in och tas tillvara industriellt i princip inte genererar metanutsläpp.

Även biobaserat avfall (tredje och fjärde stapeln från vänster) samt elektrometanproduktion (femte stapeln) genererar en LBM-produkt med god klimatprestanda.



Beräkningar av tre olika LBM-produktionsvägar baserade på RED II, förutsatt att produktionen baseras på förnybar el från det svenska elnätet. Den streckade linjen indikerar kravet i RED II på 65 % reduktion av växthusgasutsläpp i förhållande till utsläpp från motsvarande fossilt bränsle.

Resultaten från beräkningarna visar också att elektrometan är ett klimatomättigt bra alternativ till LNG inom sjöfarten om förnybar el används för att producera elektrometan. Till-

gång till förnybar el är en förutsättning för att elektrobränslen ska bidra till en lägre klimatpåverkan.

Biometanpotentialen kan förverkligas

Den politik och de styrmedel som föreslås i Sverige och EU gör att framtiden för svensk biometan ser ljus ut. Svenskproducerad biogas kommer att gynnas av ett kommande produktionsstöd och införlivandet av sjöfarten i EU:s utsläppshandelssystem kommer att vara fördelaktigt för förnybara bränslen generellt.

Produktionskapaciteten för biometan skulle kunna uppgå till cirka 20 TWh år 2045 baserat på den teknoeconomiska potential som finns, men det krävs att biogassektorns lönsamhet förbättras och att utmaningen med tidskrävande tillstånd övervinns. Därtill krävs långsiktiga stabila förutsättningar för att industrin ska våga investera. För att nå biogasmarknadsutredningens mål om 10 TWh biometan 2030 krävs en expansionstakt på 1 TWh/år till 2030, vilket är en stor utmaning.

Om förnybar el kan säkras och hållbara biomassakällor används för produktion av LBM är klimatpåverkan från LBM låg. Resultat från LCA-beräkningar visar att inte bara LBM från rötning visar god klimatpotentialprestanda, det gör även elektrometan som produceras från koldioxid från biogasuppgäraderingar.

En övergång i Sverige från LNG till LBM för sjöfart som bunkrar i Sverige verkar realistisk att kunna genomföra för ett uppskattat behov av 4–6 TWh per år. Skiftet kommer dock inte ske utan incitament från samhället till industrin som stödjer denna förändring och tydligt visar på långsiktighet och uthållighet för att öka produktionen och användningen av förnybar metan. Det är särskilt viktigt att planerade styrmedel införs, som kopplar samman sjöfartens växthusgasutsläpp med en kostnad som kan undvikas om bränslen med låga eller nollutsläpp används.

Ett svenskt produktionsstöd i kombination med införandet av sjöfart inom EU:s utsläppshandelssystem verkar kunna jämna ut kostnadsskillnaden mellan LNG och LBM som marint bränsle. Sammanlagt verkar den framtida kostnadsnivåskillnaden mellan LNG och LBM kunna vara nära noll eller åtminstone ett mycket mindre hinder att övervinna. Det finns dock fortfarande många osäkerheter, till exempel framtida prisskillnader, framtida kostnadsnivåer för utsläppsätter inom utsläppshandelssystemet samt vilken minskningskvot som LBM kan dra nytta av inom EU:s system för handel med utsläppsätter. Men med en politisk vilja och en sannolik politisk utveckling inom bland annat styrmedel verkar det åtminstone möjligt att rederier med

en vilja att minska växthusgasutsläppen genom övergången från LNG till LBM skulle kunna lösa detta i förhållande till bränsleekonomin kopplat till fartygsdriften. Ett framtida LBM-bränsle som har en större andel e-metan kommer potentiellt också att bli dyrare. Detta är dock svårt att hävda med säkerhet eftersom nya alternativ som kan förändra prisen kan vara aktuella vid andra tidpunkter i framtiden.

Framtidssäkrade biodrivmedel för vägtransporter och flyg genom ökad nytta från biogent kol

Kol-, klimat- och kostnadseffektivitet

MARS 2022

Yawer Jafri och Elisabeth Wetterlund,
Luleå tekniska universitet

Johan M. Ahlström, Erik Furusjö och Karin Pettersson,
RISE Research Institutes of Sweden

Simon Harvey,
Chalmers tekniska högskola

Elin Svensson,
CIT Industriell Energi

14

Framtidssäkra biodrivmedel – minska slöseriet med gröna kolatomer

Trots de omfattande satsningarna på elektrifiering och vätgas i transportsektorn kommer det inom överskådlig framtid finnas ett stort behov av kolbaserade bränslen som kan användas i olika typer av motorer, i väg-, flyg- och sjötransporter. I dagsläget är de kolbaserade bränslen som används till största delen fossilbaserade, men det finns ett stort antal teknikalternativ för att framställa flytande och gasformiga förnybara bränslen, främst från olika typer av bioråvaror.

I ett svenskt perspektiv finns den största råvarupotentia- len i restprodukter från skogsbruk och skogsindustri, t.ex. grenar och toppar (grot), svartlut/lignin och sågspån. Till- gången på dessa råvaror är dock begränsad i jämförelse med de stora behov som uppkommer i takt med att både energi- och materialomställningen accelererar. Konkurrensen om förnybara kolatomer förväntas öka när alla sektorer samti- digt vill ersätta sina fossila råvaror, för att nå klimatmålen. Samtidigt skärps kriterierna för användande av olika biorå- varor, för att undvika konflikter med andra hållbarhets- och miljömål.

Idag pågår en intensiv debatt om klimatpåverkan av bio- energi och biobaserade produkter. Oavsett åsikt i frågan är det tveklöst att en högre substitutionseffekt, dvs. att en gi- ven mängd skördad eller insamlad bioråvara ersätter mer fossila råvaror, ökar klimatnyttan. Detsamma gäller om en viss mängd av kolet i råvaran lagras permanent genom så kallad koldioxidinfångning och -lagring (bio-CCS), jämfört med om det skulle hamnat i atmosfären inom ett kortare tidsperspektiv.

Biodrivmedelssektorn behöver därför förbereda sig för två sannolika framtidsspaningar:

1. Ökad efterfrågan på hållbara bioråvaror kommer kräva noggrann balansering av kommersiella och samhällsliga prioriteringar
2. "Slöseri" av biogent kol kommer inte att vara gångbart.

Tekniker för omvandling och nyttiggörande av bioråvaror kan därför förväntas behöva ha ett högt kolutbyte för att

vara legitima och konkurrenskraftiga i framtiden. Det kan åstadkommas genom negativa koldioxidutsläpp eller ge- nom att använda koldioxid till att flerdubbla produktionen.

Dagens och framtidens tekniker med potential

Denna studie har fokuserat på ett antal tekniker för produktion av biodrivmedel för vägtransporter och flyg, i syfte att undersöka både hur väl de idag utnyttjar råvarans biogena kol, och hur detta utnyttjande kan ökas genom komplettering med ny teknik. Fokus har varit på synergier och avväg- ningar mellan kol-, klimat-, och kostnadseffektivitet.

Vi har studerat femton produktionstekniker, både kom- mersiella och de som är på väg att kommersialiseras. Tabell 1 sammanfattar teknikerna.

De spår som är kommersiella i dagsläget är biogaspro- duktion, etanol från vete, och hydrogenerade oljor/fetter (HVO). Ingen av dessa använder skogsbaserade råvaror. Däremot är samtliga av de studerade spår som är under ut- veckling inriktade på skogsbaserade råvaror, vilket reflekter- ar den större framtida potential som dessa råvaror har.

Spåren kan grovt delas in i tre kategorier. Biokemiska metoder (rötning eller fermentering) kan utgå från många olika råvaror men om skogsbaserade råvaror ska användas behövs en omfattande förbehandling. Vätebehandling in- kluderar både HVO-produktion och spår som använder för- vätskning av biomassa med efterföljande uppgradering av biooljan i raffinaderier. Förgasning följt av katalytisk syntes till drivmedelsprodukter kan använda olika råvaror men vi har bara beaktat restprodukter från skogen.

Utbyten, kostnader och effektivitet för dessa spår har uppskattats baserat på öppen litteratur och projektdeltagar- nas kunskaper.

Vart tar kolet vägen?

Många av de studerade teknikspåren ger inte bara ett bräns- le som produkt, utan också användbara biprodukter av stort ekonomiskt värde. Det skiljer mycket i råvarornas samman- sättning och i hur stort utbytet till slutlig bränsleprodukt blir – och i hur mycket av råvarans biogena kol som slutligen

Tabell 1. Produkter och produktionstekniker som inkluderats i studien. För varje teknik anges dess teknikomgrad för vägtransporter respektive flyg. A Indikerar om spåren inkluderats för väg- respektive flygtransporter samt teknikomgrad för dessa alternativ. För flygtransporter anges även om certifiering finns, vilket är en förutsättning för kommersiell användning. B Detta avser hydrogenade oljor/fetter (HVO)

	Produkt och produktionsteknik	Vägtransporter ^A	Flyg ^A
Rötning och fermentering	Etanol från sågspån – samt biojet via etanol-till-jet	Utveckling	Utveckling, cert.
	Etanol från vete – samt biojet via etanol-till-jet	Kommersiell	Utveckling, cert.
	Biojet från grot, via fermentering till isobutanol		Utveckling, cert.
	Biogas från matavfall och gödsel	Kommersiell	
	Biogas från avloppsslam	Kommersiell	
Vätebehandling	Drop-in drivmedel från grot via hydrotermisk förvätskning	Utveckling	
	Drop-in drivmedel från lignin	Utveckling	
	Drop-in drivmedel från grot via pyrolys	Utveckling	
	Drop-in drivmedel från grot via hydropyrolys	Utveckling	Utveckling
	Drop-in drivmedel ^B från talloljaB	Kommersiell	
	Drop-in drivmedel ^B från slaktrester/talg	Kommersiell	Kommersiell, cert.
Förgasning	Drop-in drivmedel från svartlut via förgasning och metanol	Utveckling	
	Drop-in drivmedel från svartlut via förgasning/ Fischer-Tropsch	Utveckling	Utveckling, cert.
	Biometan från bark via förgasning och metanisering	Utveckling	
	Drop-in drivmedel från bark via förgasning/ Fischer-Tropsch	Utveckling	Utveckling, cert.

hamnar i bränslet. Det kan benämnas som kolutbyte.

För biogas genom *rötning* bildas koldioxid i rötningsprocessen. Denna koldioxid måste avskiljas innan biogasen kan användas som fordonsgas. En stor andel av det biogena kolet hamnar också i den så kallade rötresten, som i många fall har användning som gödselprodukt. Kolutbytet, dvs. andelen av råvarans kol i metan i biogasprodukten, är cirka 34% för matavfall och gödsel men mindre än 20% för slam.

Vid *fermentering* till etanol är kolutbytet 30-40%. Även här bildas koldioxid i processen, vilken måste avskiljas – en del i koncentrerad form från själva fermenteringen, och en del i utspädd form från förbränningen som försörjer processen med värme. En stor del av kolet hamnar också i biprodukter (pellets eller djurfoder).

För bränslen som bygger på *vätebehandling* av olika vätskeformiga råvaror skiljer sig kolutbytet beroende på vilken råvara som används. För slaktrester hamnar nästan allt kol i antingen bränsleprodukten eller i värdefulla gödselbiprodukter. För förvätskade skogsrester eller lignin hamnar 40-60% av kolet i drivmedelsprodukterna och en ganska stor andel av kolet i restgaser. En del av dessa gaser är koldioxid, medan en del utgörs av brännbara gaser som kan ersätta fossil naturgas i raffinaderiet där processen äger rum – och alltså också blir koldioxid i sista änden.

För bränslen som produceras via *förgasning* avskiljs koldioxid i koncentrerad form i processen, för att få rätt sammansättning på syntesgas för den katalytiska syntesen. Dessutom förbränns en del av råvaran för att försörja processen med värme. Typiskt hamnar bara 30% av råvarans kolatomer i drivmedelsprodukterna.

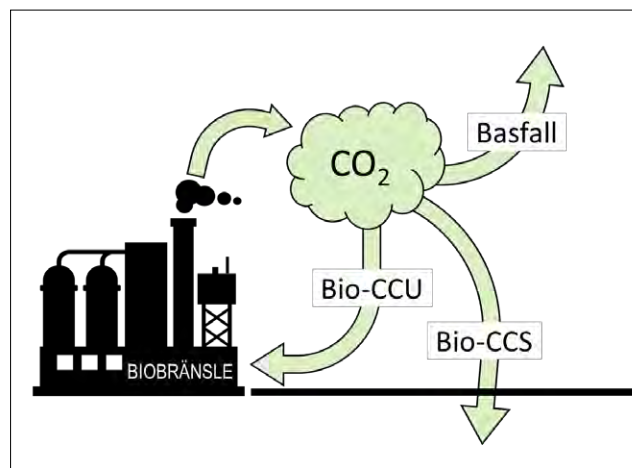
För de flesta teknikspåren hamnar alltså en ganska låg andel av kolet i den huvudsakliga biodrivmedelsprodukten, typiskt cirka 30-50% för lignocellulosabaserade råvaror. Biprodukterna innehåller ofta en stor andel av kolet, men

i nästan alla fall finns också betydande strömmar av koldioxid som oftast släpps ut till atmosfären – antingen i koncentrerad form (om den avskiljs i processen) eller i utspädd form (om den kommer från förbränning).

Hur kan kolutbytet öka?

Genom att avskilja och fänga in koldioxiden som annars släpps ut kan ”slöseriet” med biogent kol minskas. Vi undersökte två olika teknikalternativ för detta som tillsammans med ett basfall utan infångning visas i figur 1:

1. kolinfångning och permanent lagring, vilket kan ge biodrivmedel med negativa utsläpp (*bio-CCS*, carbon capture and storage),
2. ökad produktion av biodrivmedel från infångad koldioxid med hjälp av elektricitet (*bio-CCU*, bioenergy carbon capture and utilisation).



Figur 1. Schematisk illustration över hur kolutbytet vid produktion av biodrivmedel kan öka från basfallet, där stor andel av det biogena kolet släpps ut till atmosfären.

För lagringsalternativet krävs att den infångade koldioxiden förvätskas och fraktas till en lämplig plats för permanent lagring. För små produktionsanläggningar, eller för tekniker med små koldioxidströmmar, blir detta mycket dyrt. Därför är det viktigt att hitta sätt att utnyttja synergier mellan närliggande anläggningar som kan samverka kring logistik och infrastruktur.

Både koncentrerade och utspädda koldioxidströmmar kan fångas in och lagras (bio-CCS) eller användas (bio-CCU), men till högre energikostnad för de utspädda flödena. Eftersom de flesta produktionsspåren däremot har koldioxid i både koncentrerad och utspädd form blir det i de flesta fall mest lönsamt att fånga in och lagra eller uppgradera båda dessa flöden, eftersom det ger en synergieffekt.

Effektiv drivmedelsproduktion med negativa utsläpp – eller flerdubblad produktion

Genom att kombinera drivmedelsproduktion med antingen bio-CCS eller bio-CCU kan nästan alla studerade teknikspår höja kolutbytet, dvs. öka andelen av råvarans kol som hamnar i antingen drivmedelsprodukten eller i permanent lagring. Figur 2 illustrerar detta i fallet med *bränslen för vägtransporter*.

Med bio-CCS (mittenpanelen i figur 2) innebär det att det för nästan samtliga teknikspår går att åstadkomma både högt eller mycket högt kolutbyte, och negativa nettoutsläpp för produktionen samtidigt. Störst potential för negativa utsläpp har de teknikspår som har lågt kolutbyte i basfallet och som inte ger några större mängder värdefulla biprodukter som binder in kol. För dessa tekniker återfinns det kol som inte hamnar i bränsleprodukten i koldioxid (koncentrerad eller utspädd), ofta i relativt stora flöden. Detta gäller de flesta termokemiska tekniker som använder lignocellulosa-baserade råvaror, t.ex. baserade på förgasning eller pyrolys.

Med bio-CCU (högerpanelen) ökar kolutbytet genom att bränsleproduktionen från en given mängd råvara ökar, genom tillsats av vätgas från elektrolys. För flera av teknikspåren (samma spår som hade hög potential för negativa utsläpp med bio-CCS) kan produktionen dubblas eller till och med tredubblas. Detta kräver förstås en avsevärd insats av el – vilket kommer med kostnader både ekonomiskt och i form av växthusgasutsläpp. Som figuren visar är klimatpåverkan i den här studien ändå ungefär densamma som i basfallet – vilket förutsätter att det finns el producerad med lågt klimatavtryck tillgänglig¹.

De produktionstekniker som redan i basfallet har både högt kolutbyte och högt utbyte till drivmedel från råvara, som HVO från slaktrester, finns nästan ingen koldioxid att utnyttja för bio-CCS eller -CCU. Denna typ av tekniker är därför inte aktuella för att uppnå negativa utsläpp.

Negativa utsläpp betydelsefullt för flyget

För flygbränslespår gjordes en speciell analys om negativa utsläpp kan användas för att kompensera för de så kallade höghöjdseffekterna som uppkommer vid förbränning av bränslen i flygplan och som har högre klimatpåverkan än motsvarande användning för land- och sjötransporter. Höghöjdseffekterna uppkommer bland annat på grund av de effekter på molnbildning som partikelutsläpp från förbränning på hög höjd kan ha. De här climateffekterna, som

inte är relaterade till utsläpp av koldioxid, går inte direkt att minska med bioflygbränslen².

Det är därför av stort intresse för hållbart flyg att kombinera biodrivmedel med negativa utsläpp för att kompensera för höghöjdseffekterna. Figur 3 visar att för fem av de sju studerade flygbränslespårerna blir nettoeffekten på klimatet kylande eller bara mycket svagt värmande när biodrivmedelsproduktionen kombineras med bio-CCS. Detta gäller tekniker baserade på förgasning, hydropyrolys samt fermentering av lignocellulosa till alkoholer som sen uppgraderas till flygbränsle. Inget av dessa spår är idag i kommersiell produktion men ett flertal av dem är certifierade och under stark kommersiell utveckling.

Även för flygbränslen är uppgradering av koldioxidströmmar från bränsleproduktionen till drivmedel med elektrolysvätgas en möjlighet för att öka kolutbyte. Dock har detta alternativ lägre effektivitet än för vägtransportbränslen och framstår som mindre konkurrenskraftigt än kombinationen med bio-CCS.

Ökat kolutbyte ger kostnadseffektiv klimatnytta

Genom att lägga ihop kostnader för produktion och för minskade växthusgasutsläpp framträder kostnadsbilden för alla studerade drivmedelstekniker för både väg- och flygtransporter. Figur 4 visar detta i förhållande till ett basfall utan varken bio-CCS eller -CCU.

Om bränslena för flygtransport jämförs med vägtransport är både reduktions- och produktionskostnaderna generellt något högre för flygbränslen.

För vägtransporter uppvisar de flesta tekniker liknande produktionskostnad för basfallet som med bio-CCU. Eftersom klimatavtrycket också är jämförbart, som konstaterats ovan, blir även reduktionskostnaden likvärdig. Att använda bio-CCU för att producera mer biodrivmedel kan alltså vara ekonomiskt konkurrenskraftigt och kan därmed erbjuda en hållbar lösning för ett högre resursutnyttjande i en framtid med begränsade biomassatillgångar. Den ökade produktionskapaciteten för biodrivmedel kommer dock med ett motsvarande ökat elbehov, vilket i sin tur kräver uppskalning av hållbar elproduktion. För flygbränslen ses däremot en signifikant kostnadsökning i alternativet med bio-CCU, vilket gör detta alternativ mindre konkurrenskraftigt.

Om den avskilda koldioxiden i stället lagras genom bio-CCS får det producerade bränslet mycket god klimatprestanda (oftast negativa utsläpp) och minskad reduktionskostnad, men till högre bränslekostnad. Denna kostnad skulle kunna minskas avsevärt om marknader och/eller stödsystem för negativa utsläpp skulle skapas. Ekonomisk kompensation i storleksordningen 100 EUR per ton koldioxid skulle kunna göra de bästa biodrivmedelsspårerna med bio-CCS kostnadsmässigt konkurrenskraftiga i förhållande till både basfallet och bio-CCU-alternativet. Som noterats kan bio-CCS för flygbränsleproduktion också ge möjlighet till klimatneutrala flygtransporter, även med hänsyn till höghöjdseffekter.

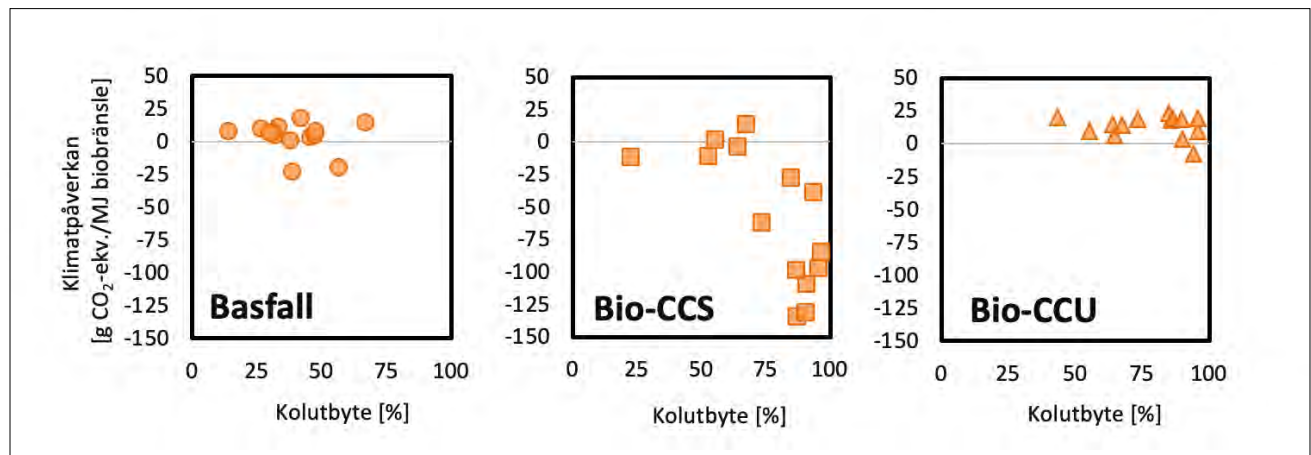
Störst nytta med bio-ccs och bio-ccu för skogsrestbaserade teknikspår

Nyckeln till att uppnå störst nytta med biodrivmedelsproduktion med bio-CCS eller bio-CCU är de framväxande teknikspår som kan utnyttja den stora inhemska råvarupo-

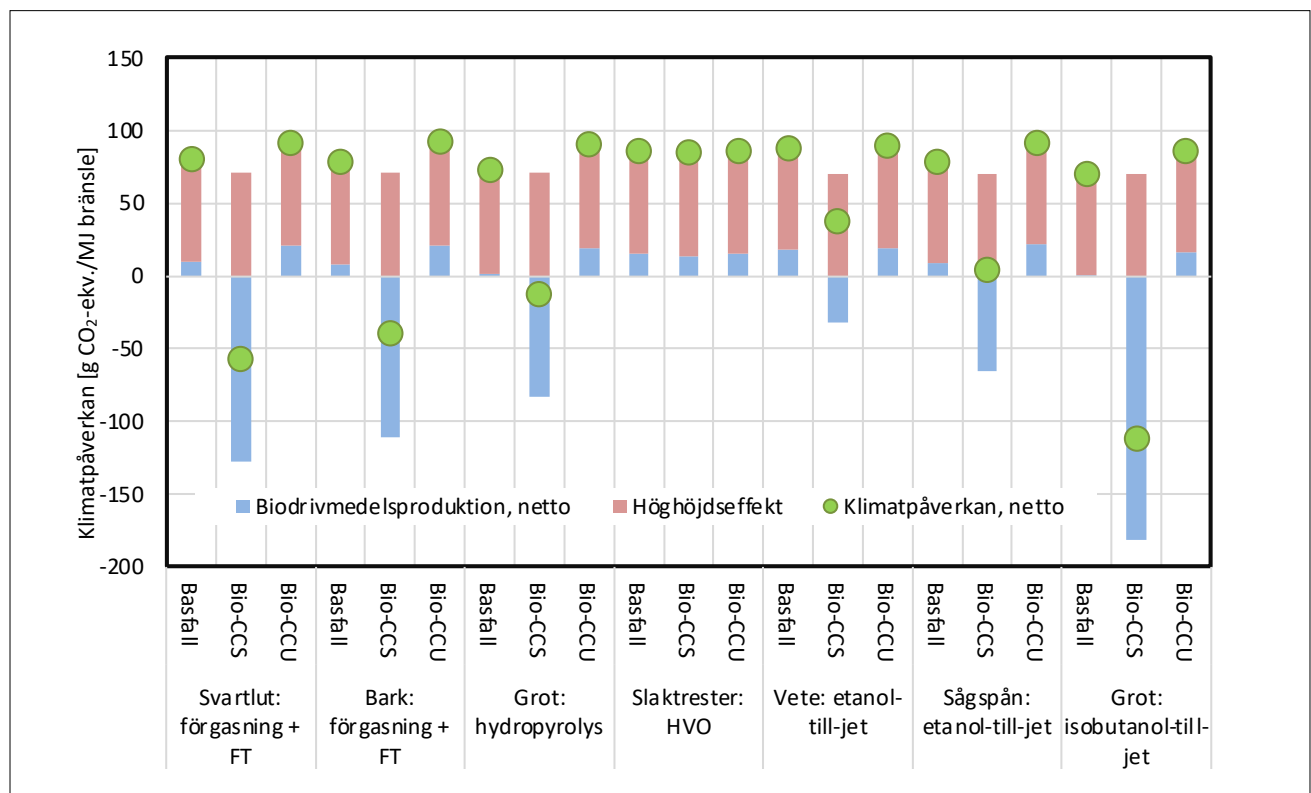
tentialen i restprodukter från skogen. Även om dessa inte alltid uppvisade lägst kostnader för växthusgasreduktion, uppvisade de både störst relativ ökning av kolutbytet (med både bio-CCS och -CCU) och störst minskning av växthusgaser (med bio-CCS). Ur ett kombinerat kol-, kostnads- och klimatperspektiv presterade teknikspår baserat på förgasning eller vätebehandling av skogsrester bäst.

För de idag kommersiella teknikspårerna är bio-CCS och bio-CCU av mer begränsat värde. Biogasspårerna har höga

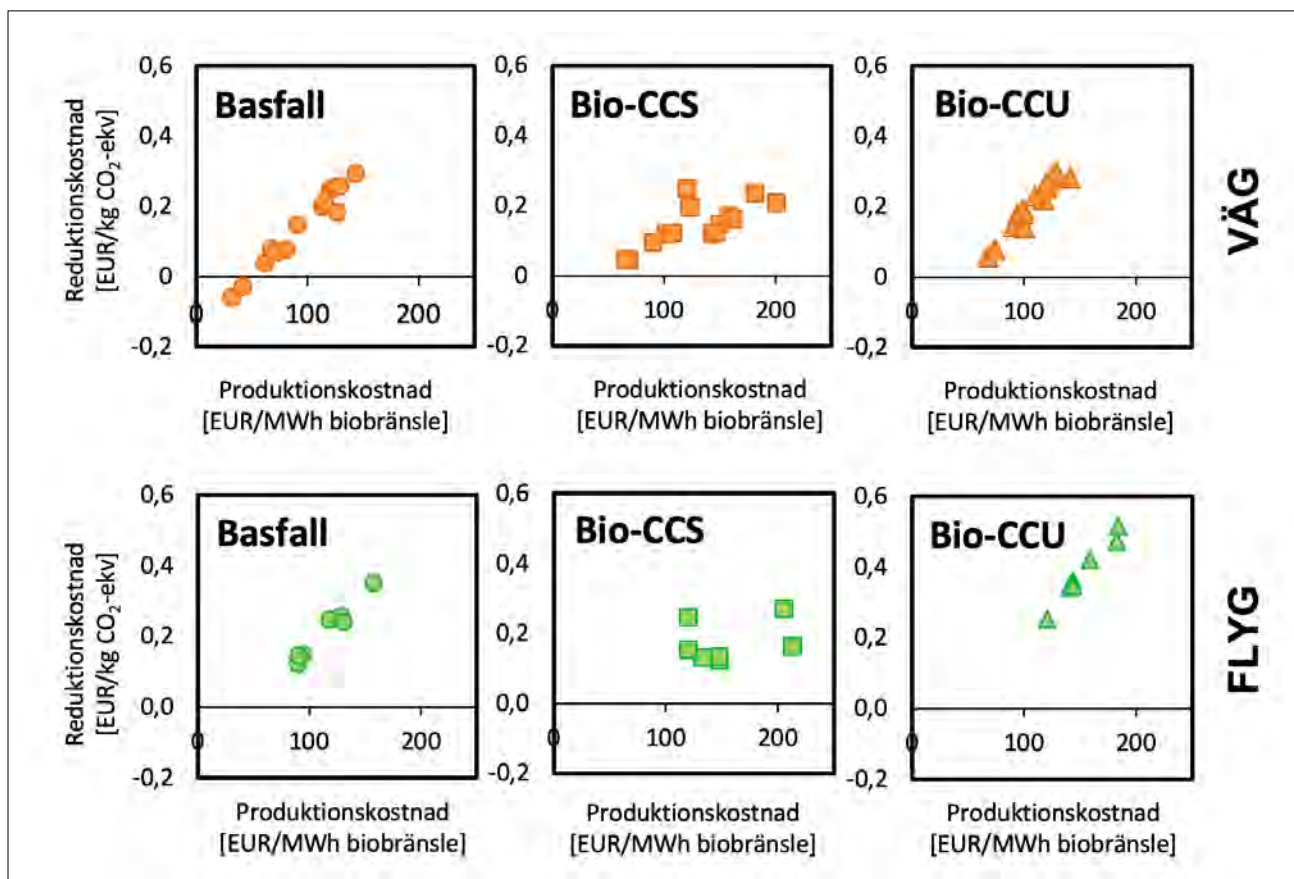
transportkostnader för koldioxid på grund av små och relativt utspridda anläggningar, och kommersiella spår för vätebehandling har redan högt kolutbyte. För dessa spår, liksom för etanol från vete, hamnar dessutom betydande mängder biogent kol i kommersiellt viktiga biprodukter, samtidigt som den svenska råvarupotentialen för ökad produktion är relativt begränsad.



Figur 2. Biodrivmedlens klimatavtryck som funktion av kolutbytet för bränslen för vägtransporter, för basfallet utan infångning av koldioxid, respektive med bio-CCS och bio-CCU. I kolutbytet räknas här kol i biodrivmedelsprodukten och kol i permanent lagring (CCS) in, men inte kol i biprodukter.



Figur 3. Klimatpåverkan från framställning och användning av bioflygbränsle för basfallet utan infångning av koldioxid, respektive med bio-CCS och bio-CCU. Röda staplar är höghöjdseffekt, blå staplar är nettoutsläpp från drivmedelsproduktion. De gröna cirkelarna visar den sammantagna klimatpåverkan.



Figur 4. Växthusgasreduktions- och bränsleproduktionskostnader för de olika studerade alternativen för biodrivmedel för vägtransporter (överst, orange) och flygtransporter (nederst, grön). Produktionskostnader för bio-CCS är utan någon ersättning för negativa utsläpp (lagring av biogent kol).

¹ I beräkningarna i den här studien har vi utgått från svensk elmix, vilken har lågt klimatavtryck.

² Det finns ett flertal nya studier som indikerar att höghöjdseffekterna kan vara mindre för syntetiska bränslen, t.ex. biobränslen, jämfört med fossilt flygbränsle. Detta är lovande men resultaten är i dagsläget osäkra och behöver verifieras och kvantifieras noggrannare.

Multitankstationer

APRIL 2022

**Anders Hjort, Anton Fagerström, Johan Rootzén, Karl Jivén,
Theo Nyberg, Sofia Poulikidou, Adam Lewrén och Mirjam Särnbratt,**
IVL Svenska Miljöinstitutet

Pontus Bokinge och Stefan Heyne,
CIT Industriell Energi

15

Nyttja befintlig gasinfrastruktur för introduktion av vätgas

Vätgas, H_2 , förväntas spela en viktig roll för att reducera miljöpåverkan i transportsektorn och betraktas som en viktig komponent i den framtida bränslemixen för såväl vägtransport och sjöfart som flyg. Vi har undersökt möjligheten för vätgasproduktion i större skala en bit bort från tankstation för vätgas och vid tankstation för vätgas genom att systematiskt utvärdera teknoekonomiska parametrar och miljöparametrar. Vi utgick från vätgas producerad antingen genom elektrolys av vatten eller via ångformering av uppgaderad biogas, s.k. biometan.

Tanken med en multitankstation är att tillhandahålla flera bränslen vid en enda tankstation såsom vätgas, biometan och el. En multitankstation kan därför möjliggöra en gradvis marknadsintroduktion av ett nytt bränsle baserat på infrastrukturen och distributionsnätverket hos ett befintligt bränsle. Det nya bränslet, i detta fall vätgas, kan dra flera fördelar av detta koncept:

- Vätgas som fordonsbränsle kan införas gradvis vid tankstationen och därmed matcha efterfrågan.
- Potentiella kostnader och risker för själva investeringen i vätgastankstationen minimeras. Det gäller också för kommersiella aktörer som överväger att investera i vätgasfordon, eftersom utbudet av vätgas kan skalas med efterfrågan.
- Dilemmat med hönan och ägget, att fordon behöver tankstationer för att fungera och tankstationer behöver fordon som tankar, kan undvikas.

Det finns också fördelar kopplat till samlokalisering av vätgastankstationen och tankstationen som kan förkorta tiden från beslut till realisering. De kan uppnås genom att:

- Tiden det tar att hitta en lämplig plats för vätgastankstationen elimineras. De mest attraktiva platserna för tankstationer är i allmänhet ofta redan upptagna av befintliga tankstationer; samlokalisering möjliggör yta som redan är anpassad för försäljning av bränsle till fordon.

- Det minskar den tid som krävs för förare att hitta till en ny station och tanka sina fordon.
- Tidsåtgång för vissa tillståndprocesser i samband med stationsutbyggnad jämfört med etablering på nya platser kan minska.

Fyra systemlösningar för multitankstationer med vätgas

Konceptet med multitankstationer utvärderades baserat på fyra systemlösningar:

- central elektrolys av vatten för produktion av vätgas
- central reformering av biometan för produktion av vätgas
- decentraliserad elektrolys av vatten för produktion av vätgas
- decentraliserad reformering av biometan för produktion av vätgas

De två första kräver transport av vätgas mellan produktionsplatsen och tankstationen, medan de två senare producerar vätgas på plats vid tankstationen. Alla fyra produktionssystemen utvärderas för leverans till olika storlekar av vätgastankstationer (150 resp. 300 ton vätgas årligen), vilket innebär en jämförelse mellan åtta alternativ med olika uppställningar enligt tabellen,

Vätgasproduktion genom elektrolys

Vätgas kan framställas genom elektrolys av vatten i en elektrolysör. Denna process använder elektricitet (och ibland värme) för att elektrokemiskt dela upp vatten till väte och syre. Elektrolys av vatten för vätgasproduktion är en teknik som utvecklas snabbt och som för närvarande får stor uppmärksamhet från beslutsfattare, teknikutvecklare, industriella konsumenter, fordonstillverkare och allmänheten. Den förväntade ökningen av installerad kapacitet under det kommande decenniet är enorm.

Bland befintliga och utvecklande elektrolysprojekt kan två kommersiella teknologier urskiljas: alkalisk elektrolys (AEL) och elektrolys med protonutbytesmembran (PEM).

Systemlösningar uppdelade i fyra basfall med central produktion och fyra basfall med decentraliserad produktion.

Systemlösning och alternativ		Transportkrav för H ₂ -bärare	Produktionsvolym		Teknik för produktion av H ₂	Transportkrav för framställd H ₂	Tankstation (Kapacitet)	
			GWh H ₂ /år	ton H ₂ /år			GWh H ₂ /år	ton H ₂ /år
Central produktion	1a	Rörledning (H ₂ O)	50	1 500	Elektrolys av vatten	Vägtransport	5	150
	1b		50	1 500			10	300
	2a	Produktion på plats (CH ₄)	50	1 500	Reformering av biometan	Vägtransport	5	150
	2b		50	1 500			10	300
Decentraliserad produktion	3a	Rörledning (H ₂ O)	5	150	Elektrolys av vatten	Inga, produktion sker på plats	5	150
	3b		10	300			10	300
	4a	Rörledning/vägtransport (CH ₄)	5	150	Reformering av biometan	Inga, produktion sker på plats	5	150
	4b		10	300			10	300

Alkaliska och PEM-system är kommersiellt tillgängliga vid de systemstorlekar som undersökts i vår studie och vi har härlett kostnaden för alkaliska elektrolysörer baserat på data från leverantör.

Vätgasproduktion genom ångreformering av metan

Metan kan omvandlas till vätgas genom en process som kallas ångmetanreformering (eng. Steam Methane Reforming, SMR) eller ångreformering. Cirka 96 % av dagens globala vätgasproduktion med SMR produceras från fossila resurser såsom naturgas, kol, olja och oljederivat. I vår studie har biogas producerad vid svensk samrötningsanläggning som uppgraderats till ren s.k. biometan använts som råvara för vätgasproduktionen.

Småskalig SMR för förnybar vätgasproduktion från biometan har ännu inte en fullt utvecklad och etablerad marknad över hela världen, och anläggningarna som tas i drift är inte optimerade efter de skalfördelar som kan finnas. I stället föredras i allmänhet modulära och anpassningsbara lösningar.

Transport av vätgas

Lastbiltransport är ett vanligt sätt att transportera vätgas till tankstationer som inte är anslutna till en vätgasledning. Vätgas lagras i cylindriska stål- eller lågviktskompositkärl, som buntas ihop i behållare som fungerar som mobila gaslager. På tankstationen kan sedan tomma mobila gaslager bytas ut mot fulla mobila gaslager.

Vätgastankstationer idag och kraven på utformning

Även om antalet vätgastankstationer har ökat de senaste åren var endast 540 stationer i drift i slutet av 2020. Majoriteten av dem finns i Japan (140 st), Tyskland (90 st) och Kina (85 st).

Brist på stordriftsfördelar, låg individuell stationskapacitet, låg utnyttjandegrad och relativt höga kostnader för vätgastankningsutrustning gör att tankstationerna för närvarande vanligtvis står för en betydande del av kostnaden för vätgas.

Utformningen och konfigurationen av vätgastankstationen beror i första hand på om vätgas som tillförs stationen är i gasform eller flytande form, samt hur den dagliga tankningsprofilen ser ut. Nyckelkomponenter inkluderar kompressorer (medel- eller högtryckskompressorer beroende på

stationens konfiguration), trycksatt lagring, kylningsutrustning, dispensrar och kontroll- och säkerhetsutrustning.

Priset på vätgas för slutkonsumenten

Kostnadssyntesen som studien gjort syftar till att presentera kostnaderna för att bygga, underhålla, producera och göra vätgas tillgängligt för slutkonsumenter vid vätgastankstationer vid en redan befintlig biometantankstation.

En generell slutsats är att systemen med den mindre kapaciteten är dyrare sett till kostnad per kg vätgas, och att elektrolysbaserade system är billigare jämfört med reformerbaserade system. Det som påverkar den totala produktionskostnaden för vätgas mest är priset på el respektive biometan. Det första påverkar elektrolysbaserad vätgasproduktion och det andra reformerbaserad vätgasproduktion.

Staplarna i diagrammet visar hur kostnader för produktion, distribution och själva vätgastankstationen (byggnad, underhåll och tillgängliggörande av vätgas) fördelar sig för de åtta olika systemlösningarna.

Kostnadsbedömningarna är giltiga för närvarande. För vissa komponenter skulle kostnaderna kunna sänkas relativt snabbt i framtiden genom ökade produktionsvolymerna och tillhörande stordriftsfördelar i antal producerade enheter. Det gäller sannolikt kompressoraggregat och elektrolysörer, eventuellt även vätgaslager.

Störst utsläppsminskning med ångreformering

Miljöpåverkan från produktion och distribution av vätgas till tankstationerna utvärderades ur ett livscykelperspektiv och genom att beakta alla nyckelaktiviteter relaterade till vätgasproduktion, distribution och lagring. Vi har fokuserat bedömningen på klimatförändringar och prestandan hos de olika vätgasproduktionssystemen när det gäller utsläpp av växthusgaser.

Bedömningen gjordes genom att följa riktlinjer för livscykelanalys enligt förnybartdirektivet Renewable Energy Directive (RED och REDII) respektive ISO 14040. ISO 14040 är en standard för livscykelanalys (LCA), en allmänt använd metod som kvantifierar den potentiella miljöpåverkan relaterad till en produkt eller ett system under hela dess livscykel, det vill säga från materialutvinning och tillverkning till användning och till dess produkt eller system slutar att användas. RED och RED II är inte ett LCA-ramverk, men har ett livscykelbaserat tillvägagångssätt där man beaktar utsläppen av biobränslen för transporter, förnybara

bränslen och el, värme och kyla.

Resultaten tyder på att ångreforming av biometan för vätgasproduktion i en central eller decentraliserad anläggning är alternativen med lägst nettoutsläpp. Detta beror främst på den låga påverkan av biometan för RED, RED II och ISO, särskilt när avfall och restprodukter används som substrat och särskilt när ISO-metoden används. Med den tas även hänsyn till att biprodukter från biometanproduktion kan användas för att ersätta fossila alternativ, till exempel mineralgödsel.

Kolintensiteten, summan av all koldioxid som släpps ut i samband med energianvändning i systemet, är viktig att ta hänsyn till. I enlighet med andra studier kan kolintensiteten i den använda elmixen, särskilt vid vätgasproduktion via elektrolys, samt möjligheten att kompensera för de erhållna biprodukterna (som värme eller syre), ha en stark inverkan på resultaten. När det gäller system för reformering av biometan, skulle kolintensiteten hos den biometan som används i processen avgöra vätgasens övergripande miljöprestanda.

När det gäller energieffektivitet visar de olika systemlösningarna en liknande prestanda; samtliga har en verkningsgrad på över 55 %. Vätgasproduktion via elektrolys fick den lägre verkningsgraden, 58-59 % medan vätgasproduktion

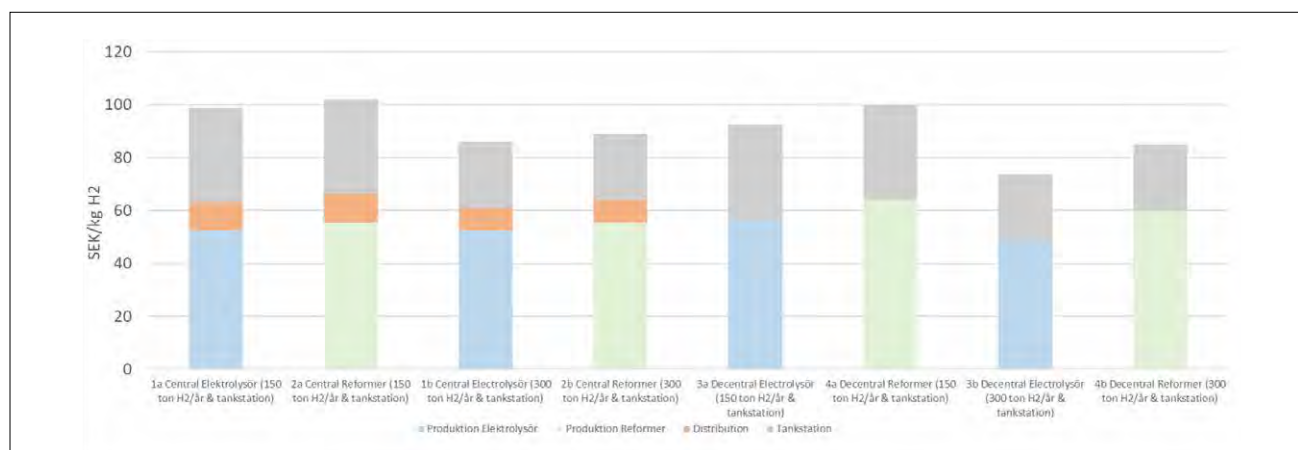
via ångformering uppnådde högre verkningsgrad, cirka 68 %. Med hänsyn till överskottsvärmen som kan utnyttjas från produktion av vätgas via elektrolys av vatten, kan dock energieffektiviteten förväntas öka till 73 %.

Kostnads- och klimatfördelar med olika system

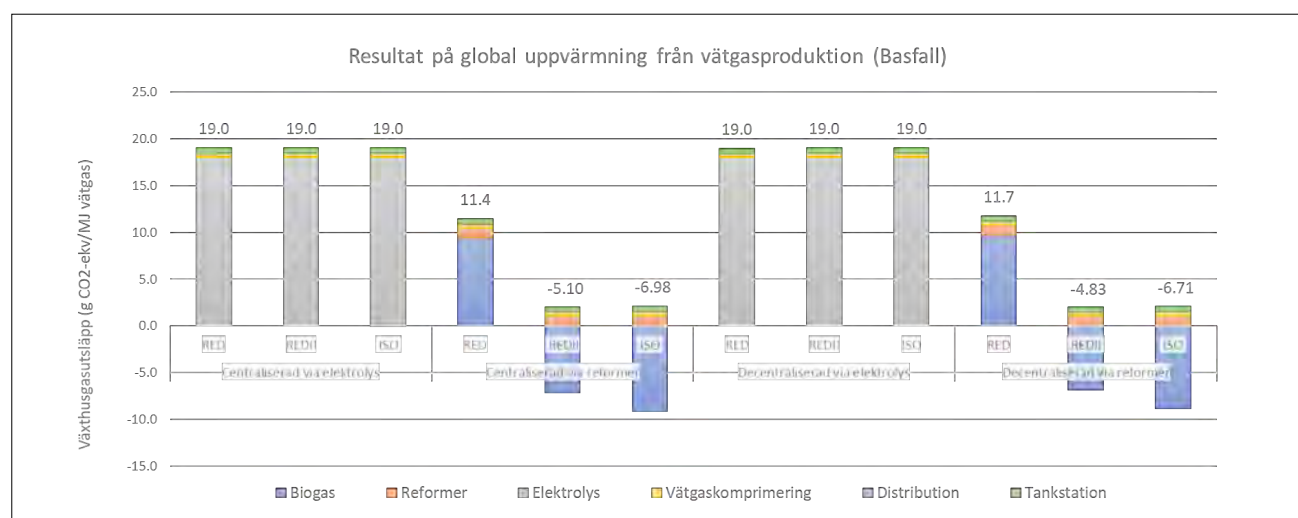
Systemen med den mindre kapaciteten är dyrare sett till kostnad per kg vätgas, och elektrolysbaserade system är billigare jämfört med reformerbaserade system. Det som påverkar den totala produktionskostnaden för vätgas mest är priset på el respektive biometan. Det första påverkar elektrolysbaserad vätgasproduktion och det andra reformerbaserad vätgasproduktion.

Det krävs sänkt investeringskostnad för produktion och distribution av vätgas och sänkt pris på el och biometan för att nå kostnadseffektivitet. För kostnaden per kg vätgas utgör kostnaden för tankstationen en stor post relativt resterande delsystem.

Grön hållbar vätgas har god klimatprestanda så länge som förnybar el och hållbar biometan används för att producera vätgasen. Om exempelvis europeisk elmix eller om biometan gjort på grödor används så blir klimatprestandan sämre.



Kostnad per mängd vätgas vid tankstation i SEK/kg vätgas för de åtta beräknade basfallen.



Växthusgasutsläpp vid tankstation i g CO₂-ekv/MJ vätgas för de åtta beräknade basfallen.

Ge biogasen nya förutsättningar att utvecklas när bussflottan i flera städer elektrifieras

Michael Martin,

IVL Svenska Miljöinstitutet och KTH Kungliga tekniska högskolan

Sjoerd Herlaar, Tomas Lönnqvist, Sara Anderson, Åsa Romson och Anders Hjort,

IVL Svenska Miljöinstitutet

Philip Peck,

Lunds universitet

16

Åtta rekommendationer till beslutsfattare

Först och främst bör biogasmarknadsutredningens förslag genomföras, liksom förslag i andra utredningar som stärker produktion och användning av biogas. Det finns dock anledning att utöver detta även ge breda incitament för utveckling av fler biogasmarknader:

1. Påverka så att EU-reglerna om klimatnytta beräknas i livscykelperspektiv och spårbarhet för grön gas möjliggörs, ex bör klimatregelverk för fordon baseras på livscykelanalys av bränslet och inte enbart beakta vad som kommer ur avgasröret, och EU-ETS behöver möjliggöra att grön gas inte kräver utsläppsrätter. Vidare är det även viktigt att kommande regler kring den s.k. taxonomin styr mot att biogasens breda nyttor ska kunna tillgodoräknas.
2. Skapa incitament för andra nyttor än klimat. Det behövs incitament för ett effektivt omhändertagande av resurser från avfall och för återföring av näring genom användning av biogödsel. Incitament kan skapas genom utveckling av skatter och stöd som gynnar omhändertagande och kretslopp eller gör det svårare och dyrare med icke resurseffektiva flöden.
3. Ta med biogas när incitament utvecklas för negativa klimatutsläpp. Om det sker uppsamling av 'grön' koldioxid vid uppgraderingsanläggningar för biogas skulle denna kunna vara intressant för lagring eller annan användning som ger negativa klimatutsläpp. Biogasproduktion är också ett viktigt verktyg för omhändertagande av metan som annars skulle läcka ut till luft från exempelvis lagring och hantering av gödsel.
4. Kompletterande incitament behövs för att fler marknader ska utvecklas för biogas. Genom förvätskning av biogas utökas marknaden för biogas inom tunga vägtransporter och sjöfart, men också emot industrin. Utvecklingen med elektrifiering och vätgas pågår samtidigt. För att möjliggöra fler marknader för biogas bör både vägtransporter och sjöfart ses som områden där biogas kan ha en betydande roll i framtiden. Även för industrin kan biogas vara intressant som alternativ till fossilbaserad gas. Det behövs dock kompletterande incitament för att betalningsviljan inom internationell sjöfart och industri ska matcha biogasens produktionskostnader.
5. Privata och offentliga kunders efterfrågan på gods-transporter som använder biogas bör stimuleras som en del av de stöd som idag ges för bland annat produktion och distribution av flytande biogas (LBG). Detta kan stödjas genom riktat upphandlingsstöd och hjälp att sprida kunskap bland privata och offentliga transportköpare.
6. Koordinera reformer så att de stödjer en övergång till nya marknader utan stora nedgångar i efterfrågan. Nya biogasmarknader behöver byggas upp innan kollektivtrafikmarknaden minskar för att undvika en stagnation och utebliven klimatnytta för elektrifieringen. Biogasaktörerna behöver få signaler om förändringar i god tid för att själva kunna ställa om och anpassa den infrastruktur som byggs upp.
7. Staten behöver ha beredskap att agera utifrån utvecklingen av import och export av biogas. Det är viktigt att staten noggrant följer hur stödsystem som används för produktion och användning av biogas i grannländerna samt agerar för att ta omhand biogasens samhällsnyttor i Sverige samtidigt som en sund konkurrens bibehålls.
8. Staten bör uppmärksamma regionernas arbete med biogasutvecklingen. Staten skulle därför kunna efterfråga att det i alla regionala utvecklingsplaner finns analyser kring utvecklingen för biogas i regionen. Detta skulle vara viktigt underlag för Energimyndighetens arbete i uppföljning av ett eventuellt nationellt produktionsmål för biogas, vilket föreslogs av biogasmarknadsutredningen.

Varför behövs dessa reformer?

1. Ökad biogasanvändning men bara svagt ökad biogasproduktion i Sverige idag

I Sverige produceras årligen omkring 2 TWh biogas från främst avloppsslam, matavfall och gödsel. Den största andelen av biogasen som produceras uppgraderas och används som fordonsbränsle (64 procent), resen används som värme

(19 procent), för elproduktion (2 procent), till industriella processer (2 procent) eller facklas bort (11 procent)¹. En majoritet av biogasen som går till transportsektorn används idag som bränsle för bussar i kollektivtrafiken i städer.

Sedan 2015 har biogasanvändningen i Sverige mer än fördubblats, medan svensk produktion bara ökat med 9 procent under samma period. År 2019 uppgick användningen av biogas till knappt 4 TWh i Sverige. Den ökade efterfrågan har täckts med en ökad import av biogas, främst från Danmark. Merparten av den biogas som importeras används i industrin och till uppvärmning². Den svenska produktionspotentialen för biogas från rötning har bedömts vara mellan 14 och 15 TWh år 2030³. Produktionspotentialen baseras framförallt på ökat nyttjande av rester och åkerbaserade grödor utan annan avsättning (s.k. ILUC-fria grödor⁴) men även bättre nyttjande från matavfall, avloppsslam, gårds-gödsel och avfallsdeponier.

2. Vem efterfrågar biogas i framtiden?

Den stora andelen av biogasproduktionen som idag används för bussar i kollektivtrafik i städerna väntas minska kraftigt de kommande åren⁵. Biogas kan dock användas i många olika sektorer. Hälften av de branscher som formulerat en färdplan för fossilfri konkurrenskraft pekar ut biogas som del av omställningen, däribland gasbranschen, lantbruksbranschen, flygbranschen, sjöfartsbranschen, stålindustrin, fordonsbranschen för både lätta och tunga fordon samt åkerinringen.⁶ Många spår en ökad biogasanvändning främst inom tunga vägtransporter. Biogas i flytande form (LBG) ses som viktig för långa godstransporter medan biogas i komprimerad form (CBG) ses som strategisk för främst bussar i regionaltrafik⁷. Samtidigt pågår även elektrifieringen brett inom vägtransporterna. Både aktörer och biogasmarknadsutredningen pekar på att det finns stor potential för ökad användning i industri och kraftvärme, särskilt den som är kopplad till gasnätet, och för sjöfarten där många fartyg redan är anpassade att drivas med gas⁸.

3. Biogas har fler nyttor än klimat

Biogas är ett bränsle med flera miljönyttor, både vid produktion och användning. Vid användning av biogas som fordonbränsle i bilar, lastbilar och fartyg kan fossila bränslen ersättas, vilket leder till att utsläppen av växthusgaser och en del andra luftföroreningar minskar i jämförelse med konventionella drivmedel. Vid produktion av biogas tas avfall och restprodukter omhand för energiutvinning och produktionen ger utöver biogas även s.k. biogödsel, där de näringsämnen som finns kvar efter rötning tas om hand och används som växtnäring i lantbruket. I de fall där gårdsgödsel används för produktion av biogas kan även metanutsläppet från gödselhanteringen minska, vilket leder till minskad klimatpåverkan (sk gödselkredit i RED2). På detta sätt bidrar biogas till både effektiv resursanvändning och till klimat- och miljönytta. Produktionen sker spritt över hela landet och kan därför även bidra till det regionala näringslivet.

4. Produktion och användning av biogas är ofta starkt regionalt förankrat men saknar strategi

I många regioner i Sverige finns en utvecklad strategi kring produktion och användning av biogas. Regionerna är engagerade i biogasens utveckling utifrån att de värnar om god resurseffektivitet från offentliga avfallsanläggningar, styr

mot minskad klimatpåverkan genom utbyte av fossila energikällor och ökad miljönytta i lantbruket. Biogasens många nyttor har till stor del synts lokalt och regionalt när kommunala reningsverk kunnat bidra med drivmedel till kollektivtrafiken samt att lokala lantbruksföretag kunnat minska metanutsläppen, återföra näring till jorden och samtidigt bidra till drivmedel för exempelvis livsmedelstransporter.

I flera regioner har det formats 'biogaskluster', antagits biogasstrategier eller tillsatts biogassamordnare för att underlätta informationsspridning och planering hos både offentliga och privata aktörer. Regionalt finns nyttan av närhet mellan produktion och marknad. Regioner har bland annat initierat och drivit samverkan med (i) industrikluster som har gasbehov och hjälpt dessa med systemtänk där biogas kan vara en del, (ii) stöttat lantbruket och avfallsbolagen så att fler restprodukter kan tas omhand till biogas, samt (iii) stärkt efterfrågan på biogas genom att jobba med upphandlingsfrågor⁹. En ändring i synsätt märkas nu då kollektivtrafikmyndigheternas upphandlingar visar att biogas inom kort konkurrerar med flytande biobränslen och att det främst är klimatvillkor som ställs.

På nationell nivå saknas motsvarande starka politiska förankring och engagemang för svensk biogasproduktion och biogasanvändning. Biogas stöds främst utifrån klimat-aspekten. Många av de stöd och styrmedel som har kommit biogasen till del har inte utgått specifikt ifrån biogasens förutsättningar och många samhällsnyttor. Stöd i form av skattenedsättningar för drivmedel har införts för begränsad tid och varit svåra att förutse, och reformerna av reglerna kring s.k. miljöbilar har ibland varit oklara i relation till biogas som drivmedel. Någon specifik plan eller strategi för biogasproduktion och biogasanvändning i Sverige har inte funnits på nationellt plan. Nu förbereds ett förslag om ett nationellt produktionsmål¹⁰ vilket till viss del skulle kunna ha en sådan strategisk effekt.

5. Nya marknader för biogas kräver incitament nu för att övergången ska funka

Biogasmarknadsutredningen bedömde att det inom kort kommer saknas tillräckliga incitament för att producera biogas och andra förnybara gaser till industri och sjöfart från inhemska substrat. Utredningen bedömer därför att åtgärder bör vidtas för att främja en ökad konsumtion av inhemskt producerade förnybara gaser. Utredningen la fram konkreta förslag för flera produktionsstöd för biogas¹¹.

Drivkrafter för en ökad elektrifiering är starka och den pågående övergången till elektrifiering av bussarna i innerstäderna försvagar den hittills största marknad för den svenska biogasproduktionen. Samtidigt är en positiv klimat-effekt av elektrifieringen innerstadsbussarna avhängigt av att biogasen ersätter andra fossila utsläpp, vinsten uteblir om biogasen istället slås ut. Då omläggningen riskerar förskjuta den nuvarande biogasen till nya och hittills mindre utvecklade marknader krävs koordinerade insatser för att lyckas.

Utmaningar att etablera biogas på nya marknader kan handla om pris, volym, teknik, eller distribution och leveranssäkerhet. Utmaningar ligger i att stora investeringar har gjorts i infrastruktur för biogasbussar inom kollektivtrafiken som inte är avskrivna och svåra att flytta på och att svårigheter finns för aktörerna att förstå och följa med i de politiska

beslut som fattas¹². Biogasen har utvecklats mot en nisch-marknad (kollektivtrafiken) där förutsättningarna försvinner innan teknologin hunnit mogna kommersiellt. Nya aktörer efterfrågar en delvis långsammare förändring i villkoren för biogas för att kunna göra anpassningar till framtida efterfrågan på flytande biogas. Vid en förskjutning av biogasen från kollektivtrafiken till tung trafik och sjöfart är det troligt att betalningsviljan för biogasens samhällsnyttor minskar på grund av en övergång från offentliga till privata kunder¹³. Detta givet att den sjöfart som upphandlas offentligt såsom Gotlandstrafiken står för en mindre del av efterfrågan.

6. Styrmedel och regelsystem missar ofta biogas

De senaste åren har industrin visat ett ökat intresse för användning av biogas, exempelvis som ersättning för gasol. Flera industrier utmed gasnätet har också valt att gå över från naturgas till biogas när priset på biogas varit lågt. Ett hinder för ökad biogasanvändning inom industrin är dock att biogasanvändningen inte kan tillgodoräknas inom ramen för EU:s utsläppshandelssystem, EU-ETS. Om förnybar biogas och fossil naturgas samdistriberas i samma gasnät räknas nämligen all gas som fossil enligt den svenska tillämpningen av EU-förordningen om utsläppsrätter¹⁴.

Skattemässigt gör Sverige en skillnad på biogas och fossil naturgas vilket appliceras då gaserna blandas i samma ledning eller distributionsnät, s.k. gröngas-principen. Men EU:s regelverk som sätter krav för koldioxidutsläpp för bilar och lastbilar gör ingen skillnad. Idag görs ofta ingen rättvis utvärdering av klimatnytta gentemot elfordon då man inte mäter påverkan i ett livscykelperspektiv. Regelverk avseende koldioxidnormer för fordon inom EU tar inte hänsyn till biogasens klimatnytta utan styr enbart utifrån koldioxidutsläpp från avgasröret, så kallade tail pipe emissions. Ska biogasen ges rättvisa förutsättningar bör dessa EU-regelverk utvecklas till att mäta klimatnytta i livscykelperspektiv.

När nya styrmedel övervägs, exempelvis för negativa utsläpp i Sverige¹⁵ och EU:s regler för vad som anses vara hållbara investeringar, den s.k. taxonomin, är det viktigt att regelverk utformas så att biogasens klimatnytta i ett livscykelperspektiv kan tillgodoräknas. Detta möjliggör en rättvis värdering och jämförelse mellan olika alternativ för att minska klimatpåverkan.

¹. Energimyndigheten. Produktion och användning av biogas och rötrest år 2019. ER 2020:25

². *ibid*

³. SOU 2019:63 Mer biogas! För ett hållbar Sverige. Betänkande av biogasmarknadsutredningen (2019)

⁴. Ahlgren, S., Björnsson, L., Prade, T., & Lantz, M. (2017). Biodrivmedel och markanvändning i Sverige. Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet

⁵. SOU 2019:63

⁶. Genomgång av 22 färdplaner publicerade av regeringsinitiativet Fossilfritt Sverige.

⁷. Debattartikel Fossilfritt Sverige och transportaktörer om vilken nisch de ser för olika fossilfria lösningar, DN 2017

⁸. SOU 2019:63 och workshop med 15-tal biogasaktörer inom ramen för detta forskningsprojekt hos IVL Svenska Miljöinstitutet

⁹. Anderson S, Lind L (2018). Framtidens kollektivtrafik i Stockholms Län - En framtidsstudie över olika drivmedelsval och möjligheter att använda el och biogas i kollektivtrafiken. 2050 Consulting, på uppdrag av Scandinavian Biogas; Lönnqvist, T. et. al., (2020) Verktyg för biogasutveckling. En skrift för dig som jobbar för med hållbara transporter. Rapport nr FDOS 01:2020.

¹⁰. SOU 2019:63

¹¹. *ibid* 2021-01-21

¹². Workshop med 15-tal biogasaktörer inom ramen för detta forskningsprojekt hos IVL Svenska Miljöinstitutet 2021-01-21

¹³. Hagstroem A. Masteruppsats KTH 2019. 'Prospects for continued use and production of Swedish biogas in relation to current market transformations in public transport'

¹⁴. SOU 2019:63

¹⁵. SOU 2020:4 Vägen till en klimatpositiv framtid. Betänkande från klimatpolitiska vägvalsutredningen (2020)

Bio-elektrobränslen – hybriddrivmedel för förbättrad resurseffektivitet

MAJ 2022

Erik Furujsjö och Sennai Mesfun,
RISE Research Institutes of Sweden

Mahrokh Samavati,
KTH Kungliga tekniska högskolan

Anton Larsson och Gabriel Gustafsson,
BioShare AB

17

Biomassaresursen är begränsad och ska användas effektivt

Biodrivmedel är en viktig komponent i omställningen till en hållbar ekonomi och ett hållbart energisystem. Två viktiga faktorer för en hållbar omställning är god klimatprestanda hos de biodrivmedel som produceras samt resurseffektivitet. Dagens kommersiella produktionsprocesser för biodrivmedel från skogsbiomassa (lignocellulosa) och de som är under kommersiell utveckling, har ofta begränsad resurseffektivitet, sett till utnyttjandet av biomassans kolatomer. Det innebär att det finns kol i bioråvaran som, i varierande grad, inte hamnar i slutprodukten. Att öka kolutnyttjandet skulle innebära att utbytet från en viss mängd bioråvara blev större.

Nuvarande och kommande teknik för produktion av biodrivmedel från exempelvis bark och sågspån medför typiskt att bara 25–50 % av bioråvarans kol hamnar i produkten. Det finns främst tre orsaker till att förnybara kolatomer förloras i när biomassa omvandlas till drivmedel:

- Bioråvaran och produkten har väldigt olika kemisk sammansättning. Dagens drivmedel (t.ex. bensin och diesel) är valda för att vara lätta att framställa ur fossil olja, vilket innebär att de är svåra att framställa ut biomassa med en helt annan kemisk sammansättning.
- Bioråvaran används även som energikälla i processen, vilket vanligtvis innebär att en del av råvaran förbränns.
- Kolatomer hamnar i biprodukter, som har lägre nytta eller värde. Exempel på sådana är ligninbränslepellets och bränn-gaser.

Tillsats av el kan ge ökad mängd biodrivmedel

Elektrifiering av bioraffinaderier har stor potential att öka resurseffektiviteten i användningen av bioråvaran. De främsta orsakerna är

- att el kan användas för att framställa vätgas som gör det lättare att hantera den skilda sammansättningen mellan biomassa och bränsleprodukt

- att el kan ersätta delar av bioråvaran som energikälla för processen, vilket minskar förbränning av råvaran

Att kombinera elektrifiering med olika produktionsvägar för biodrivmedel gör att vi kallar produkterna för bio-elektrobränslen eftersom de kan beskrivas som hybrider av rena biodrivmedel (som framställs ur biomassa med liten eller ingen övrig energitillförsel) och rena elektrobränslen (som framställs ur koldioxid och el).

För att i detalj studera effekten av elektrifiering på resurseffektivitet, energieffektivitet, produktionskostnader och växthusgasutsläpp valde vi ut tio relevanta specifika produktionsvägar för biodrivmedel ur restprodukter från skogsbruk och jordbruk. De undersökta produktionsvägarna är sådana som håller på att kommersialiseras i nuläget, baserade på kända tekniker som förgasning, pyrolys och fermentering.

För att kvantifiera potentialen för de el-boostade produktionsvägarna att förbättra resurseffektiviteten, analyserades hur stor andel av råvarans kol som hamnar i de olika drivmedelsprodukterna, vid olika elektrifieringsgrad för olika bio-elektrobränslespår.

Vi kunde se en tydlig och kraftig ökning av resurseffektiviteten med ökad elektrifiering (figuren sidan 57). De mest elektrifierade bio-elektro-bränslespårerna med högsta möjliga effektivitet har el-tillförsel som är cirka två tredjedelar av den totala energitillförseln. Det innebär att det används ungefär dubbelt så mycket elektrisk energi som biomassa-energi. De mest elektrifierade fallen har en mycket hög resurseffektivitet, mätt som andel kolatomer från råvaran som hamnar i drivmedelsprodukten.

Restvärmen har stor potential

Det bildas ofta mycket restvärme i bioraffinaderiprocesser, och än mer när de elektrifieras. Denna värme kan till exempel användas för fjärrvärme. Om det antas att överskottsvärmen från produktionen av biodrivmedel ersätter kraftvärme från eldnings av biomassa kan detta ytterligare minska den totala mängden biomassa som behöver användas. Ur ett systemperspektiv innebär det att produktion av biodrivmedel

och värme ur bioråvara kan göras mycket effektiv.

Tekniken är kostnadseffektiv

Produktionskostnaden för alla utvärderade bio-elektrobränslespar blir mellan 6 och 14 SEK/liter (omräknat som diesel). Den dyrare delen av intervallet, 10–14 SEK/liter, motsvarar produktionskostnaden för drop in-bränsle, dvs bränslen som kan användas i dagens fordon och motorer. Den billigare delen av produktionskostnadsintervallet, 6–10 SEK/liter, motsvarar produktionskostnaden för drivmedlen biometanol, biogas och bioetanol, som kan kräver anpassade motorer och fordon. Elektrobränslen, framställda ur koldioxid och elektrisk energi, är med få undantag dyrare att producera än motsvarande biodrivmedel respektive och bio-elektrobränsle.

När biodrivmedelsprocesserna elektrifieras så att resurseffektiviteten ökar, förändras produktionskostnaderna i vissa fall. Drop in-drivmedlen har ungefär samma produktionskostnad även när resurseffektiviteten ökar, förutsatt dagens bioråvarupriser. Det kostar då alltså inget extra att öka resurseffektiviteten. Om man tror att priset på bioråvara ökar i framtiden, så får de elektrifierade, bioelektrobränslesparerna lägre kostnad än produktionsprocesserna för de rena biodrivmedlen, eftersom de förstnämnda kan producera mer produkt ur samma bioråvarumängd.

För de biodrivmedel som har lägre produktionskostnader, till exempel biogas och bioetanol, innebär elektrifiering av produktionen för ökad resurseffektivitet en något ökad produktionskostnad från den låga nivån.

Med bio-elektro-bränslen räcker biomassan till transportsektorns behov

För att bedöma den inverkan som storskalig implementering av bio-elektrobränsleteknik skulle kunna ha på möjligheten att leverera transportbränsle för svenska behov gjorde vi en scenarioanalys. De framtida bränslebehoven i scenarierna togs från den så kallade Utfasningsutredningen (SOU 2021:48) och kompletterades med behoven för utrikes transporter. Trots omfattande elektrifiering av vägtransporter kommer det finnas ett omfattande behov av gas- och vätskeformiga drivmedel både 2030 och 2045.

Användningen av biobränsleteknik med begränsad resurseffektivitet (dvs. utan elektrifiering) leder till en mycket stor efterfrågan på biomassa för att möta efterfrågan på transportbränsle, vilket tyder på att enbart biobränslen inte är ett realistiskt alternativ. För 2030 års scenarier kan endast 30–50 % av efterfrågan tillgodoses av biobränsleproduktionstekniken från inhemska hållbara biomassaresurser. Om behoven av hållbara drivmedel ska mötas med rena elektrobränslen blir elbehovet för detta motsvarande 50-100% av hela Sveriges elförbrukning idag.

Därför är det uppenbart att det krävs en kombination av biobränslen och elektrobränslen för att möta behoven. Utifrån scenarier för att möta det totala drivmedelsbehovet framgår att bio-elektrobränslen, som studerats här, är

resurseffektivare och har lägre kostnader än alternativen. I ett scenario där elektrifierad biodrivmedelsproduktion med hög effektivitet används, räcker den inhemska biomassaresursen till behoven för både inrikes och utrikes transporter, både 2030 och 2045.

En annan fördel med den höga resurseffektiviteten hos bio-elektrobränsleprocesserna är den ökade klimatnytta som kommer av att direkta koldioxidutsläpp från produktionsprocessen för biodrivmedel undviks. När kolet i stället binds i bränsleprodukter frigörs det fortfarande som koldioxid i atmosfären när bränslena används, men eftersom bio-bränsleprodukterna ersätter fossila bränsleprodukter blir det totalt sett en klimatvinst.

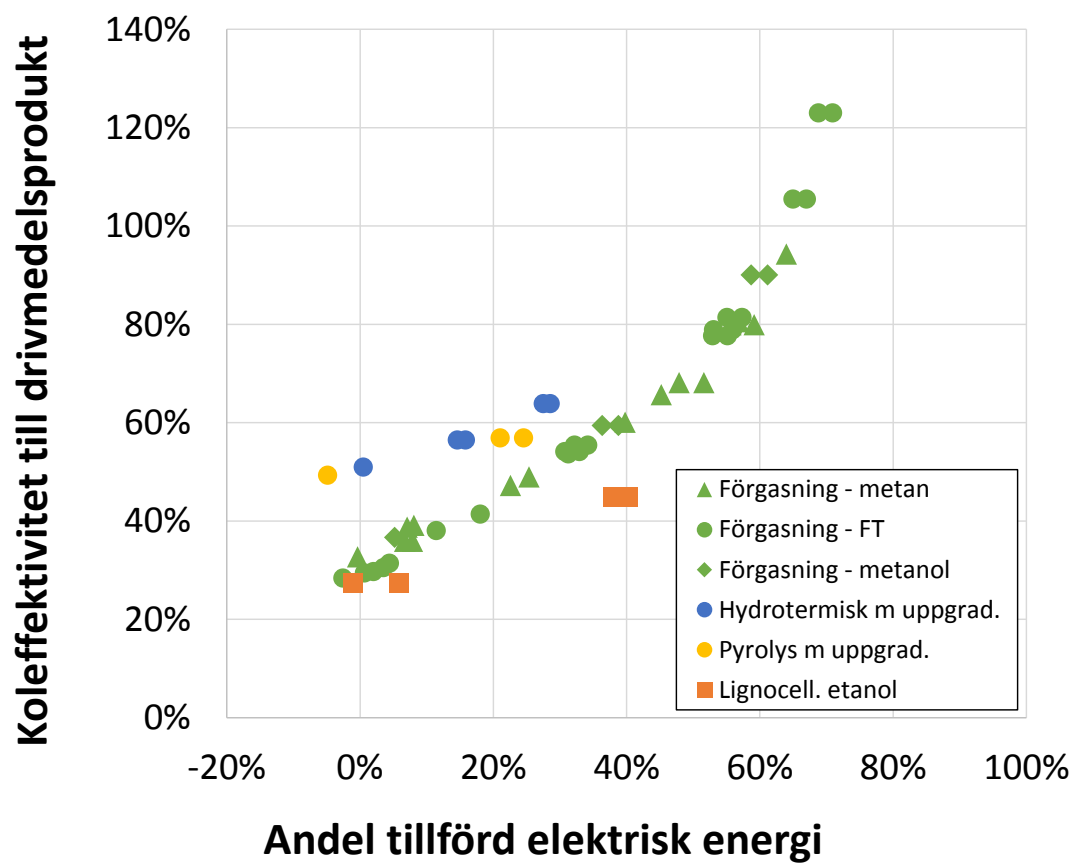
Vikten av lagar och regler

Lagstiftning är och kommer att vara en viktig faktor vid kommersialiseringen av olika typer av hållbara drivmedel genom uppförande av storskaliga produktionsanläggningar. En viktig aspekt är hållbarhetskriterierna och klassificeringen av bränsletyp i EU-lagstiftningen, eftersom de fastställer villkoren för ett antal andra aspekter av stor betydelse, såsom minimiskattesatser och möjligheten att uppfylla särskilda kvoter för förnybar energi, osv. Hur dessa nya hybriddrivmedel klassificeras kommer att vara av stor vikt för den fortsatta utvecklingen av tekniken.

Många fördelar med den nya tekniken

Sammanfattningsvis har de hybriddrivmedel som studeras här många fördelar som gör dem attraktiva i den begynnande kommersialiseringen av hållbara drivmedel från nationellt tillgängliga resurser.

- Elektrifiering av biodrivmedelsproduktion, som leder till så kallade bio-elektrobränslen, kan dramatiskt förbättra resurseffektivitet i användande av den begränsade biomassaresursen. De viktigaste elektrifieringsteknikerna som kan leda till denna effektivitetsförbättring är vatten-elektrolys, direkt uppvärmning och värmepumpar.
- Biodrivmedelsproduktion baserad på så kallad förgasning av biomassa har störst potential för att nå riktigt hög effektivitet med elektrifiering. Även andra produktionstekniker visar goda, men mindre, effektivitetsförbättringar.
- Processens totala energieffektivitet påverkas i allmänhet inte negativt av elektrifieringen.
- Produktionskostnaden för hybridbränslena med integrerad el liknar eller är något högre än motsvarande produktionskostnader för biodrivmedel, men lägre än för motsvarande elektrobränslen.
- Växthusgasprestandan för alla undersökta alternativ är i allmänhet god så länge växthusgasutsläppen för den el som används i processen är lågt.
- Användning av den mer resurseffektiva teknik som studerats här kan avsevärt öka möjligheterna för Sverige att bli självförsörjande på hållbara drivmedel för hela landets transportsektor.



Koleffektivitet (andel av råvarans kol som hamnar i en drivmedelsprodukt) som funktion av elektrifieringsgrad för olika biodrivmedelsprocesser. Varje symbol motsvarar en teknikkonfiguration, som alla baseras på de tio undersökta produktionsvägarna men med olika grad av elektrifiering.

Effekter av motstridiga regelsystem för livscykelanalys

MAJ 2022

Tomas Rydberg, Sofia Poulidikidou, Kristin Johansson, Henric Lassesson, Johan Nilsson och Pavinee Nojpanya,
IVL Svenska Miljöinstitutet

Miguel Brandão,
KTH Kungliga tekniska högskolan

Tomas Ekvall,
TERRA och Chalmers tekniska högskola

Katarina Lorentzon, Anna Ekman Nilsson och Jennifer Davis,
RISE Research Institutes of Sweden

Ingrid Nyström,
CIT Industriell Energi

Anna Wikström och Maria Rydberg,
Swedish Life Cycle Center

18

Livscykelanalys är inte en metod, utan många

Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg för att beräkna en produkts samlade miljöpåverkan under dess hela livscykel, dvs från råvaruutvinning, över produktion och användning, till eventuell avfallshantering. Industrin använder LCA för att förbättra produkter och processer och för att kommunicera med sina kunder. Myndigheter använder LCA för att ta fram beslutsunderlag, men också för att följa upp hur stor nytta redan tagna beslut gör för miljön.

Fördelen med det breda systemperspektivet är att risken minskar för att en miljöförbättring på ett ställe i livscykeln leder till ökad miljöpåverkan på andra ställen. Utmaningen är att miljöpåverkan inte kan beräknas objektivt. Subjektiva metodval behöver göras för att ta ställning till vilka miljöeffekter som är relevanta att räkna på. Om produkten produceras tillsammans med andra produkter, hur mycket av produktionsprocessens miljöpåverkan ska räknas just till vår produkt? Om vår produkt återvinns eller produceras av återvunnet material, hur stor del av den ursprungliga materialproduktionens miljöpåverkan ska belasta den? De två frågorna är exempel på allokeringsproblem som diskuterats länge bland LCA-expert. Andra frågor handlar om vilka delar av livscykeln som ska inkluderas i beräkningen, vilka krav som ställs på de indata som används, m.m.

Följden av dessa subjektiva metodval är att LCA egentligen inte är en metod utan många olika metoder. Riktlinjer och internationella standarder har producerats i ett försök att göra LCA mer enhetlig. En del av dessa dokument är avsiktligt vaga för att tillåta att olika metoder används i olika sammanhang. Andra dokument innehåller mer specifika regler för hur produktens miljöpåverkan ska beräknas i ett visst sammanhang.

Tre regelverk för förnybara drivmedel

För producenter av förnybara drivmedel är tre LCA-regelverk särskilt relevanta: RED, EPD och PEF.

RED, Renewable Energy Directive

RED ställer krav på hur stor klimatpåverkan förnybara bränslen får ha. Direktivet inkluderar regler för hur klimatpåverkan ska beräknas för att visa att bränslet uppfyller direktivets krav.

I RED måste förnybara bränslen möta flera kriterier för hållbarhet för att kunna räknas som bidrag till de nationella och europeiska målen för förnybar energi och för att vara berättigade till ekonomiskt stöd. Utsläppen av växthusgas-er från produktion och användning av ett förnybart bränsle måste vara 50-65% lägre än utsläppen från det fossila bränslet. De strängaste kraven ställs på bränslen producerade i anläggningar som startat år 2021 eller senare, medan kraven på bränslen från gamla anläggningar är lite lägre.

En beräkning enligt RED fokuserar på bränslets klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv och inkluderar ingen annan miljöpåverkan.

EPD, Miljövarudeklarationer

Systemet med miljövarudeklarationer (environmental product declarations, EPD) etablerades för att inköpare skulle kunna jämföra konkurrerande produkter baserat på deras miljöprestanda. Det förutsätter att produkternas miljöpåverkan har beräknats med samma metod. Därför måste det finnas beräkningsregler som är både tydliga och detaljerade. Inom det internationella EPD-systemet har detaljerade beräkningsregler utvecklats för ett hundratal olika produkt-kategorier (Product Category Rules; PCR), till exempel baskemikalier, elenergi och byggvaror. För bränslen finns inga sådana regler ännu. Däremot inkluderar EPD-systemet generella beräkningsregler som gäller alla produkter. De kräver beräkning av klimatpåverkan, försurning, övergödning, bildandet av marknära ozon, samt utarmning av fossila bränslen, mineraler och vattenresurser.

PEF, produktmiljöavtryck

PEF (Product Environmental Footprint) är EU:s allmänna metodik för LCA som kan användas för kommunikation med kunder eller för att ta fram beslutsunderlag för myndigheter. Regelverket etablerades i ett försök att göra LCA-be-

räkningar mer enhetliga och jämförbara. PEF kan komma att bli ett viktigt ramverk eftersom det utvecklats i samverkan av många parter och stöds av EU.

Resultaten kan jämföras om PEF-beräkningar för konkurrerande produkter görs med samma metod och enligt tydliga och detaljerade beräkningsregler. PEF-ramverket inkluderar dels allmänna beräkningsregler som gäller alla slags produkter, dels detaljerade regler (Product Environmental Footprint Category Rules: PEFCR) för 19 typer av produkter, till exempel öl, mjölkprodukter, målarfärg och tvättmedel. För bränslen finns dock inga detaljerade regler ännu. Allmänt inkluderar PEF-beräkningar upp till 16 miljöaspekter, varav klimatpåverkan är en. Miljöpåverkan beräknas i ett livscykelperspektiv, precis som i RED eller en EPD.

Klimatpåverkan från drivmedel enligt regelverken

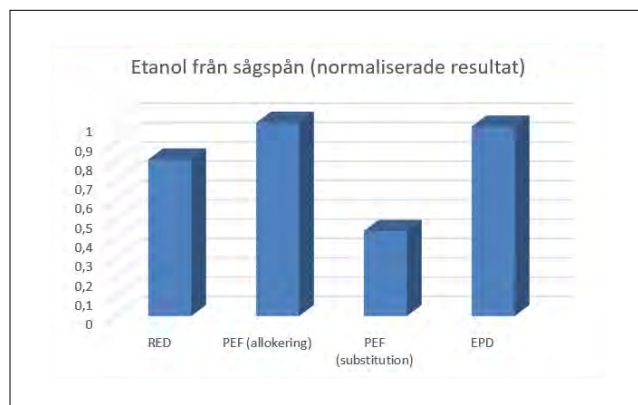
Eftersom de ställer olika krav på till exempel vilka miljöaspekter som ska inkluderas, vilka systemgränser som ska användas och hur allokeringsproblem ska lösas, kan det leda till merarbete för de bränsleproducenter som behöver

använda mer än ett regelverk. Det betyder också att regelverken kan ge motstridiga LCA-resultat, vilket kan skapa förvirring bland både bränsleproducenter och deras kunder.

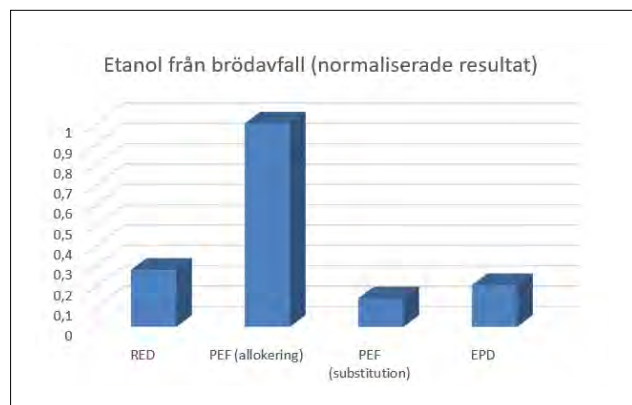
Vi har studerat hur mycket skillnaderna mellan regelverken slår på LCA-resultaten och vad merarbetet innebär för bränsleproducenterna. Vi använde de tre regelverken för att räkna på klimatpåverkan från åtta olika drivmedel producerade från grödor, biprodukter eller avfall. Klimatpåverkan är den enda miljöeffekt som ingår i alla tre regelverk. Resultaten för fyra bränslen visar särskilt tydligt på viktiga skillnader mellan och inom de tre ramverken (se figur 1-4).

Syftet med studien är inte jämförelsen mellan de olika bränslenas miljöpåverkan utan jämförelsen mellan hur regelverken beräknar miljöpåverkan. Resultaten som visas i olika figurer har beräknats av olika LCA-expert och med olika indata. De redovisas också på olika sätt. Därför kan resultaten bara jämföras inom en och samma figur.

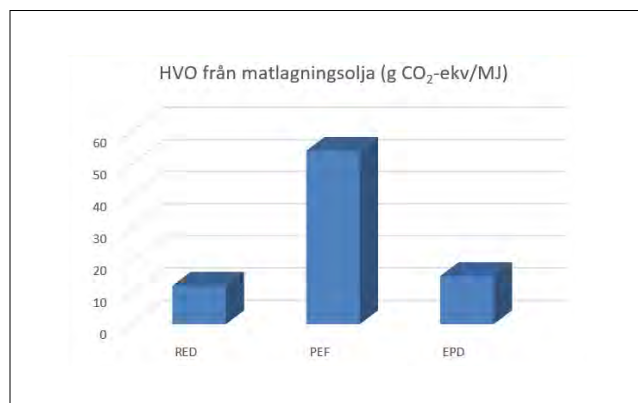
Figur 1-2 presenterar resultaten normaliserade, där det högsta resultatet sätts till 1,0. Det beror på att vi inte har rätt att visa absoluta siffervärden för dessa bränslen. Figur 3-4 anger klimatpåverkan i g CO₂-ekvivalenter per MJ bränsle.



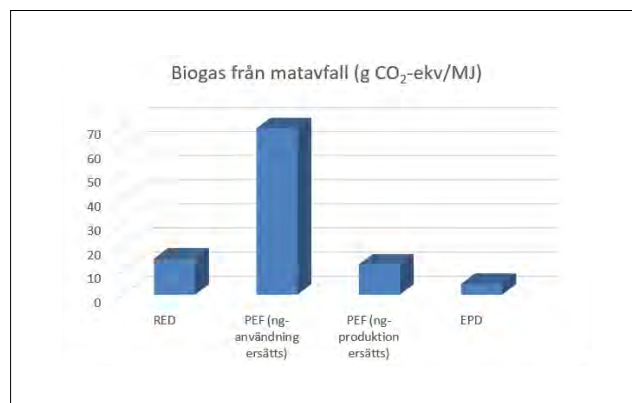
Figur 1: Vid produktion av etanol från sågspån bildas biprodukter som kan ersätta organiska kemikalier. Resultaten från PEF (substitution) är betydligt lägre än övriga resultat, eftersom de tar hänsyn till den klimativinst som uppstår när produktionen av andra organiska kemikalier minskar.



Figur 2: PEF kan ge ett mycket högre resultat för etanol från bröddavfall än de andra regelverken, eftersom PEF inkluderar miljöbelastningen från produktionen av det vete som bröddavfallet ersätter i etanolproduktionen. PEF-resultatet blir dock mycket lägre med substitution, för då inkluderar beräkningen den miljövinst som uppstår när biprodukter från jäsningsen ersätter annat djurfoder.



Figur 3: När HVO produceras från använd matolja, indikerar PEF en mycket högre klimatpåverkan än de andra regelverken, eftersom PEF inkluderar en del av miljöbelastningen från produktionen av de råvaror som den återvunna matoljan ersätter.



Figur 4: PEF kan ge ett mycket högre resultat för biogas än de andra regelverken, eftersom PEF inkluderar miljöbelastningen från det fossila bränsle som biogasen ersätter. PEF-resultatet beror dock helt på om en transport med biogas i tanken ersätter en transport med fossil naturgas (naturgasanvändning ersätts), eller om biogasen ersätter naturgas redan när den matas in i gasnätet (naturgasproduktion ersätts). I en EPD framstår klimatpåverkan som mycket låg, eftersom de beräkningarna inte inkluderar utsläpp från rötprocessen där biogasen produceras.

Fallstudierna visar att de tre regelverken innehåller grundläggande skillnader och kan leda till motstridiga resultat. Det kan skapa förvirring bland både bränsleproducenter och deras kunder. Beräkningar enligt PEF kan också leda till helt olika resultat, beroende på hur det regelverket tolkas och används.

Viktiga skillnader i modellering av samproduktion

RED, EPD och PEF har olika regler för hur samproduktion av flera produkter ska modelleras. Alla tre tillåter allokering, det vill säga att miljöbelastningen från processen delas mellan dess olika produkter. Reglerna för PEF tillåter även ett annat alternativ: systemutvidgning med substitution. Det innebär att beräkningarna inkluderar hela processens miljöpåverkan, inklusive den miljövinst som uppstår när biprodukter används i samhället och därmed ersätter (substituerar) annan produktion.

Vid produktion av etanol från sågspån uppstår biprodukter (lignin, terpentin, m.m.) som kan användas i industrin och minska behovet av andra bränslen och kemikalier. När vi använder substitution i PEF-beräkningen, antar vi att biprodukterna minskar behovet av andra organiska kemikalier. Miljövinsten från den minskade kemikalieproduktionen gör att PEF-resultatet blir betydligt lägre än vid allokering och klart lägre än resultaten från RED och EPD (figur 3).

I fallet med etanol från brödrester är drank, det vill säga ojästa rester, en biprodukt från den jäsprocess där etanolen tillverkas. Dranken kan användas som djurfoder och minskar då behovet av att producera annat djurfoder, exempelvis sojabönor. När PEF-beräkningarna inkluderar miljövinsten från minskad sojaproduktion blir resultaten mycket lägre än om allokering genomförs (figur 4).

Att PEF tillåter ett fritt val mellan allokering och substitution gör att beräkningar kan leda till helt olika resultat som alltså inte kan jämföras. Det problemet blir mindre om ett detaljerat regelverk (PEFCR) för bränslen utvecklas, och om det regelverket anger hur de vanligaste eller viktigaste samproduktionsprocesserna ska modelleras.

Även om de generella EPD-reglerna förbjuder substitution, tillåter de ett brett utbud av allokeringmetoder. Detta kan försvåra jämförelser mellan olika EPD:er av bibränsle. EPD-beräkningarna kan också göras mer reproducerbara genom utveckling av detaljerade regler (PCR) för bränslen. Regelverket för RED är mer väldefinierat än PEF och EPD, eftersom det anger vilken metod som ska användas i varje fall; oftast ska allokeringen baseras på produkternas energiinnehåll.

Modelleringen av återvinning är viktig

Regelverken skiljer sig i hur miljöbelastningen ska beräknas när återvunnet material används i livscykel. Det är viktigt för bränslen som produceras från avfall. I RED och EPD kommer avfallet in i bränslets livscykel utan någon miljöbelastning. I en PEF-beräkning tillskrivs avfallet en del av miljöbelastningen hos det primära material som ersätts. Detta är den viktigaste orsaken till att RED- och EPD-resultaten säger att HVO producerad från använd matolja har en måttlig påverkan på klimatet, medan PEF-resultatet säger att bränslet är dåligt för klimatet (se figur 3). Det är också orsaken till att PEF kan ge mycket höga, det vill säga dåliga,

resultat för etanol producerad från bröдавfall (figur 2) och för biogas (figur 4).

Avfallsbaserade bränslen i PEF – vad ersätts?

En PEF-beräkning för ett bränsle som produceras från avfall inkluderar delar av primärproduktionens miljöbelastning fram till ersättningspunkten, det vill säga den plats i systemet där flödet av återvunnet material eller återvunnen energi tränger undan ett flöde av primärt material eller energi. Det allmänna regelverket för PEF förklarar hur man identifierar ersättningspunkten när en produkt tillverkas av en blandning av återvunnet och primärt material. När ett bränsle helt produceras från avfall är punkten svårare att definiera.

Ersättningspunkten spelar mycket stor roll för biogasens resultat (figur 4). Om antagandet är att transporter med biogas ersätter transporter med ett fossilt bränsle, är ersättningspunkten i själva transportarbetet. Det betyder att PEF belastar biogasen med miljöbelastningen för utvinning och användning av fossilt bränsle. Biogas får enligt de PEF-beräkningarna samma klimatpåverkan som det fossila bränslet. Om ersättningspunkten är där biogasen matas in i gasnätet, inkluderar PEF-beräkningen miljöbelastningen från produktion av naturgas och användningen av biogas. Produktion av naturgas och biogas kan ha ungefär samma klimatpåverkan, mest beroende på hur stort läckaget av metan är. Det betyder att de PEF-resultaten kan likna de resultat RED ger (se figur 4).

Metanutsläpp från biogasproduktion

Biogas producerad från matavfall ser ut att vara bättre för klimatet om beräkningen görs med EPD-regler, jämfört med om RED används (figur 4), trots att det är precis samma biogas som produceras på precis samma sätt. Det beror på att RED:s regler anger att beräkningen ska inkludera utsläpp av metan och andra föroreningar från den rötprocess där biogasen produceras. En EPD räknar rötningen och dess utsläpp till matens livscykel. Därmed ska de inte inkluderas i en EPD av biogas.

Merarbete, motstridiga resultat och behov av förtydliganden

Studien bekräftar att tillämpning av flera regelverk innebär betydande merarbete, till exempel i form av insamling av kompletterande miljödata, jämfört med att bara använda exempelvis metodiken i förnybarhetsdirektivet (RED). Varje regelverk behöver tolkas vilket är en utmaning i sig.

Att regelverken är motstridiga leder till att LCA-resultaten också kan vara det. Att tydliggöra orsakerna till det kan ge bränsleproducenter och deras kunder ökad förståelse både för regelverken och för bränslena miljöprestanda. Den kunskapen är värdefull men ökar också kraven på både resurser och expertkunskap.

För att förbättra utvecklingen och harmoniseringen av LCA-metoder betonar vi behovet av produktspecifika regler (PCR och PEFCR) för förnybara bränslen. Förtydliganden behövs bland annat i hur beräkningen ska göras vid återvinning och processer med flera produkter.

Framtida utveckling av PCR och PEFCR för biobränslen kan göras med RED i åtanke. På så vis kan skillnaderna mellan ramverken minska även om fullständig enhetlighet inte kan uppnås.

Styrmedel och biodrivmedel i EU - igår, idag och imorgon

Samband mellan konsumtion, produktion och styrmedel för biodrivmedel

MAJ 2022

Liv Lundberg, Jonas Zetterholm, Olivia Cintas Sanchez och Sujeetha Selvakkumaran,
RISE Research Institutes of Sweden

19

Sveriges reduktionsplikt bra för klimatet

Inblandning av biodrivmedel är en viktig faktor för att Sverige ska klara målet om 70% utsläppsminskningar i transportsektorn till 2030. Biodrivmedel handlas på en internationell marknad, och därför påverkas vår möjlighet att importera och exportera biodrivmedel även av tillgång och efterfrågan i andra länder. För att kunna utforma effektiva svenska styrmedel är det därför viktigt att förstå hur produktion, konsumtion och styrmedel för biodrivmedel ser ut i andra länder i EU.

Här presenterar vi sammanställd data för nationell konsumtion, produktion och styrmedel för biodrivmedel i alla EU-länder. Jämförelsen med andra EU-länder visar att Sveriges reduktionsplikt har lett till en hög användning av biodrivmedel med god växthusgasprestanda och har bidragit till att Sverige har den högsta utsläppsminskningen från transportsektorn inom EU.

Varför använder Sverige så mycket biodrivmedel?

Sveriges biodrivmedelanvändning sticker ut. Andelen biodrivmedel i vägtransportsektorn i Sverige är flerfaldigt högre än i andra EU-länder och utsläppsminskningen i den svenska transportsektorn är den överlägset högsta i EU (se figur 1). Men trots att Sverige har en inhemsk produktion av biodrivmedel är den inte tillräcklig för att möta den höga efterfrågan. Sverige sticker även ut med en stor nettoimport av biodiesel.

Biodrivmedel är i regel avsevärt dyrare än fossila drivmedel, så för att de ska ersätta fossila alternativ krävs styrmedel. Den svenska biodrivmedelsanvändningen drivs till en betydande grad av den statliga reduktionsplikten. Reduktionsplikten innebär att drivmedelsleverantörer måste minska växthusgasutsläppen från den bensin och diesel som de säljer genom att blanda in biodrivmedel.

Idag har Danmark, Sverige och Tyskland infört en reduktionsplikt. Andra länder inom EU har implementerat olika former av inblandningsmandat av förnybara drivmedel i den nationella lagstiftningen. Inblandningen kan specificeras

på volymbasis eller energibasis. Vissa länder har ett sammanlagt inblandningsmandat för allt drivmedel, medan andra länder har individuella kvoter för bensin och diesel. Länder har också olika nivåer på sina inblandningsmandat. En överblick av de olika nivåerna, omräknade till total andel av energin i vägtransportsektorn, visas i Figur 2.

Precis som i Sverige är inblandningsmandaten den klart viktigaste drivkraften för konsumtionen av biodrivmedel, vilket kan ses i Figur 3 som ger en översikt av både all biodrivmedelskonsumtion och alla inblandningsmandat i EU.

Skillnaden mellan olika länders inblandningsmandat och regelverk medför att olika typer av biodrivmedel premieras i olika länder. Detta leder till att biodrivmedel handlas mellan länder och distribueras till den marknad där det specifika biodrivmedlet får högst pris. Eftersom biodrivmedel har olika växthusgasprestanda, dvs olika stora livscykelutsläpp per liter, så har reduktionsplikten gjort att biodrivmedel med bra växthusgasprestanda, dvs låga livscykelutsläpp, premierats i Sverige.

Varför har Sverige en så hög reduktionsplikt?

I samband med att priserna på drivmedel steg under januari 2022 började vissa partier ifrågasätta dels varför Sverige har en reduktionsplikt som är så mycket högre än alla andra länders och dels varför den ska ökas.

Som svar på frågan kan nämnas Sveriges klimatambitioner och det specifika målet att utsläppen i transportsektorn ska ha minskat med 70% till 2030. Det ligger i sin tur till grund för den föreslagna utvecklingen av reduktionsplikten mellan 2021 och 2030.

Sverige hade dock en stor och snabbt ökande användning av biodrivmedel redan innan reduktionsplikten infördes 2018 (se Figur 4).

Mellan 2010 och 2017 ökade användningen av biodrivmedel i Sverige med 400% och Sverige har haft den högsta procentuella användningen av biodrivmedel i EU sedan 2016. När reduktionsplikten infördes 2018 baserades startnivån på biodrivmedelskonsumtionen i Sverige vid den tidpunkten. Anledningen till Sveriges höga reduktionsplikt är alltså inte enbart höga klimatambitioner, utan också att vi

redan innan reduktionsplikten infördes hade en hög konsumtion av biodrivmedel.

Det styrmedel som fanns för biodrivmedel i Sverige innan reduktionsplikten infördes, var en skattereduktion som gällde för både låg- och höginblandade biodrivmedel samt biogas. Enligt EU:s regelverk betraktades dock skattereduktionen som ett statsstöd, och det krävdes kontinuerliga godkännanden från EU-kommissionen för att Sverige skulle kunna fortsätta ha den. Osäkerheten i huruvida skattereduktionen skulle få fortsatt godkännande av EU gjorde enligt Energimyndigheten att få aktörer 2016 vågade investera i nya biodrivmedelsanläggningar i Sverige. I Figur 4 syns hur den svenska produktionen av biodrivmedel låg stilla på en stabil nivå mellan 2008–2017, trots att konsumtionen ökade kraftigt. Sedan 2017 har produktionskapaciteten i Sverige ökat, vilket dock sammanfaller med en generell ökning av produktionen inom EU.

När reduktionsplikten infördes valde man att enbart inkludera låginblandade biodrivmedel, medan höginblandade biodrivmedel och biogas fortsatte att omfattas av skattereduktion. Eftersom det är oklart om skattereduktionen för höginblandade biodrivmedel kommer få fortsatt godkänt av EU-kommissionen, har dock ett förslag om att inkludera även dem i reduktionsplikten lagts fram.

Varför har vissa länder så stor produktion av biodrivmedel?

Alla biodrivmedelsproducenter som intervjuades inom ramen för den här studien var positiva till den nuvarande reduktionsplikten eftersom den styr mot det uppsatta målet om utsläppsreduktion. De ansåg också att en tydlig bana för reduktionsplikten möjliggör nya investeringar i biodrivmedelsproduktion, i Sverige och EU, eftersom aktörer då vet att de har en garanterad avsättning för sin produkt. Men det finns en viss motsättning mellan behovet av en tydlig bana för att företag ska våga göra investeringar å ena sidan, och behovet av att justera reduktionsnivåerna baserat på utvecklingen av transportsektorn och på de internationella drivmedelsmarknaderna å andra sidan.

I intervjuerna blev det även tydligt att enbart för att biodrivmedel premieras i ett visst land genom ett inblandningsmandat eller reduktionsplikt, så innebär det inte att produktionsanläggningar automatiskt byggs i det landet. Lokaliseringen av ny biodrivmedelsproduktion drivs i stället främst av möjligheterna att nyttja redan existerande infrastruktur, som närhet till egen befintlig produktion, goda distributionsmöjligheter, eller andra logistiska fördelar som tillgång till fördelaktig råvarumarknad.

Ett tydligt exempel på detta är Rotterdam i Nederländerna. Rotterdam har Europas största hamn dit det är lätt att skeppa råvaror och varifrån det är enkelt att distribuera färdiga biodrivmedel vidare. Nederländerna har idag den högsta nettoexporten av biodrivmedel i EU (se figur 5) tack vare Nestes stora bioraffinaderi i Rotterdam. Det finns även flera planer på att bygga ut produktionskapaciteten i staden just på grund av det fördelaktiga läget och den existerande infrastrukturen. I våra intervjuer indikerade vissa producenter dock att det för nya tekniker finns en större sannolikhet att produktionsanläggningar kan förläggas till de platser/länder där forskning och utveckling har bedrivits för att kunna nyttja den kunskapsbas som byggs upp.

Två anledningar till att priset på biodiesel har varit så högt 2021–2022, vilket fått konsekvenser på dieselpriiserna, är att efterfrågan på HVO i Europa varit större än tillgången och att Sverige har höga straffavgifter om reduktionsplikten inte uppfylls. De nya produktionsanläggningar som skulle startat 2020 men försenades av Covid-19 pandemin förväntas dock börja producera biodrivmedel redan under 2022. Flera aktörer planerar också nya produktionsanläggningar, i såväl Sverige som Europa, eftersom de förutser en stigande efterfrågan på biodrivmedel i EU till följd av ökade nationella inblandningsmandat. I planeringen tas dock även höjd för en sannolikt minskande efterfrågan på biodrivmedel i vägtransportsektorn när elektrifieringen ökar. Därför utformas anläggningarna för att kunna konvertera produktionen till andra bio-produkter, så som bio-jet för flyget.

En ökad efterfrågan på biodrivmedel inom EU kommer sannolikt kräva en utbyggnad av produktionskapaciteten och det finns en risk för att råvarumarknaden kan bli en trång sektor, framför allt för produktion av HVO. Mot bakgrund av detta är flera aktörer aktiva inom utveckling av nya tekniker för att utöka råvarubasen, och de arbetar aktivt med att säkerställa framtida försörjning av råvaror.

Hur ser framtiden ut för biodrivmedel i EU och Sverige?

Efter kontroversen runt biodrivmedel i slutet av 00-talet, då en snabbt ökande biobränsleproduktion kopplades till stigande globala matpriser, har styrmedel inom EU utformats för att motverka konkurrens mellan produktion av biodrivmedel och mat. Syftet har varit att minska dels risken för att matgrödor användas till biodrivmedelsproduktion, dels risken för förändrad landanvändning till följd av ökad efterfrågan på mark för odling av biomassa. Intresset för så kallade avancerade biodrivmedel, som främst produceras från olika typer av rest- och biprodukter, har efter det ökat. Avancerade biodrivmedel premieras också i flera EU-länder genom att inblandning av dessa räknas dubbelt mot inblandningsmandatet (dubbelräkning) eller med specifika egna inblandningsmandat.

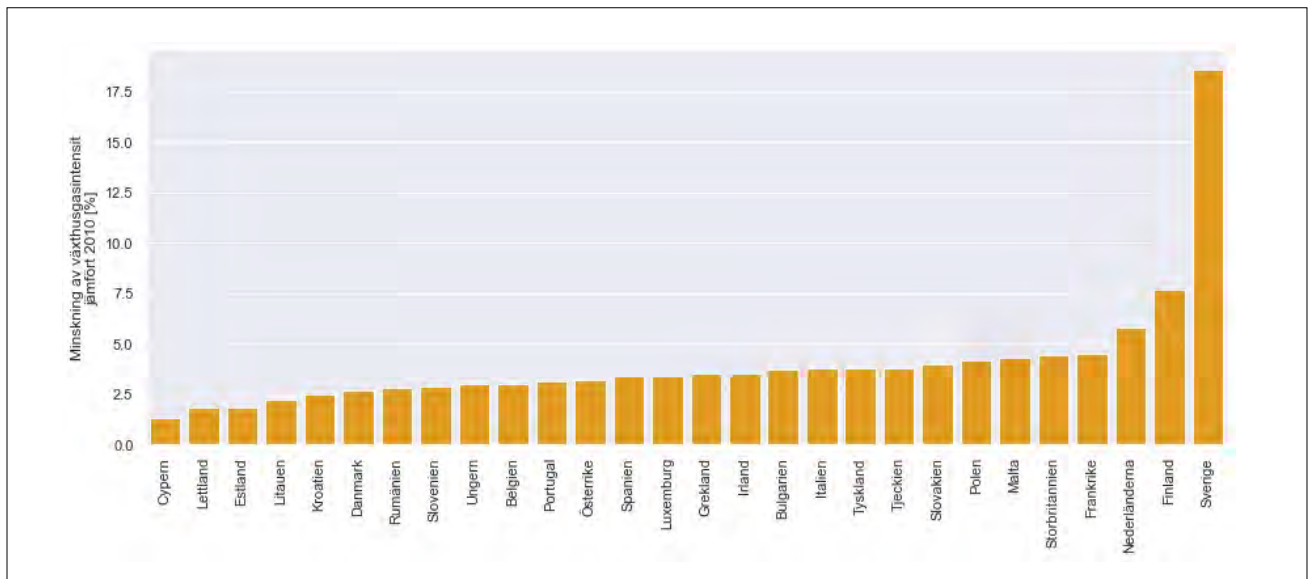
Det pågår just nu flera förändringar på EU nivå som kommer påverka marknaden för biodrivmedel i Europa. I RED-III, nästa uppdatering av förnybartdirektivet som just nu behandlas, föreslås en ändring av målet för transportsektorn, från att 14 % av energin ska komma från förnyelsebara källor till att växthusgasintensiteten skall minska med 13 %. I RED-III föreslås även delmål för avancerade biodrivmedel på 0,2 % 2022, 0,5 % 2025 och 2,2 % 2030.

Flera länder inom EU har infört, eller håller på att införa, egna specifika mandat för avancerade biodrivmedel. Sverige har idag inget mandat för avancerade biodrivmedel, men konsumtionen av dessa biodrivmedel ligger redan på en signifikant högre nivå än i de flesta andra EU länder. Detta är på grund av att reduktionsplikten premierar biodrivmedel med bra växthusprestanda, vilket avancerade biodrivmedel i regel har. Det visar på att en reduktionsplikt kan vara lika effektiv i att styra mot konsumtion av avancerade biodrivmedel som specifika mandat kan vara.

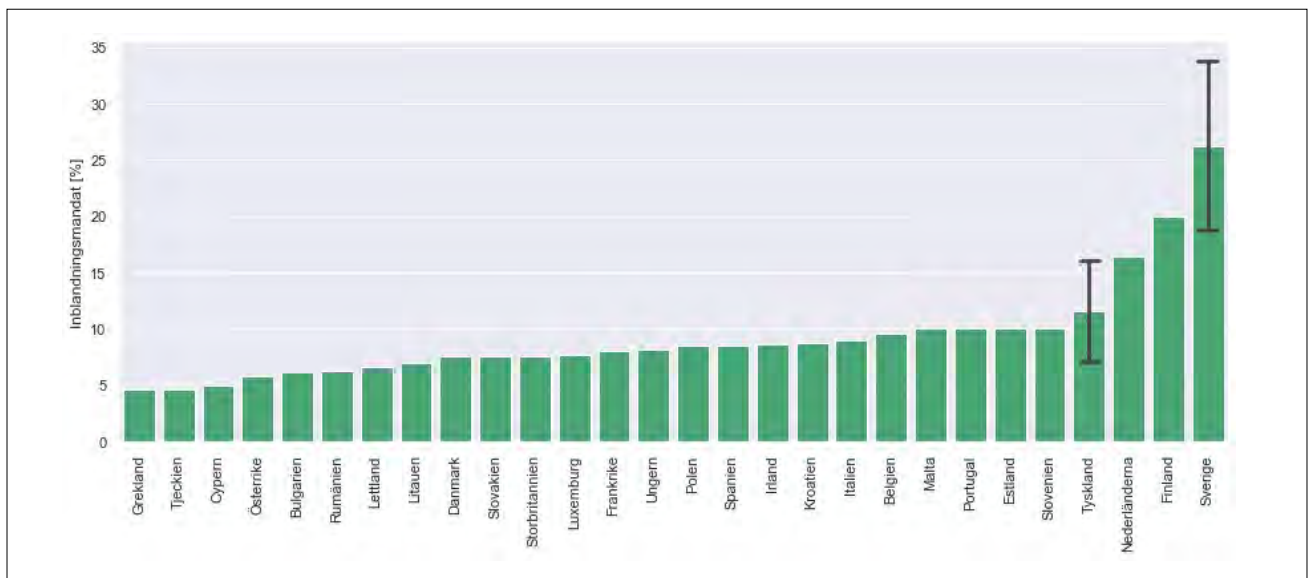
Jämfört med de inblandningsmandat som finns i andra EU-länder så fungerar Sveriges reduktionsplikt mycket väl. Den styr tydligt mot användning av biodrivmedel med hög växthusgasprestanda, har bidragit till betydande utsläpps-

minskningar i transportsektorn och har gett en hög konsumtion av avancerade biodrivmedel. Ökande reduktionsnivåer kommer dock innebära ett ökat behov av biodrivmedel med hög växthusgasprestanda, samtidigt som efterfrågan på den typen av biodrivmedel också lär öka i resten av EU och öv-

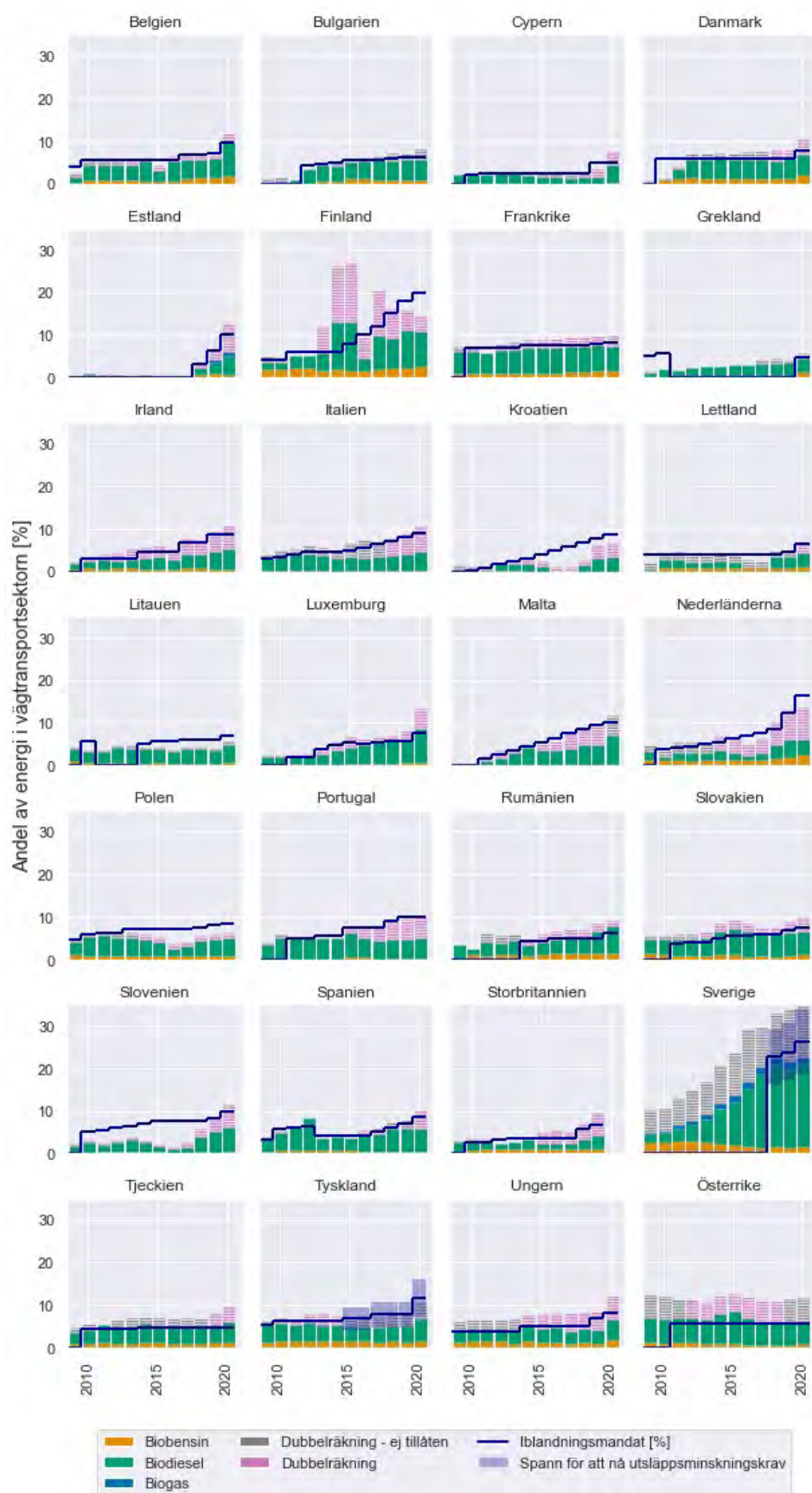
riga världen. För att Sverige ska kunna få tillgång till de biodrivmedel som krävs för att uppfylla reduktionsplikten till ett hållbart pris, kommer det vara avgörande att produktionskapaciteten byggs ut i takt med en ökande efterfrågan inom EU och att tillgången på hållbara råvaror är tillräcklig.



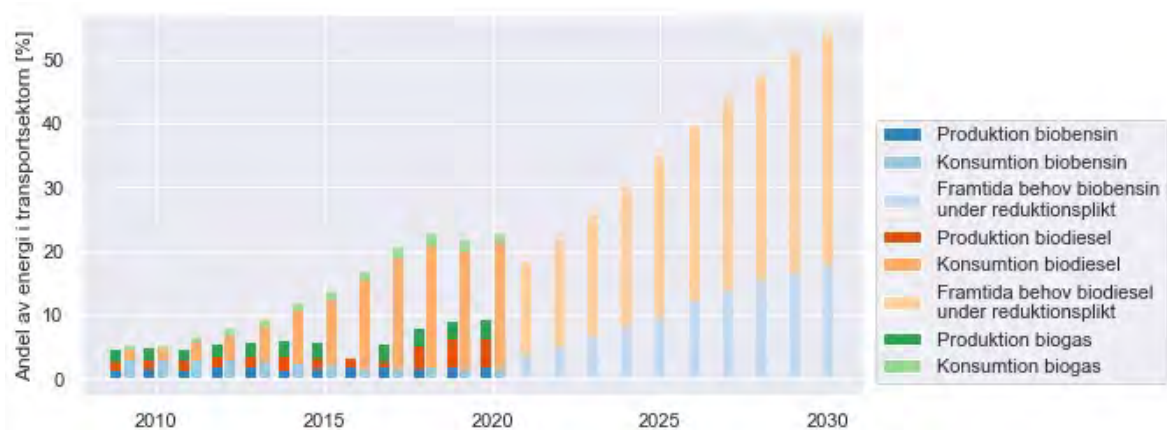
Figur 1. Minskning av växthusgasintensiteten för bränsle som används i vägtransportsektorn sedan 2010. Minskningen gäller för bränslemixen år 2019.



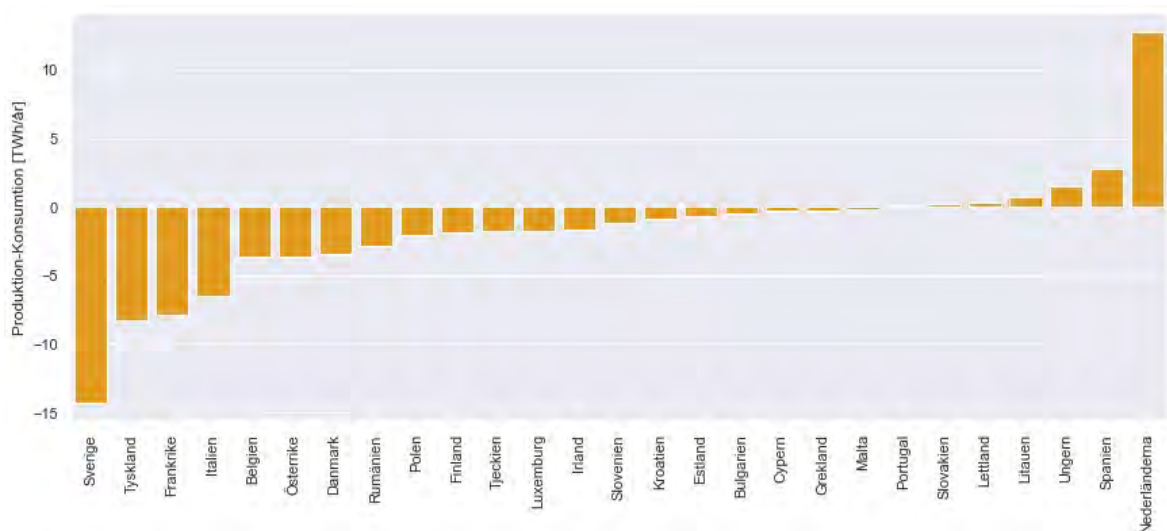
Figur 2. Respektive lands inblandningsmandat, omräknat till energi för 2020. Sverige och Tyskland har en reduktionsplikt, vilket resulterar i ett spann på inblandningsmandatet i energi, beroende på det inblandade biodrivmedlets växthusgasprestanda.



Figur 3. Konsumtion av biobensin, biodiesel och biogas som andel av den totala energianvändningen i vägtransportsektorn, samt dubbelräkning i de länder där detta tillåts. Den mörkblå linjen visar landets inblandningsmandat omräknat till % av energianvändningen i vägtransportsektorn.



Figur 4. Historisk produktion och konsumtion av biodrivmedel samt projektion av framtida behov enligt den bana för reduktionsplikten som aviserats av regeringen. Framtida behov är beräknat med antagandet att växthusgasintensiteten för det inblandade biodrivmedlet är 15g CO₂e q/MJ. Data för biogasproduktion är från Energimyndighetens statistik 2021¹ och inkluderar all biogasproduktion, inte endast den som uppgraderas till biometan för användning i fordonsflottan.



Figur 5. Differens mellan inhemsk produktion och konsumtion av biodrivmedel för 2020 för respektive land.

¹ Harrysson, J., 2021. Produktion av biogas och rötrestes; u.o.: Energimyndigheten. [Elektronisk] Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/Produktion-av-biogas-och-rotrestes/>

Biodrivmedel från snabbväxande lövträd

En syntesstudie från råvara till drivmedel

APRIL 2022

Henrik Böhlenius,

SLU Sveriges lantbruksuniversitet

Per-Ove Persson,

Persson f.N.B. AB

Marcus Öhman, Thomas Hannl och Fredrik Granberg,

Luleå tekniska universitet

20

Mer svenskproducerade biodrivmedel med förändrad markanvändning

Transportsektorn kommer även i framtiden att behöva kolbaserade drivmedel, trots de breda och stora satsningarna som gjorts med elektrifiering. Idag är det kolet i drivmedlen till största delen fossilt, vilket inte är hållbart med tanke på klimatmålen för transportsektorn som innebär att utsläppen från inrikes transporter ska minska med 70 % mellan åren 2010 och 2030. Senast 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären och därefter ska vi uppnå negativa utsläpp.

Ett medel för att uppnå målen är reduktionsplikten. Den ska öka inblandning av fossilfria bränslen i befintliga fossila drivmedel markant fram till 2030. Enligt scenarier från Energimyndigheten behövs mellan 35–50 TWh biodrivmedel/år (flyget undantaget) beroende på utvecklingen av reduktionsplikten, men också av elektrifieringen av fordonsflottan. Oavsett kommer efterfrågan på biodrivmedel att öka.

Idag importerar vi merparten av de biodrivmedel som driver ca 20 % av vägtransporterna. Genom att förändra eller förbättra användningen av viss skogs- och åkermark skulle det skapas förutsättningar för en ökad inhemsk produktion av biodrivmedel från snabbväxande cellulosahaltiga lövträd. Odling av snabbväxande lövträd kan dessutom vara det första steget till ett system som kombinerar bio-CCS, dvs. koldioxidinfångning och -lagring i biomassa, med drivmedelsproduktion.

Möjligheterna med poppel

Vi har studerat hur poppel som snabbväxande lövträd kan bidra i denna omställning. Vilka är poppelodlingens produktionsmöjligheter som bas för produktion av biodrivmedel? Var växer poppeln bäst och mest? Vad kostar en storskalig produktion av poppelbiomassa? Vilken är hybridpoppels potential och ekonomi för produktion av drivmedel via termokemiska processer och vilka nedströms processer/tekniker för omvandling till biodrivmedel kan identifieras? Utifrån svaren på dessa frågor utvärderade vi produktionspotential och produktionsekonomi samt en geografiskt

lämplig lokalisering av processindustri med hänsyn till möjliga produktionsområden för poppel.

Hur mycket biomassa kan svenska poppelodlingar ge?

Vid odling av poppel är marker som har högt näringsinnehåll att föredra, vilket inkluderar åkermarker och näringsrika skogsmarker, de senare ofta med en tidigare historia som åkermark. Biomassan som produceras kommer främst vara stamved vilket är en skillnad jämfört med energiodlingar med salix.

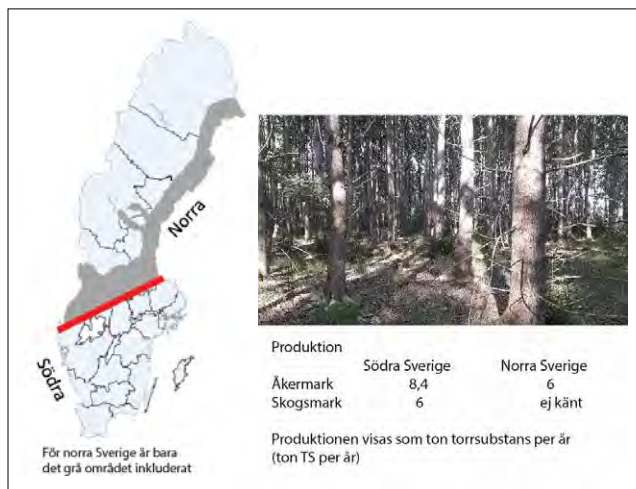
För skörd och skötsel av poppelodlingar kan befintlig maskinpark användas och odlingssystemet kan integreras direkt med dagens skogsbruksmetoder. Det gör att även små arealer och mark med sämre arrondering (enskilda skiftens form, storlek och läge i förhållande till varandra) kan planteras och bidra med biomassaproduktionen.

För att summera produktionskapaciteten har vi gjort en litteraturgenomgång som inkluderat vetenskapliga publiceringar, rapporter och studentarbeten. Summeringen förutsatte att bestånden skulle vara av känt genetisk planteringsmaterial (OP42)¹, liknande ålder och ha ungefär samma antal stammar i planteringarna (omkring 1000 träd per hektar).

På sidan 67 redovisas de kartlagda poppelodlingarnas årliga produktion i ton torrsubbstans (TS) per hektar under olika förutsättningar. Den grova indelningen av södra och norra Sverige är gjord utifrån att produktionen ligger på ungefär samma nivå mellan Uppsala och Skåne. För åkermark i norra Sverige föreligger en trolig underskattning eftersom antalet produktionsmätningar är få och planteringarna fortfarande är unga. Ju äldre en plantering blir, desto högre blir medelproduktionen eftersom stora träd producerar högre volymtillväxt än små. Samma sak gäller för skogsmarken i södra Sverige, vilket främst avser plantering på idag beskogad åkermark (åker som planterats med en generation skog).

Var finns de tillgängliga arealerna?

Tillgängliga arealer för poppelodling bör befinna sig inom odlingszonerna 1–6, alternativt ha en vegetationsperiod om



Produktionskapacitet från poppelodlingar i Sverige, redovisad som medeltillväxt under de första 20 åren. Det grå området indikerar avgränsningen för biomassaproduktionen i den här studien. För skogsmarken i norra Sverige är poppelproduktionen osäker men kan uppskattas till ca 4,5 ton TS per hektar och år.

minst 150 dygn, samt ha pH >5 (nuvarande svenskt plantmaterial är känsligt för lågt pH). Sedan kan poppel utnyttja goda växtbetingelser så åkermark och bördig skogsmark kan vara aktuella arealer för poppelplantering.

I Sverige finns drygt 470 000 hektar åkermark samt knappt 8,3 miljoner hektar skogsmark som skulle kunna vara aktuella beroende på lönsamhet och marknaden för poppelbiomassa. Av dessa totalarealer beräknas ca 25 % av åkermarken, ca 118 000 hektar, och omkring 5 % av skogsmarken, ca 414 000 hektar inom odlingszon 1–6, vara tillgängliga. Dessa arealer återfinns främst i södra Sverige, vilket visas i figuren ovan, och produktionspotentialen på dem beräknas till ungefär 2,7 miljoner ton TS per år.

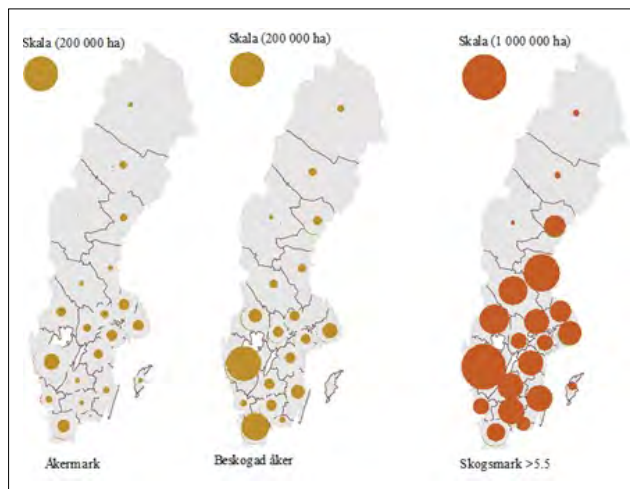
Vad kostar biomassa från poppel för industrin?

Poppelodlingens lönsamhet beror på flera faktorer: industrins betalningsförmåga, transportkostnad till industri, skördekostnad, skötsel- och etableringskostnaden för poppelodlingen och därtill hörande kapitalkostnader, till exempel ränta. Skörd, skotning och transportkostnader följer det konventionella skogsbrukets kostnader och utveckling.

I kalkylerna är grundpriset för poppelbiomassaråvara satt till 200 SEK/MWh levererat till industri och att biomassan hanteras som rundved. Tabellen nedan visar markersättning (arrende) i SEK per hektar och år för olika prisnivåer per MWh.

Känslighetsanalys, SEK per MWh för biomassa levererad till industri från olika marktyper, omloppstider i södra respektive norra Sverige för att ge markersättning (arrende) per hektar och år i fem olika nivåer 500, 1000, 1500, 2000 respektive 2500 SEK per hektar och år.

Lokalisering och marktyp för poppelodlingar		Omloppstid	SEK/MWh för fem olika nivåer på markersättning				
Södra Sverige	Jordbruksmark	30 år	175	189	203	217	232
		20 år	194	208	222	236	251
	Skogsmark	30 år	201	214	227	241	254
		20 år	235	255	275	295	315
Norra Sverige	Jordbruksmark	30 år	193	212	231	250	269
		20 år	219	238	257	276	294
	Skogsmark	30 år	226	243	261	278	296
		20 år	273	299	325	352	378
Markersättning per hektar och år			500 SEK	1000 SEK	1500 SEK	2000 SEK	2500 SEK



Geografisk fördelning för möjliga odlingsarealer för snabbväxande lövträd. Notera att det är olika skalor på kartorna. Arealer som visas är den totala arealen.

Den stora skillnaden mot konventionell granplantering är den högre etableringskostnaden, där framför allt kostnaderna för planter, plantering och plantbehandling sticker ut. Kostnaden för planter och plantering bör kunna reduceras kraftigt och närma sig kostnaden för granplantering vilket som mest reducerar kostnaden med motsvarande ca 6-7 SEK/MWh.

Plantbehandling för att förebygga viltskador samt markbehandling för att förebygga sorkskador och ogräskonkurrens är mycket viktiga men också platsspecifika. Därför blir det också svårt att uppskatta den exakta kostnaden för dessa åtgärder.

En fördel med poppelodling är att generation två växer till spontant via stubb- och/eller rotskott, generellt utvecklas snabbare och därför kan sköras tidigare. En nackdel är att bestånden blir täta, samtidigt som självgallring (att skott dör) är omfattande. Men etableringskostnaderna för följande generationer försvinner, vilket kan motsvara upp till ca 70 kr per MWh. Det finns bara bristfälligt kunskapsunderlag om hantering av andra generationen, men troligtvis kommer andra kostnader, till exempel för skörd, att öka.

En generell slutsats från vår studie är att den initiala investeringen för att börja använda poppel som biomassaråvara i industrin kan vara stor, men att produktionen från poppel generellt sett är lönsam vid en prisnivå på omkring 200 SEK/MWh. Markersättningen stiger snabbt vid ganska marginella prisökningar per MWh (se tabell).

Vilka är poppelns egenskaper som drivmedelsråvara via förgasning?

För att kunna beskriva hur poppel fungerar som råvara för drivmedelsframställning via förgasning har vi analyserat bränsleegenskaperna för tolvårig och 30-årig poppel. Analyserna visar att sammansättningen av den brännbara substansen hos poppel från äldre bestånd liknar sammansättningen hos traditionell barrstamved. Troligen finns det då stora likheter mellan de jämförda substansernas bränsleomvandlingsbeteende.

Vad gäller poppels askhalt och innehåll av askbildande element liknar den traditionella trädbränslen där stamvedsfraktionen har låga halter och grot- och barkfraktionerna har signifikant högre halter. Kiselhalterna hos poppel är dock betydligt lägre än hos traditionella skogsbränslen och salix, något som bör utvärderas närmare eftersom askans beteende i förgasnings- eller förbränningsprocesser kan ge upphov till askrelaterade driftsproblem. Ur ett bränsleperspektiv är poppel därmed ganska likvärdig rundved från gran, och bedöms ur ett rent förgasningstekniskt perspektiv ha en potential att vara enklare att förgasa än dagens grot eller salix. Förgasning skulle enligt vår råvaruanalys vara ett möjligt processkoncept för biodrivmedelsframställning från poppelbiomassa. Det finns egenskaper som poppelbiomassa delar med traditionell barrved men också egenskaper som behöver utredas mer.



Avverkning av 30 år gammal poppel som analyserats som råvara till drivmedel. Observera att den mörka centrumveden på bilden inte är röta.

Var ska ett bioraffinaderi ligga?

Avgörande för en biodrivmedelsanläggnings lönsamhet och placering är tillgången på tillräcklig mängd rätt typ av bioråvara till ett acceptabelt pris. Enligt våra resultat visar de flesta län i södra och mellersta Sverige upp en råvarupotential på minst 160 000 ton TS per år. Flera av länen, till exempel Skåne och Östergötland, har betydligt högre råvarupotential och skulle kunna lokalisera ett bioraffinaderi vid gynnsamma platser. Västra Götaland är den region som visar störst produktionspotential av poppelbiomassa, både

från odlingar på jordbruksmark och skogsmark. Ett bioraffinaderi med lokalisering i Vänersborg skulle omges av arealer som kan erbjuda totalt ca 510 000 ton TS biomassa/år. Här finns även möjlighet till resurseffektiva transporter av biomassa från exempelvis Värmland. En ytterligare fördel med lokalisering i västra Sverige är att om ett bioraffinaderi tar fram en produkt som behöver uppgraderas finns det på västkusten flera befintliga oljeraffinaderier med möjlighet att göra detta.

Studien indikerar att det på ett flertal platser finns möjlighet att anlägga biodrivmedelsanläggningar som förbrukar 240 000-443 000 ton TS poppel/år. Enligt våra beräkningar (exkl. energi för upparbetning till slutliga produkter) skulle en anläggning om 443 000 ton TS poppel/år teoretiskt kunna bidra med i storleksordningen 1,3 TWh Fischer Tropsch-produkter (bensin, jetbränsle och marin diesel) eller 1,5 TWh metanol eller 1,2 TWh bensin framställt med MTG-teknik (eng. *Methanol to Gasoline*). Totalt skulle det i Sverige finnas underlag för ca 20 anläggningar som förbrukar 160 000 ton TS per år.

Kolförlusterna i form av koldioxid vid processandet av biomassa till produkter för de utvärderade processkoncepten är ca 50 %. Den kan minskas genom att till processen tillföra extra vätgas vilket då även ökar mängden produkter. Fullt nyttjat skulle tillförd vätgas kunna minimera kolförlusten och mer än fördubbla produktmängderna från samma mängd biomassa. Den tillförda vätgasen skulle kunna produceras via elektrolys av vatten med förnybar el. Det krävs dock stora mängder el och vi har inte inom ramen för denna studie beräknat hur detta påverkar systemet.

Vad blir det för pris?

De drivmedelsproduktionspriser som vi räknat fram ligger väl i linje med beräkningar i tidigare studier. Produktionsprisintervallet för de olika produkterna är 0,64-1,31 SEK/KWh och beror på variationer i valda grundläggande data som anläggningsstorlek, råvarukostnad, bidragsandel för investeringen, samt med eller utan inkomster från Bio-CCS. Metanol har enligt beräkningarna den lägsta produktionskostnaden. Biobensin via MTG och FT-produkter har likvärdiga produktionskostnader men där FT har högsta kostnaden. Till dessa produktionskostnader tillkommer för MTG-bensin och FT-produkterna en ytterligare kostnad för upparbetning till en färdig produkt som kan säljas vid pump.

De beräknade produktionskostnaderna kan jämföras med marknadspriset den 1 januari 2022 (Preem & Circle K) för diesel och HVO 100 på ca 2,07 respektive 2,55 SEK/KWh ex. moms vid pump. Marknadspriset för HVO kan jämföras med beräknade produktionskostnader för FT-produkter som kan upparbetas till motsvarande HVO-diesel. I jämförelsen saknas dock kostnaden för upparbetning till färdig produkt, transporter och infrastrukturkostnader, handelsmarginaler och skatter.

Grova beräkningar med gjorda antaganden visar att införandet av ett Bio-CCS-system med intäkt för infångning och lagring av koldioxid, avsevärt skulle förbättra lönsamheten. En djupare och mer detaljerad analys av hur ett Bio-CCS system påverkar produktpriset bedöms som mycket intressant.

¹ OP 42 heter den vanligaste klonen av hybridpoppel som används i Sverige.

Mer bioenergi och mindre negativa miljöeffekter från jordbruket

MAJ 2022

Göran Berndes och Christel Cederberg
Chalmers tekniska högskola

Pål Börjesson,
Lunds universitet

Oskar Englund,
Mittuniversitetet

21

Multifunktionella odlingar skapar mervärden i jordbruket

Jordbruket spelar en viktig roll i klimatomställningen, både i Sverige och globalt. Utöver åtgärder för att minska de egna växthusgasutsläppen, kan jordbruket tillhandahålla biomassa för bioenergi och andra biobaserade produkter och samtidigt åstadkomma negativa utsläpp genom att lagra in kol i växande biomassa och åkermark. Det finns samtidigt potentiella synergier med andra mål, till exempel att underlätta samhällets anpassning till potentiella klimatförändringar genom att förändra markanvändningen och därigenom mildra negativa effekter av översvämningar.

Forskning pekar på möjligheterna att etablera så kallade multifunktionella bioenergisystem. De baseras på biomassa från odlingar som upprätthåller specifika funktioner utöver att leverera biomassa, ofta fleråriga odlingssystem som genom sin lokalisering, utformning och skötsel kan minska jordbrukets negativa miljöpåverkan. Många studier pekar ut bioenergi och i vissa applikationer är energianvändningen en förutsättning för systemets funktionalitet. Ett exempel på detta är odling av lämpliga växter på förorenade marker, där användning av biomassan för energiändamål gör det möjligt att omhänderta föroreningarna. Men i många fall kan den producerade biomassan användas som råvara för produktion av andra biobaserade produkter.

Många studier av specifika multifunktionella odlingsystem ger viktig information om hur odlingssystemen kan utformas och vilka mervärden som kan skapas. Men det saknas konsistent genomförda analyser på nationell nivå och EU-nivå av hur stora jordbruksarealer som är lämpliga för olika slags multifunktionella odlingar, och som ger kvantitativ information om hur mycket biomassa som kan produceras, och visar vilka specifika miljöproblem som kan hanteras med hjälp av sådana odlingar. Det är kunskap som är viktig inte minst för politiska beslutsfattare och myndigheter med ansvar för utformningen av nya styrmedel inom energi-, klimat-, miljö-, och jordbrukspolitiken, och för jordbrukets aktörer som utvecklar strategier för klimatomställning och samtidigt strävar efter att förbättra energiför-

sörjningen och mildra jordbrukets negativa miljöpåverkan.

Modellering visar potentialen för multifunktionella odlingar

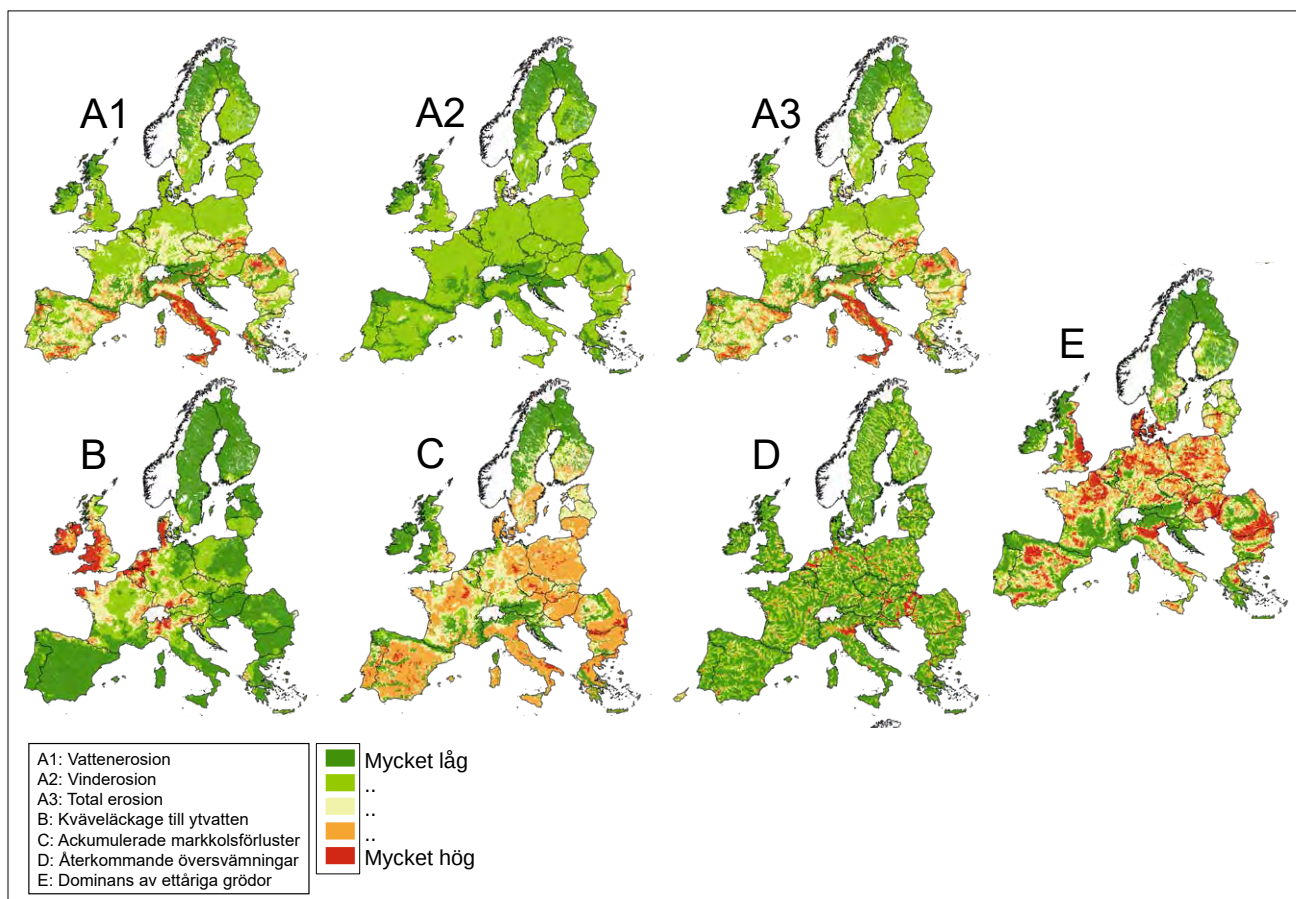
Vi har gjort modelleringar på tre olika geografiska nivåer (EU:s 27 medlemsländer och Storbritannien (EU27+UK), Sverige samt Skåne) och kartlagt förutsättningar för etablering av multifunktionella odlingar för att producera biomassa och samtidigt reducera negativa effekter av jordbruk. Vi fokuserar på odling av fleråriga grödor och möjligheten att minska omfattningen av vattenerosion, vinderosion, kväveläckage, förlust av markkol samt återkommande översvämningar.

Figur 1 visar hur sannolikt det är att olika negativa effekter av jordbruk uppstår inom mer än 81 000 individuella avrinningsområden (landskap). Förekomsten av ettåriga grödor i landskapen (karta E i Figur 1) används som underlag för bedömningar av hur effektivt en introduktion av fleråriga grödor kan reducera de negativa effekterna av jordbruket. Bedömningarna används för modellering av geografisk utbredning av olika slags multifunktionella odlingar samt kvantifiering av biomassaproduktion och reduktion av jordbrukets negativa effekter.

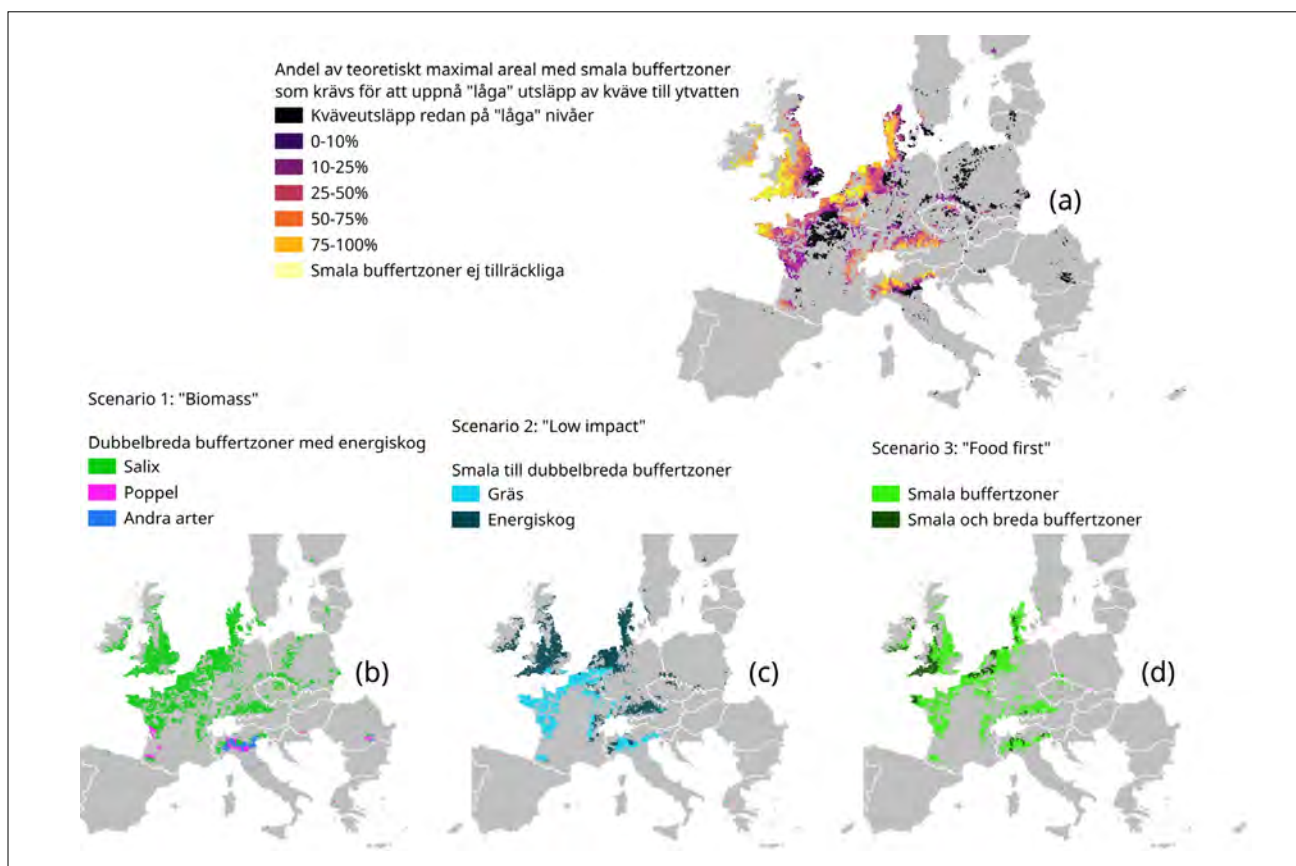
Buffertzoner kan minska kväveläckage

Odling av energiskog och energigräs i buffertzoner utmed vattendrag kan reducera kväveläckage från jordbruket och därigenom minska risken för att akvatiska ekosystem påverkas av övergödning. Buffertzoner kan även reducera jorderosion och bidra till negativa utsläpp genom ökad kolinbindning i marken. Den här sortens aktivt brukade buffertzoner kan utformas och placeras på olika sätt i landskapet. Detta illustreras i de tre nedre tre kartorna i Figur 2 som visar modellerad utbredning av olika slags buffertzoner i tre scenarier där olika avvägningar görs mellan biomassaproduktion, markanspråk och reducerat kväveläckage. Den övre kartan visar hur mycket av teoretiskt maximal areal med buffertzoner av den smalaste typen som krävs för att reducera kväveläckaget till ”låg” nivå i de olika scenarierna.

Arealsanspråket i scenario 1 (Biomass) är störst och mot-



Figur 1. Bedömd sannolikhet för olika negativa miljöeffekter inom ca. 81 000 avrinningsområden i EU27+UK (kartorna A-D) samt dominans av ettåriga grödor inom jordbruket i avrinningsområdena.



Figur 2. Tre scenarier för biomassproduktion i buffertzoner som samtidigt reducerar kväveläckage från jordbruket. Dubbelbreda buffertzoner består av två separata delar som skördas växelvis för att undvika perioder med låg reduktion av kväveläckaget.

svarar ungefär 1,3% av arealen som odlas med ettåriga grödor i EU27+UK. Biomassaproduktionen i buffertzonerna beräknas till ca. 300 PJ (83 TWh) per år och kväveläckaget från EU:s åkermark minskar med en tredjedel.

Arealsanspråket och biomassaproduktionen i scenario 2 (Low Impact) motsvarar ca 7% och 8% av nivåerna i scenario 1, medan reduktionen av kväveläckage är ungefär tre gånger lägre. Detta speglar skillnaden i prioriteringar vid etablering av aktivt brukade buffertzoner, där scenario 3 (Food first) ger störst reduktion av kväveläckage per hektar medan scenario 1 framför allt levererar avsevärt mer biomassa.

Lähägn kan minska vinderosion

Energiskogsodlingar bestående av salix och poppel kan utformas som lähägn och placeras i jordbrukslandskap för att minska problem med vinderosion. Lähägn kan också bidra till ökad inbindning av markkol, minskad vattenerosion och minskat näringsläckage. Liksom för buffertzoner visade de modellbaserade beräkningarna att lähägn kan ge betydande synergieffekter samtidigt som biomassa produceras för bioenergi och andra ändamål. Arealsanspråk och biomassaproduktion är av liknande omfattning som för buffertzoner; på en yta motsvarande 0,3–2,1% av åkermarksareal som används för odling av ettåriga grödor i EU27+UK kan lähägn producera 60–450 PJ (15–125 TWh) biomassa per år. Samtidigt kan den totala förlusten av matjord från EU:s åkermark pga vinderosion minska med mellan 20 och 25%.

Lähägn och buffertzoner utmed vattendrag kan reducera problem kopplat till översvämningar. Ökande klimatförändringar och mer extrema väderhändelser gör åtgärder för att hantera mer frekventa och allvarligare översvämningar allt viktigare.

Mervärden med ökad vallodling

Det är vanligt med växtföljder med bara ettåriga grödor inom jordbruket i EU idag (se karta E i Figur 1). Detta har lett till betydande förluster av markkol under de senaste decennierna. Men om växtföljder som domineras av ettåriga grödor förändras till att innehålla ett större inslag av vallväxter, så kan halterna av markkol åter öka. Utöver klimatt nyttan som följer av kolinbindning i marken så kan åkerjordens bördighet förbättras och risken för näringsläckage och erosion minskar.

Modellbaserade beräkningar av markkolsförändringar vid introduktion av vall i växtföljder med ettåriga grödor visade att det finns goda möjligheter att skapa negativa utsläpp genom ökad kolinbindning i åkermark i EU27+UK.

I ett scenario med introduktion av vallodling under två år i en sexårig växtföljd på åkermark med de högsta markkolsförlusterna erhöles en extra kolinbindning på 4,7 miljoner ton kol per år fram till 2050. När vallodling dessutom introduceras på åkermark med medelhöga markkolsförluster så ökar den extra kolinbindning till 12,1 miljoner ton kol per år fram till 2050. Denna extra kolinbindning motsvarar ca. 4–10% av de totala växthusgasutsläppen från dagens jordbruk inom EU27+UK.

Gräsbiomassan som produceras kan utnyttjas för produktion av proteinfoder och biogas i bioraffinaderier. I de två exemplen med ökad vallodling som beskrivs ovan så skulle omkring 20–60 respektive 10–40 miljoner ton rå- och uppgaderat protein kunna produceras årligen, tillsammans

med 1 respektive 2,6 EJ (280 respektive 720 TWh) biogas. Om biogasen ersätter naturgas för kraftvärmeproduktion eller bensen och diesel i fordon kan den sammanlagda klimatvinsten, inklusive ökad markkolsinbindning, motsvara 13–48% av växthusgasutsläppen från dagens jordbruk inom EU27+UK.

Undanträngningseffekter behöver beaktas

Minskad odling av ettåriga grödor inom EU27+UK kan leda till att odling av ettåriga grödor breder ut sig i andra delar av världen. Det kan orsaka lokal avskogning och andra markanvändningsförändringar som helt kan förta effekten av utsläppsreduktionen i EU27+UK.

I de två exemplen med vallodling som beskrivs ovan minskar arealen med ettåriga grödor 13% och 35%. Men undanträngningseffekterna kan mildras genom att vallodlingen leder till att åkerjordens bördighet ökar vilket kan ge högre skördar för ettåriga grödor. Andra positiva växtföljds-effekter är minskad risk för skadeangrepp och behov av växtskyddsmedel, förbättrad markstruktur och mindre risk för markpackning. Proteinfoder som produceras av gräsbiomassan kan ersätta importerat sojaprotein, vilket kan vara särskilt värdefullt med tanke på att expanderande sojaproduktion är en viktig faktor bakom tropisk avskogning.

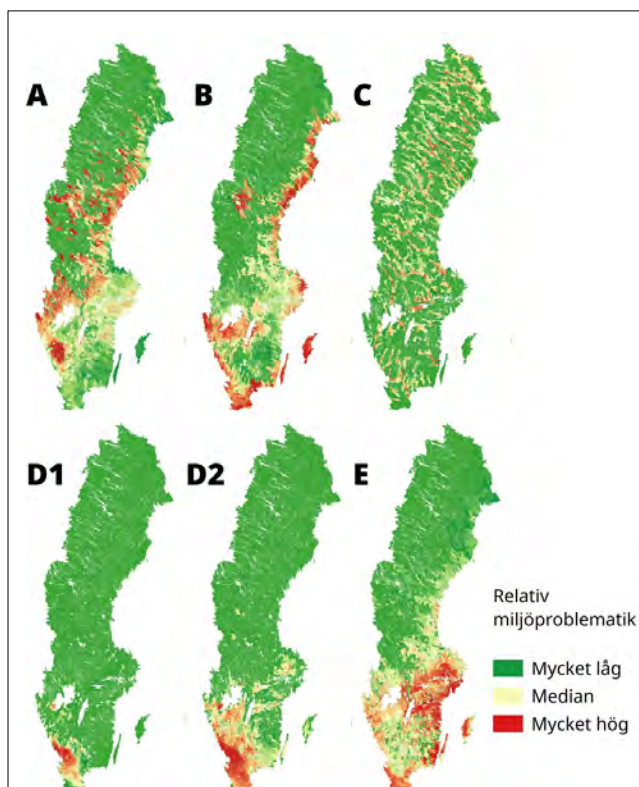
En annan klimatvinst är associerad med biogas från gräs-baserade bioraffinaderier om biogas antas ersätta naturgas. Biogasen kan anses mildra undanträngningseffekter av vallodling genom att vallodlingen tillhandahåller substrat för biogasproduktion som annars kräver utvidgad odling av andra grödor för samma syfte.

Marginaleffekter är komplexa och slutsatser kring effekter av förändringar inom jordbruket kan botten i mer eller mindre välgrundad analys. Forskarvärlden har ett stort ansvar att förklara för- och nackdelar med olika metodansatser och förmedla perspektiv och insikter från olika komplementära ansatser i stället för att ensidigt framhålla enskilda studier och resultat.

Förbättrad markanvändning i svenskt jordbruk

Modelleringar för Sverige ger en bild av möjliga negativa miljöeffekter av jordbruket (Figur 3) inom landet, samt var och hur multifunktionella odlingar kan bidra till att reducera effekterna. Liksom för EU27+UK är arealsanspråken för buffertzoner och lähägn relativt små (som högst 0,6% och 2,3% av åkerarealen i Sverige) men den lokala miljönnyttan kan bli betydande på de platser där sådana odlingar etableras. Biomassaproduktionen beräknades till ca. 1,3–14 PJ (0,4–3,9 TWh) per år från buffertzoner och lähägn sammantaget. Kolinbindningen i marken beräknades sammanlagt bli över 40 000 ton C per år i scenariot med störst areal buffertzoner och lähägn.

Introduktion av vall i växtföljder med enbart ettåriga grödor beräknades ge en totalskörd motsvarande ca. 34–100 PJ (9–28 TWh) biomassa per år, eller ca 17–50 PJ (5–14 TWh) biogas och 0,23–0,86 miljoner ton förädlad protein per år om biomassan används som råvara i bioraffinaderier. Vallodlingen beräknades vidare resultera i kolinbindning i marken motsvarande 2,6–6,7 miljoner ton C per år fram till 2050, motsvarande ca 5–13% av Sveriges nuvarande utsläppsnivå. Vallodlingen skulle omfatta 13–35% av Sveriges totala åkermarksareal.



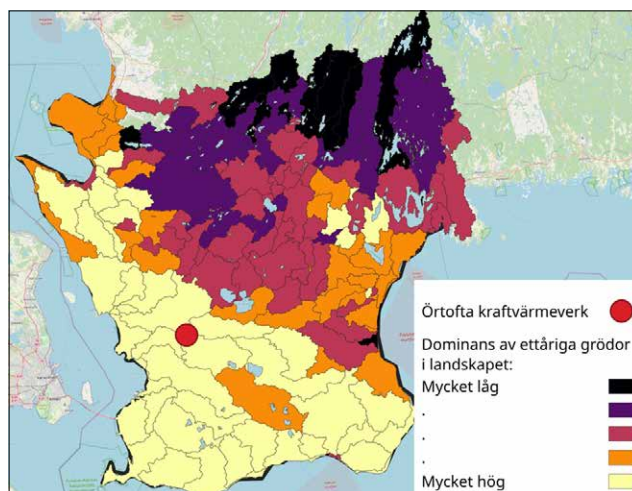
Figur 3. Illustration av kopplingen mellan jordbruk och möjlig förekomst av vattenerosion (A), vinderosion (B), översvämningar (C), kväveläckage (D1), kväveläckage med 50% lägre gränsvärde (D2) samt ackumulerade förluster av markkol (E)

Multifunktionella odlingar ger bioråvara till kraftvärmeverk

I ett tidigare forskningsprojekt har förutsättningarna för integrerad produktion av bioolja via pyrolys utretts för kraftvärmeverket i Örtofta utanför Lund i Skåne¹. I studien ingick olika scenarier avseende storleken på biooljeproduktionen och därmed också det ökade årliga behovet av bioråvara. Vi har analyserat hur stor del av det ökade behovet av bioråvara som skulle kunna tillgodoses med multifunktionella odlingar i Skåne.

Örtofta kraftvärmeverk ligger i en del av Skåne där jordbruket har ett stort inslag av ettåriga grödor (figur 4). Detta innebär att olika typer av vegetationszoner i trakterna kring kraftvärmeverket kan bidra till att minska övergödning av vattendrag pga. kväveläckage från jordbruket. Därför undersöktes potentialen för salixodling i form av buffertzoner utmed vattendrag och filtreringszoner för hantering av näringsrikt dräneringsvatten. Dessutom uppskattades potentialen för odling av poppel på nedlagd åkermark.

Resultatet blev att salixodling i vegetationszoner, tillsammans med poppelodling på nedlagd åkermark, skulle kunna stå för den största delen av biobränsleförsörjningen. I scenariot med det största biomassabehovet i den tidigare studien (160 000 ton TS per år, eller 920 GWh) skulle dock kompletterande biomassaproduktion behövas för att tillgodose ungefär 15% av det totala behovet.



Figur 4. Odlingensintensitet på åkermark i Skåne samt platsen där Örtofta kraftvärmeverk ligger.

Kväveläckaget från skånsk åkermark bedöms kunna minska med cirka 5–6% om salixodling i vegetationszoner etableras enligt ovan. Inbindningen av markkol i vegetationszonerna och i poppelodlingarna uppskattas motsvara ungefär en halv procent av Skånes totala utsläpp av växthusgas. En stor del av salixodlingarna skulle kunna utgöras av så kallade ekologiska fokusarealer som kan stödjas inom ramen för EU:s jordbrukspolitik.

Nya styrmedel kan öka intresset

För att multifunktionella odlingar ska bli vanligare behöver möjligheterna att få avsättning för biomassan som produceras, exempelvis som råvara för produktion av biodrivmedel och proteinkoncentrat, tydliggöras för jordbrukare. Det behöver också finnas incitament för att skapa de mervärden som är associerade med multifunktionella odlingar, eftersom produktionskostnaderna kan vara högre än vid konventionell biomassaproduktion.

Inom EU ger den nyligen reviderade jordbrukspolitiken (Common Agricultural Policy, CAP) nya möjligheter att stödja så kallade ekologiska fokusarealer där specifika ekologiska effekter i dedikerade odlingar premieras, samtidigt som biomassan får skördas för energiändamål. Exempel på ekologiska fokusarealer är salixodlingar och vallinsådd i huvudgröda och mellangröda, dvs grödor som odlas mellan två huvudgröda för att täcka marken, binda växtnäring och bidra till biologisk mångfald.

Det förs diskussioner kring ekonomisk ersättning för ökad kolinbindning i jordbruksmark, dvs att ge jordbrukare betalt för åtgärder som innebär negativa utsläpp. Här finns en möjlig koppling till utformningen av styrmedel som syftar till att driva på transportsektorns omställning; om biodrivmedel produceras av råvaror från jordbruksmark som binder in kol så skulle detta kunna beaktas inom ramen för reduktionsplikten som skall gynna biodrivmedel med låg klimatpåverkan.

¹. Björnsson, L. et al (2021). Bioolja från befintliga kraftvärmeverk - en systemstudie: Sammanfattning av ett forskningssamarbete mellan Lunds Tekniska Högskola, Karlstad universitet och Kraftingen Energi. (Rapport 123 uppl.) Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Tekniker för framställning av syrefattig bioolja som råvara till biodrivmedel

MAJ 2022

Shareq Mohd Nazir, Klas Engvall, Lucio Rodrigo Alejo Vargas och Shivani Ramprasad Jambur,
KTH Kungliga tekniska högskolan

Pontus Bokinge och Elin Svensson,
CIT Industriell Energi

Gopi Subramaniam och Simon Harvey,
Chalmers tekniska högskola

Rolf Ljunggren,
Cortus Energy

22

Inblandningsbara biodrivmedel nära till hands för att uppnå klimatmål

Sverige har definierat hållbarhet, ett fossilfritt och biobaserat samhälle, samt innovation som strategiskt viktiga utvecklingsområden för att nå upp till klimatmålen 2030. Detta har kraftigt drivit på behovet av att utveckla innovativa högeffektiva processer för att möta efterfrågan på inhemsk produktion av förnybara biodrivmedel för transportsektorn. Biomassa i form av rester från skogen och jordbruket är de viktigaste källorna till förnybart kol för att producera en mängd olika värdefulla energibärare. De erbjuder stora möjligheter att minska behovet av fossil råvara och därmed ändra den nuvarande fossilbaserade ekonomin.

Sverige har goda förutsättningar att ta tillvara restbiomassa för produktion av biodrivmedel i form av till exempel bensin, diesel och flygbränsle till transportsektorn. För närvarande står biodrivmedel för 19,5 %, eller 16 TWh/år, av hela den svenska transportsektorns energibehov. Behovet som förväntas öka till 38 TWh/år till år 2045¹.

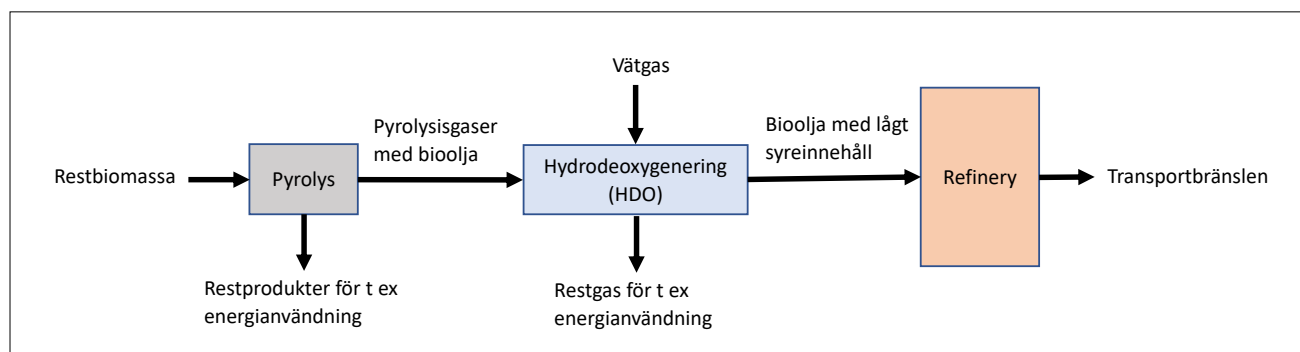
Användningen av biobränslen i Sverige kan ökas på två sätt. För det första kan vi använda biodrivmedel i form av *drop-in-bränslen*. De kan blandas direkt med konventionel-

la fossila transportbränslen i dagens fordonsflotta och utnyttjar befintlig infrastruktur. För det andra kan vi använda nya biodrivmedel i form av metanol, metan eller vätgas, men de kräver både helt ny teknik inom fordonsflotta och ny distributionsinfrastruktur. Det andra sättet är dyrare än det första, vilket gör möjligheten att använda drop-in-bränslen attraktiv.

Syrefattig bioolja är en lämplig råvara

Som biobaserad råvara för att producera drop-in-bränslen i form av bensin och diesel är bioolja ett lämpligt val eftersom den kan användas i raffinaderiprocessen på samma sätt som vanlig fossil råolja. Med termisk nedbrytning av restbiomassa genom så kallad pyrolys får man en gas med högt innehåll av bioolja.

Men innan biooljan används i raffinaderiprocessen behöver dess höga innehåll av syre tas bort för att underlätta transport och lagring av biooljan. Det kan ske genom hydrodeoxygenering (HDO) där vätgas reagerar med syret och bildar vatten (se figur 1). Biooljan kan därefter användas i raffinaderiprocessen på samma sätt som vanlig fossil råolja för produktion av drop-in-bränslen i form av bensin och diesel.



Figur 1. Förenklad processväg med de ingående stegen i produktionen av transportbränslen från restbiomassa.

Vätgas är en nyckelkomponent

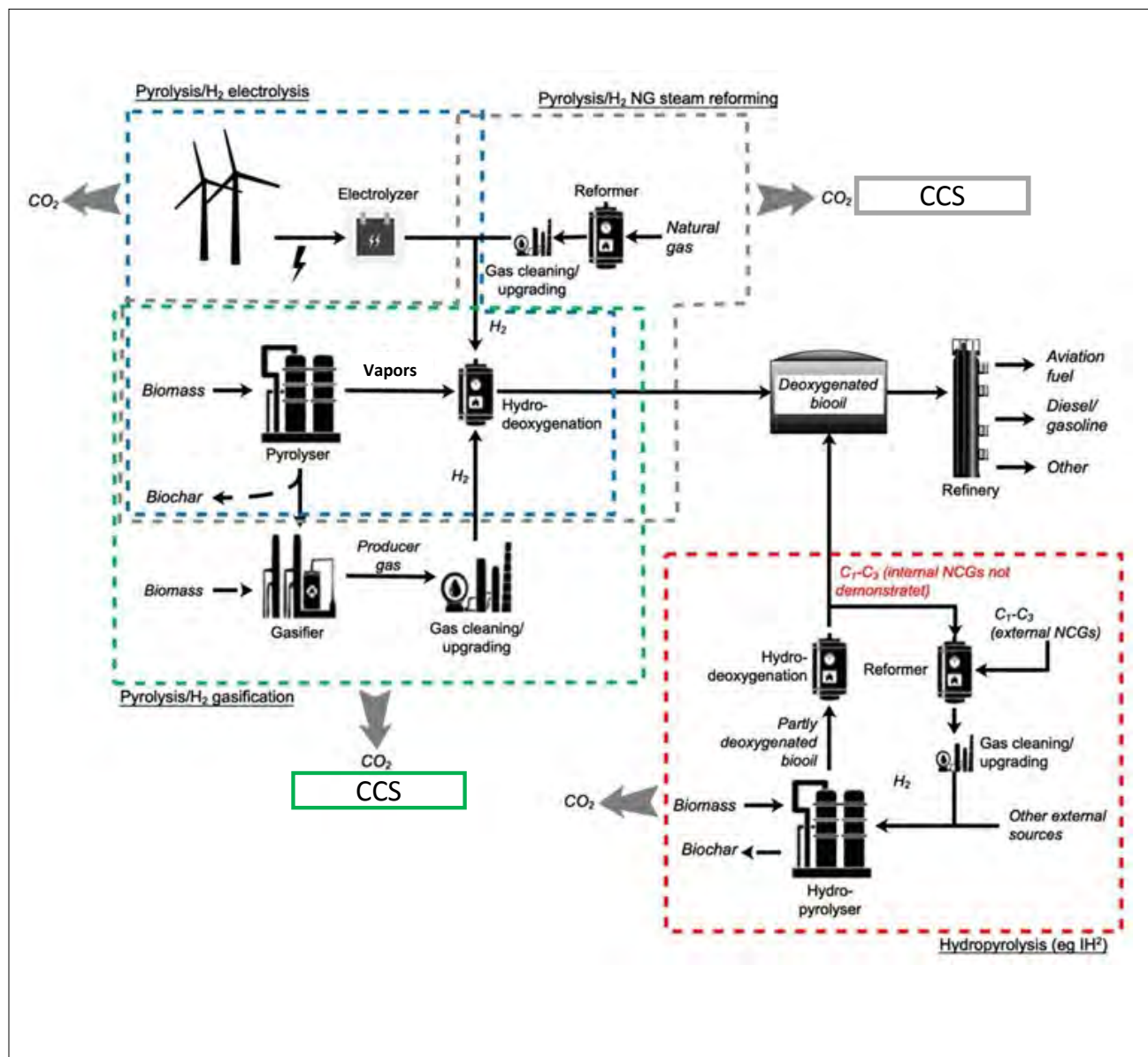
För att möta en prognostiserad efterfrågan på biodrivmedel i Sverige år 2045 behöver vi producera en större mängd syrefattig bioolja. För det behövs mellan 0,17–0,42 miljoner ton vätgas per år. Produktion av vätgas är därför en nyckelfaktor för produktionen av syrefattiga biooljor som i en raffineradriprocess kan omvandlas till drop in-bränslen.

Vi har utvärderat fyra olika processscenarier och råvaror för framställning av vätgas och som ramas in av streckade linjer i olika färger i figur 2:

1. Naturgas via ångmetanreformering (grå streckad linje)
2. Förgasning av restbiomassa eller restprodukter från pyrolysisprocessen (grön streckad linje)

3. Elektrolys av vatten där förnybar elektricitet används (blå streckad linje)
4. Den så kallade IH2-processen, där pyrolysen av restbiomassa, hydrodeoxygeneringen och produktionen av vätgas integrerats till en helhet för att effektivisera produktionen av syrefattig bioolja (röd streckad linje).

I processscenarierna 1–3 används den producerade vätgasen direkt i hydrodeoxygeneringen av biooljan för produktion av en syrefattig bioolja. IH2-processen är en kostnadseffektiv process ursprungligen utvecklad av Gas Technology Institute (GTI) och senare vidareutvecklad av Shell, som även äger rättigheterna till processen.



Figur 2. De fyra olika utvärderade processscenarierna för vätgasproduktion och hur de kopplar till produktionen av en syrefattig bioolja för vidare förädling i raffinaderiet.

Koldioxidutsläpp från vätgasproduktionen måste reduceras

Processer för produktion av vätgas kan medföra mycket stora utsläpp av koldioxid beroende på produktionsprocessen och råvaran. Idag produceras vätgas industriellt huvudsakligen genom reformering av naturgas (metan), vilket genererar 9 kg koldioxid per kg vätgas. En produktion av vätgas via förgasning av restbiomassa genererar motsvarande 18 kg koldioxid per kg vätgas, men utsläppen är i stort koldioxidneutrala inom tidsramen 100 år eftersom de ingår i naturens kretslopp.

Utsläppen kan minskas genom infångning och permanent lagring av koldioxid under havsbotten (CO₂ Capture and Storage, CCS), vilket skulle resultera i negativa koldioxidutsläpp när CCS används tillsammans med förgasning av restbiomassa. Alternativt kan vätgas produceras utan några koldioxidutsläpp genom elektrolys med förnybar el. Utsläppen av koldioxid har tillsammans med produktionskostnaderna för vätgas en stor inverkan på den totala kostnaden för produktionen av drop-in-bränslen.

Resultaten från studien visar att IH2-processen minskar koldioxidutsläppen med 91–96 % jämfört med fossil råolja. För processerna som använder biomassaförgasning respektive elektrolys så hamnar minskningen på 79–84% respektive 88–93%. Om bio-CCS inkluderas tillsammans med förgasningsprocessen så erhålls negativa utsläpp.

Prestanda varierar med olika villkor för de studerade processscenarierna

För de bedömda processscenarierna överträffar IH2-processen, där vätgas produceras separat, alla de övriga proces-

serna när det gäller ekonomisk prestanda. Priset på drop-in-bränslet blir 56–75% lägre än dagens marknadspris för fossilbaserade drivmedel. I scenariot där vätgasproduktionen för HDO-processteget stöds av förgasning av restbiomassa (inom den gröna streckade linjen i figur 2), erhålls en bättre miljömässig och ekonomisk prestanda (15 % lägre pris än dagens marknadspris) i de fall då priset per energienhet för restbiomassa är lägre än priset på el och fossilt bränsle (naturgas/metan). Om bio-CCS integreras med förgasningsprocessen för de fallen som inkluderar krediter för negativa utsläpp, så blir priset 11 % lägre än dagens marknadspris.

Det finns ett tydligt samband mellan investeringskostnaderna för att producera drop-in-bränslen från bioolja enligt de processscenarier vi studerat och styrningen av de framtida energisystemen. En styrning som innebär att biomassa betraktas som en begränsad resurs skulle exempelvis ge höga kostnader, medan en framtida styrning mot krediter för negativa utsläpp (s.k. bio-CCS-krediter) skulle vara fördelaktigt för investeringsmöjligheterna i framställning av syrefattigt bioolja för vidare produktion av drop-in-bränslen. Sammanfattningsvis är de viktigaste slutsatserna att:

- IH2-processen är den mest kostnadseffektiva processen och den som ger den största minskningen i koldioxidutsläpp.
- Kolomsättningen i processen är låg (< 50%), vilket kan förbättras genom att utnyttja koldioxid för produktion av elektrobränslen.
- Vidare forskning krävs för att demonstrera hydrodeoxygeneringsprocessen i pilotskala och industriell skala.

¹. Källa: Svebio (2020). Roadmap Bioenergy - Meeting the Demand for Bioenergy in a Fossil Free Sweden.

Biltrafikens klimatpåverkan på väg mot klimatneutralitet

MAJ 2022

Göran Berndes, Daniel Johansson och Johannes Morfeldt,
Chalmers tekniska högskola

Julia Hansson och Sofie Hellsten,
IVL Svenska Miljöinstitutet

23

Biltrafikens klimatpåverkan måste minska

För att nå uppsatta mål för minskade växthusgasutsläpp i Sverige måste biltrafikens utsläpp minska betydligt. En ökad elektrifiering och inblandning av biodrivmedel i bensin och diesel har pekats ut som viktiga strategier för att få till stånd den omställning som krävs.

Vi har modellerat den svenska biltrafikens utveckling fram till 2060 för att visa hur omställning mot fossiloberoende och klimatneutralitet, dvs ett läge utan klimatpåverkande nettoutsläpp, kan uppnås i varierande grad genom minskad biltrafik, elektrifiering av bilparken och biodrivmedelsanvändning.

Biltrafikens koldioxidutsläpp och temperaturpåverkan beror på utvecklingen av flera aspekter: biltillverkning samt produktion och användning av el, bensin, diesel, och biodrivmedel, koldioxidutsläppens ursprung (användning av fossila råvaror eller biomassa), och utvecklingen inom den svenska skogssektorn som genom skogsbruket och produktionen av biodrivmedel och andra biobaserade produkter påverkar kolinlagringen i skogen och skogsprodukter.

Både elektrifiering och alternativa drivmedel behövs

Både biodrivmedelsanvändning och förbud mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor kan ge betydande bidrag till att minska transportsektorns fossila koldioxidutsläpp i Sverige, och båda behövs för att nå nationella mål.

För att visa hur den svenska biltrafiken fossila koldioxidutsläpp (från avgasrören) fram till 2060 skulle kunna se ut till följd av omvärldsutveckling och olika åtgärder för att nå nationella mål i Sverige, har vi gjort antaganden om trafikvolyms utveckling, om och när ett förbud mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor införs, utsläpp kopplat till el- och drivmedelsproduktion i Sverige och utomlands, samt hur inblandning av biodrivmedel i bensin och diesel utvecklas.

Figur 1 presenterar direkta koldioxidutsläpp (från bilarnas avgasrör) fram till 2060 för tre fall gällande biodrivmedelsanvändningen under perioden. Den svenska trafikvolyms utvecklas på samma sätt i de tre fallen medan förbud

mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor införs vid olika tidpunkter (eller inte alls):

1. *100% biodrivmedel 2065*: I det här fallet antas biodrivmedlens andel öka i linje med den beslutade reduktionsplikten (linjär ökning från 23% år 2019 till 59% år 2030) och därefter öka linjärt i en takt som innebär att andelen biodrivmedel når 100% år 2065.
2. *Reduktionsplikt till 2030*. Samma utveckling fram till 2030, men därefter ligger biodrivmedlens andel kvar på 2030-nivån under övrig resterande tidsperiod.
3. *Biodrivmedel enligt 2020*. I det här fallet ligger andelen biodrivmedel kvar på 2020 års nivå över hela den modellerade tidsperioden.

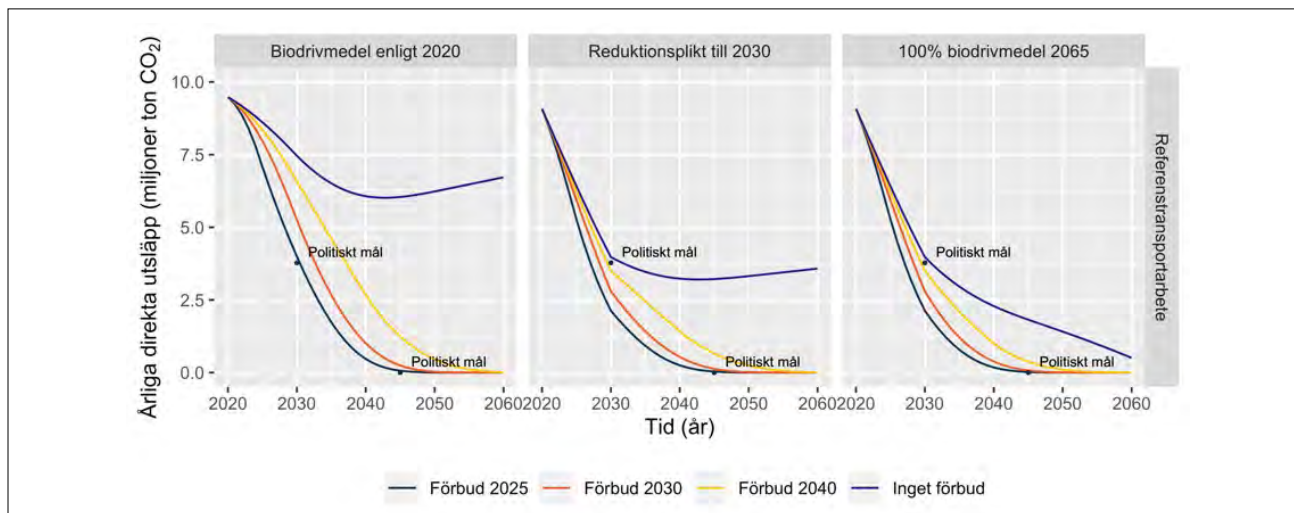
Sannolikt behövs det en kombination av försäljningsförbud och reduktionsplikt för att minska biltrafikens fossila koldioxidutsläpp i en omfattning som gör det möjligt att nå antagna politiska mål, speciellt med tanke på att det är svårt att förbjuda försäljning av nya bilar med förbränningsmotorer redan år 2025.

Men att kombinera ett tidigt försäljningsförbud med ambitiösa styrmedel för ökad användning av biodrivmedel skulle kunna minska bilarnas fossila koldioxidutsläpp mer än 70% fram till 2030. Den vägledande nivån för 2045, som ska vara nära noll, uppnås endast genom att kombinera ett tidigt förbud (år 2025 eller 2030) med ökande biodrivmedelsanvändning åtminstone fram till 2030. Utan ett förbud mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor beror biltrafikens utsläpp av fossil koldioxid i mycket högre grad på hur inblandningen av biodrivmedel utvecklas över tid.

Temperaturpåverkan av biltrafikens utsläpp av fossil koldioxid

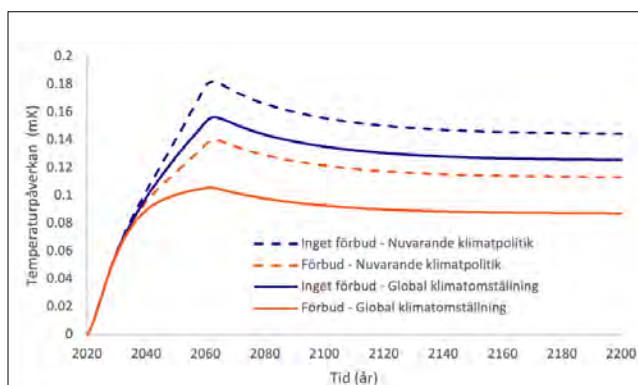
Biltrafikens temperaturpåverkan¹ beror inte bara på utsläppen från bilarnas avgasrör utan även på utsläpp kopplat till biltillverkning samt produktion och användning av drivmedel och el för laddning av elbilar.

Figur 2 visar temperaturpåverkan av den svenska biltrafikens totala utsläpp av fossil koldioxid 2020-2060, med och utan förbud mot försäljning av nya bilar med förbrännings-



Figur 1. Fossila koldioxidutsläpp från bilarnas avgasrör i den svenska biltrafiken 2020–2060. Diagrammen belyser effekterna av tidpunkten för ett förbud mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotorer och andelen biodrivmedel som används. Det vägledande politiska målet till 2030 motsvarar en minskning av de årliga utsläppen med 70 % jämfört med 2010 och det vägledande politiska målet till 2045 motsvarar ett nollutsläpp. Målnivåerna visas med punkter i diagrammen.

motor år 2030. För båda fallen visas hur temperaturpåverkan beror på utvecklingen när det gäller utsläpp kopplat till biltillverkning samt produktion och användning av bränslen och el. *Nuvarande klimatpolitik* speglar en värld där nuvarande styrmedel fortsätter att gälla i framtiden medan *Global klimatomställning* speglar en värld där klimatåtgärder vidtas och nettonollutsläpp uppnås till år 2070.



Figur 2. Temperaturpåverkan av den svenska biltrafikens totala utsläpp av fossil koldioxid 2020–2060 med och utan förbud mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor år 2030 och biodrivmedelsanvändning enligt fallet Reduktionsplikt till 2030. Utsläpp kopplat till biltillverkning samt produktion och användning av bensin, diesel och biodrivmedel, samt el för laddning av elbilar, ingår.

Temperaturpåverkan i de fyra fallen i Figur 2 skiljer sig åt alltmer och det är tydligt att både elektrifieringen av bilparken och en generell utveckling mot lägre koldioxidutsläpp inom biltillverkning samt produktion och användning av drivmedel och el (som antas i *Global klimatomställning*) bidrar till att begränsa biltrafikens temperaturpåverkan. Efter 2060 finns en långsamt avtagande uppvärmningseffekt som beror på att fossil koldioxid som släpps ut fram till 2060 finns kvar i atmosfären under mycket lång tid. Lutningen på kurvorna ger en indikation av hur uppvärmningen skulle fortsätta att utvecklas efter 2060 om utsläppen ligger kvar på samma nivå som 2060.

Temperaturpåverkan beror på koldioxidutsläppens ursprung

Användning av bensin och diesel leder till att geologiskt lagrat kol hamnar i atmosfären som koldioxid och orsakar uppvärmning under hundratals år. Den globala medeltemperaturen ökar linjärt med kumulativa utsläpp av fossil koldioxid till atmosfären.

Vid användning av biodrivmedel finns inte samma linjära samband mellan den globala medeltemperaturen och den biogena koldioxid som släpps ut från bilarnas avgasrör. I stället bestäms temperaturpåverkan av hur produktion och användning av biomassa för biodrivmedelsproduktion påverkar mängden kol som finns lagrad i ekosystem och i biobaserade produkter, dvs det biogena kollagret.

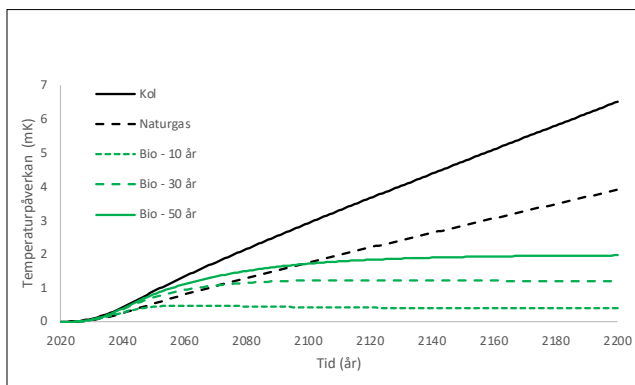
Biomassans omsättningstid är betydelsefull

Figur 3 och Figur 4 visar hur den globala medeltemperaturen påverkas när samma energimängd fossilkol, naturgas och biomassa årligen används som energiråvara under perioden 2020–2200. För biomassa visas tre olika fall där skillnaden är att kolatomerna i biomassan skulle ha funnits kvar i det biogena kollagret olika lång tid om biomassan inte hade använts som energiråvara (biomassans omsättningstid). Exempel på biomassa med relativt kort omsättningstid är avverkningsrester som bryts ner snabbt i skogen och vedråvara som används för att producera papper som används under kort tid och därefter eldas upp eller förmultnar snabbt. Vedråvara som används för produktion av sågat virke och andra träprodukter som används i husbyggen är exempel på biomassa med relativt lång omsättningstid, eftersom husen har lång livslängd.

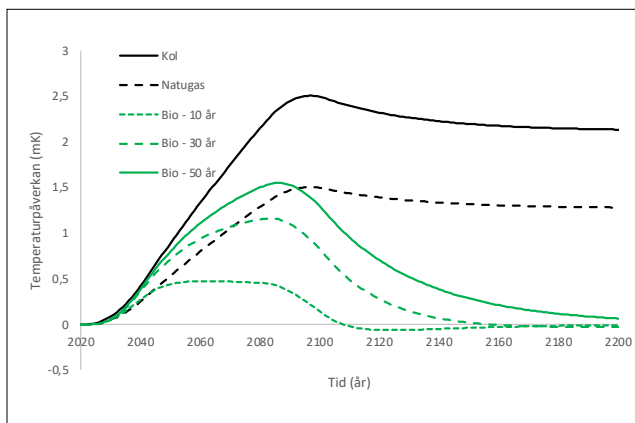
Figur 3 visar temperaturförändringen när användningen av fossilkol, naturgas och biomassa startar 2020 och växer linjärt fram till 2040 för att därefter ligga kvar på 2040-nivån ända fram till år 2200. I detta fall leder användningen av fossila bränslen till att temperaturen ökar linjärt med ackumulerade fossila koldioxidutsläpp. Däremot avstannar uppvärmningen som orsakas av att biomassa används som energi-

råvara eftersom det biogena kollagret efter en tid når en ny jämviktsnivå som bestäms av biomassans omsättningstid; ju längre omsättningstid desto mer minskar det biogena kollagret innan en ny jämvikt nås.

Figur 4 visar temperaturförändringen när användningen av fossilkol, naturgas och biomassa startar 2020 och växer linjärt fram till 2040, för att därefter ligga kvar på 2040-nivån fram tills 2080 då användningen minskar igen (linjärt) ner till noll år 2100. Uppvärmningsbidraget från fossilbränsleanvändning fram till 2100 är nästan detsamma år 2200, alltså hundra år efter att de fossila bränslena fasades ut. Temperaturpåverkan av bioenergianvändningen sjunker däremot tillbaka mot noll i en takt som beror på biomassans omsättningstid. Detta sker eftersom det biogena kollagret börjar öka igen när uttaget av biomassa för energiändamål börjar avta.



Figur 3. Påverkan på den globala medeltemperaturen när samma energimängd fossilkol, naturgas och biomassa med olika omsättningstid (10, 30 och 50 år) används årligen under perioden 2020–2200. Användningen startar 2020 och växer linjärt fram till 2040 för att därefter ligga kvar på 2040-nivån ända fram till år 2200.

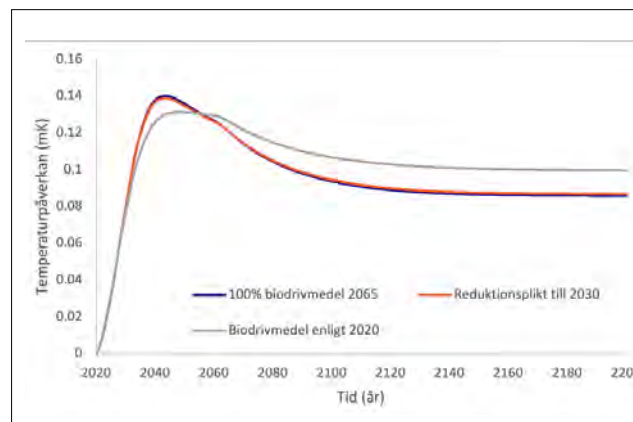


Figur 4. Påverkan på den globala medeltemperaturen när samma energimängd fossilkol, naturgas och biomassa med olika omsättningstid (10, 30 och 50 år) används årligen under perioden 2020–2200. Användningen startar 2020 och växer linjärt fram till 2040, för att därefter ligga kvar på 2040-nivån fram tills 2080 då de minskar igen (linjärt) ner till noll år 2100.

Både biogen och fossil koldioxid påverkar

Figur 5 beskriver den svenska biltrafikens temperaturpåverkan när även påverkan av biodrivmedelsproduktion på det biogena kollagret beaktas. I de tre fallen som visas antas biodrivmedelsanvändningen utvecklas på samma sätt som i Figur 1, förbud införs mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor år 2030 och omvärldsutvecklingen motsvarar scenariot *Global klimatomställning*. Bioråvarans omsättningstid antas vara 30 år.

omsättningstid antas vara 30 år. Biltrafikens temperaturpåverkan består alltså av (i) temperaturpåverkan av den svenska biltrafikens utsläpp av fossil koldioxid 2020–2060 som beskrivs av den röda heldragna linjen i Figur 2; och (ii) temperaturpåverkan av det biogena kollagrets förändring 2020–2200 som sker pga. att biomassa används för produktion av de biodrivmedel som används 2020–2060.



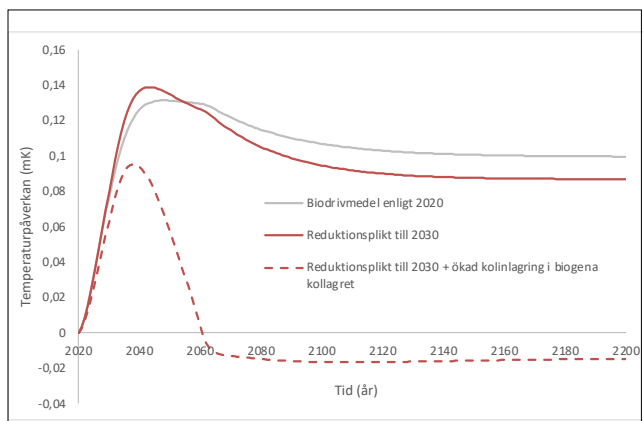
Figur 5. Temperaturpåverkan av den svenska biltrafikens utsläpp av fossil koldioxid 2020–2060 och förändringen av biogena kollagret 2020–2200 som sker då biomassa används för produktion av de biodrivmedel som används 2020–2060 i de tre fallen för biodrivmedelsanvändning som analyseras (Figur 1). I alla fallen antas att ett förbud mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor införs år 2030 och omvärldsutvecklingen motsvarar scenariot *Global omställning*. Bioråvarans omsättningstid antas vara 30 år.

När mer biodrivmedel används ökar den globala medeltemperaturen inledningsvis, men blir på längre sikt lägre. Den högre uppvärmningen i den tidigare delen av perioden speglar minskningen av det biogena kollagret som följer av att mer biomassa används för produktion av biodrivmedel. Den lägre uppvärmningen på längre sikt beror på att uppvärmningen som sker pga. att biomassa används för biodrivmedelsproduktion börjar avta efter att biodrivmedelsproduktionen upphör 2060 (samma utveckling som visas i Figur 4). Den kvarvarande uppvärmningen, som avtar långsamt, beror i ökande utsträckning på utsläppen av fossil koldioxid under perioden 2020–2060. När mer biodrivmedel används så är utsläppen av fossil koldioxid lägre och därför är också den långsiktiga uppvärmningen lägre. Eftersom elektrifieringen leder till att drivmedelsanvändningen avtar relativt snabbt så blir effekten av olika inblandningsgrad för biodrivmedel liten, speciellt på längre sikt.

Skogsbrukets inriktning kan ha stor betydelse

Temperaturpåverkan av att använda biomassa för energiändamål beror inte bara på biomassans omsättningstid. Om skogsbruket och produktionen av andra skogsprodukter förändras parallellt med att mer skoglig biomassa används för energiändamål kan det leda till ytterligare förändring av det biogena kollagret och därmed ytterligare temperaturpåverkan.

För att synliggöra detta visar Figur 6 temperaturpåverkan i två av fallen i Figur 5 och i ett nytt fall – den streckade linjen. I det nya fallet ökar biodrivmedelsanvändningen som i fallet *Reduktionsplikt till 2030*, samtidigt som skogsbruket och produktionen av andra skogsprodukter förändras så att kolinlagringen i det biogena kollagret ökar.



Figur 6. Biltrafikens temperaturpåverkan för tre fall biodrivmedelsanvändning.

Nedkylningen som följer av den ökade kolinlagringen i skog och skogsprodukter dämpar uppvärmningen som orsakas av biltrafikens utsläpp 2020–2060. På längre sikt stabiliserar temperaturpåverkan kring en nedkylning vilket förklaras av att ökningen av det biogena kollagret 2020–2060 är lite större än biltrafikens samlade utsläpp av fossil koldioxid under samma period.

Samspelet mellan biodrivmedel och skogssektorns inriktning bör utredas vidare

Förbud mot försäljning av nya bilar med förbränningsmotor kan ge betydande bidrag till att minska transportsektorns fossila koldioxidutsläpp och nå politiska mål, men trögheter kopplat till hur snabbt bilparken förnyas begränsar elektrifieringstakten. Därför behövs även andra åtgärder, som krav på inblandning av alternativa drivmedel i likhet med nuvarande reduktionsplikt. Regleringar som anger maxnivåer för

livscykelutsläppen för drivmedel och även nya bilar och/eller batterier kan ytterligare begränsa biltrafikens klimatpåverkan.

Den globala medeltemperaturen ökar linjärt med kumulativa utsläpp av fossil koldioxid från biltrafiken. Temperaturpåverkan av biodrivmedelsanvändning beror (utöver livscykelutsläppen) på hur produktion och användningen av biomassa för biodrivmedelsproduktion påverkar det biogena kollagret. I Sverige har vi sedan decennier en situation där både skogens kolförråd och biomassaavtaget ur skogen ökar. Det innebär att skogssektorn bidrar till minskad uppvärmning genom kolinlagring i skog och skogsprodukter, och genom de substitutionseffekter som följer av att skogsprodukter ersätter andra produkter.

En övergång från importerade till inhemskt producerade bioråvaror och biodrivmedel kan minska risken för att ökad användning av biodrivmedel i Sverige ger oönskade effekter utomlands. Men samtidigt kan ett ökat biomassauttag ur Sveriges skogar leda till minskad kolinlagring i skogen och i andra skogsprodukter, samt minskad substitution utanför transportsektorn. Omvänt kan förväntningar kring en framtida ökad efterfrågan på biodrivmedel och andra skogsprodukter leda till investeringar i skogsbruksåtgärder som ger ytterligare ökad skogstillväxt och kolinbindning.

Jämförelsen av hur biltrafikens utsläpp respektive skogsbruket påverkar det biogena kollagret visar på kopplingarna mellan biodrivmedelsefterfrågan och den långsiktiga utvecklingen i skogen. Dessa samband kan vara av större betydelse än vilken sorts biomassa som används för biodrivmedelsproduktion. Vilka konsekvenser en förväntad framtida efterfrågan av skogliga biodrivmedel får, och hur det påverkar skogssektorns inriktning bör därför utredas vidare.

¹. Temperaturpåverkan kan förstås som en påverkan som leder till en liten avvikelse (ökning eller minskning) från de globala temperaturförändringar som sker i de mest ambitiösa scenarierna (SSP1-1.9 och SSP1-2.6) för framtida koncentrationer av växthusgaser i atmosfären som användes för klimatmodellering och forskning kopplat till IPCC:s sjätte utvärderingsrapport.

Produktion av svavelfritt marinbränsle från restprodukter från skogen

MAJ 2022

David A. Agar och Dimitris Athanassiadis,
SLU Sveriges lantbruksuniversitet

Joanne Ellis,
SSPA Sweden

Leonidas Matsakas,
Luleå tekniska universitet

Martin Tunér,
Lunds universitet

24

Sjöfarten efterfrågar svavelfritt drivmedel

Sjöfartsnäringsen har som mål att avsevärt minska utsläppen av växthusgaser och svaveloxid under det kommande decenniet för att möta nya regler, långsiktiga mål och krav från kunder på lägre miljöpåverkan från sjötransporter. Detta innebär att minska den utbredda användningen av tung brännolja, det mest använda bränslet inom internationell sjöfart och historiskt sett ett billigt alternativ som framställts från fossila råvaror. Tung brännolja innehåller giftiga föroreningar och under förbränning bildas partiklar, t.ex. svart kol, som bidrar till den globala uppvärmningen. Användningen innebär också betydande miljörisker från spill.

Den globala marinsektorns överväldigande beroende av fossila bränslen utgör en enorm potential och utmaning för en övergång till förnybara bränslen. Efterfrågan på marinbränsle med lägre svavelhalt är stor, men att minska svavelhalten i oljan är en process som ger upphov till såväl ökade kostnader som förhöjda koldioxidutsläpp från raffinaderier. Att åstadkomma svavelutsläppsminskningarna ombord på fartygen med hjälp av scrubbers är utrymmeskrävande och resulterar i kostnader för relaterade kemikalier och hantering av reningsvattnet.

Det behövs drivmedel för sjöfarten som både möter kraven på låg svavelhalt och minskade koldioxidutsläpp. Men många faktorer måste beaktas vid utvärdering av nya marina bränslen. De inkluderar bränsletillförsel, ekonomisk och teknisk genomförbarhet och miljöpåverkan.

Den operativa livslängden för fartyg och det kapital som investeras i befintliga flottor gör drop-in bränslen till en nyckellösning för befintliga fartyg för att nå målen för minskning av svavel- och växthusgasutsläpp.

Restprodukter från skogen och sågverken kan utgöra råvaran

Ett typiskt nordiskt sågverk omvandlar 47 % av stockarna till timmer och resterande 53 % är biprodukter. Skogsavverkningsrester och sågverksbiprodukter har stor potential att på ett hållbart sätt, helt eller delvis uppfylla kriterierna som råvara för de efterfrågade drop-in-drivmedlen som kan

ersätta tung brännolja.

Genom en ny teknik för behandling av vedrester baserad på så kallad organosolvfraktionering, kan cellulosa respektive svavelfritt lignin från skoglig biomassa isoleras. Cellulosa kan användas för framställning av den etanol som ingår i etylenglykol, som i sin tur blandas med ligninet för att framställa ett bränsle som kallas LinEG. Figuren på nästa sida illustrerar förenklat stegen i processen.

Vi har studerat produktionen av LinEG i labbskala och undersökt möjligheten att använda det som drop-in-ersättning i fartyg som för närvarande använder tung brännolja.

Egenskaper hos LinEG som fartygsbränsle

En bränsleanalys av LinEG indikerade en låg benägenhet för självantändning. Det gör att LinEG behöver blandas med mer dieselliknande bränslen, till exempel tung brännolja, för användning i konventionella fartygsmotorer av dieseltyp. Användningen av LinEG som drop-in bränsle möjliggör reduktion av både växthusgaser och svaveldioxid.

Ångtrycket är jämförbart med dieselbränslen men med en högre destillationskurva, vilket gör LinEG till ett lämpligt bränsle för direktinsprutning och även jämförbart säkert att hantera. Viskositeten, ungefär fyra gånger högre än den för diesel men mycket lägre än tung brännolja (som i sin tur kräver uppvärmning för att bestå i flytande form), bedöms sannolikt inte innebära några problem. Alternativa förbränningsstrategier, inklusive motormodifieringar för gnisttändning, skulle kunna implementeras för att tillgodose det låga cetantalet för drift med LinEG som primärt bränsle. Motorer med insprutning i insugningskanalen kommer dock sannolikt inte att fungera bra med LinEG-bränslet.

LinEGs relativt låga värmevärde skulle göra det nödvändigt att fördubbla volymen för bränsletanken ombord (eller fyllningsfrekvensen) för att uppnå motsvarande transporträckvidd jämfört med tung brännolja.

LinEGs bränslestabilitet under långvarig lagring har dock ännu inte fastställts.



Förenklat schema över processen där restprodukter från sågverk används för framställning av biobaserat fartygsbränsle som kan fungera direkt i dagens marina dieselmotorer som drop in-bränsle.

Betydande miljöpåverkan i vissa delar av livscykeln

Produktionsprocesser av drivmedel ger upphov till utsläpp och detta gör livscykelanalys till ett viktigt verktyg för att minimera miljöpåverkan och kostnader vid sidan av själva utvecklingen av biodrivmedel.

Livscykelanalysen inkluderade effekterna av produktionen av bränslets beståndsdelar och deras transport till produktionsanläggning, produktionen av själva bränslet och dess transport till bunkringsplatsen. Vi kunde se en betydande miljöpåverkan av LinEG i två kategorier, klimatpåverkan från växthusgaser och utarmning av fossila resurser, vilket framgår av tabellen nedan.

Miljöpåverkanskategorier i livscykelanalysen. Resultaten ges för 1kg av LinEG.

Miljöpåverkanskategori	Etylenglykol	Ligninproduktion	Transport av LinEG	Total
Klimatpåverkan växthusgaser (kg CO ₂ eq)	1,660	0,055	0,007	1,721
Luftburna partiklar (kg PM _{2.5} eq)	0,003	0,001	0,001	0,003
Marknära ozon (kg NO _x eq)	0,004	0,001	0,001	0,004
Försurning (kg SO ₂ eq)	0,005	0,001	0,001	0,006
Marin övergödning (kg N eq)	0,001	0,001	0,001	0,001
Utarmning av fossila resurser (kg oil eq)	0,878	0,02	0,003	0,9

Själva processen för produktion av ligninet utgjorde en mindre del av den totala påverkan i båda kategorierna: 0,055 kg koldioxidekvivalenter respektive 0,02 kg oljeekvivalenter. Detta berodde främst på elförbrukningen vid produktion av ligninet i laboratorieskala. En storskalig kommersiell process, med energibesparingar från stordriftsfördelar, skulle minska denna påverkan avsevärt.

De mest märkbara effekterna är knutna till produktionen av etylenglykol, en fossilbaserad kolväteprodukt (se Tabell ovan). Etylenglykol kan dock framställas på hållbara sätt, till exempel via jäsnings av cellulosa. Detta skulle orsaka en stor minskning av de två påverkanskategorierna.

Transporten av LinEG-bränslet till bunkring är den minsta källan till påverkan med ett bidrag av 0,007 kg koldioxidekvivalenter och 0,003 kg oljeekvivalenter jämfört med de tidigare nämnda effekterna.

Produktionskostnader och hinder för genomförbarhet

Att biodrivmedel i jämförelse med konventionella marina bränslen kostar mer är ett reellt hinder för en bred användning. Vi uppskattade produktionskostnaden för LinEG-bränsle till 380 EUR/ton (0,02 EUR/MJ), exklusive skatter, arbetskostnader och statsbidrag. Det kan jämföras med Ultralåg svavelbrännolja (ULSFO; 0.1% svavelhalt) som kostar 572 EUR/ton (0,014 EUR/MJ) och fossilfri HVO som ligger på 1564 EUR/ton (0,036 EUR/MJ).

Annat som hindrar ökande användning av biodrivmedel inom sjöfarten är att hamnlogistiken förutsätter bränsle-

typer kompatibla med diesel, att sjöfartssektorns expertis gällande hantering av vissa biobränslen, inklusive långsiktig stabilitet, är begränsad samt att långsiktiga bränsletestdata för att garantera säkerheten och fortsatt tillförlitlighet för ett valt bränsle är bristfälliga. Dessutom innebär användning av bränslen med lägre energitäthet, som till exempel metanol och gasformiga bränslen, att antingen fartygens lastutrymme måste minskas eller att bunkringsfrekvensen behöver öka.

En del av dessa hinder stämmer även för LinEG-bränslet men inom studien har inte vidare undersökningar gjorts om hur de kan undanröjas. Studien kan dock betraktas som ett bidrag till sjöfartssektorns kunskap gällande möjligheterna med biodrivmedel som kommer kräva vidare utveckling.

Bränslekostnader för ett tilltänkt marknadssegment

Det potentiella marknadssegmentet för det LinEG-bränsle som produceras i projektet ansågs vara de fartyg som för närvarande är i drift på tung brännolja. LinEG kan inte utan olika anpassningar blandas in i destillatbränslen.

Vi gjorde därför en jämförelse av fartygsdrift med LinEG och lågsavlig tung brännolja för fartyg som anlöper hamnar i svenska vatten. Vi inkluderade fartyg som opererade på en fast rutt med ett hamnanlopp nära möjliga LinEG-bränsleproduktionsanläggningar. Storskalig dropin biodrivmedelsproduktion är mest lönsam genom integration med kommersiella bioraffinaderier där biomassans beståndsdelar kan isoleras och förädlas med cirkulärekonomiska fördelar och synergier.

Ur ett bränslekostnadsperspektiv visade sig LinEG-bränslet vara dyrare än den lågsavliga fossila brännoljan. Det förväntas dock bli billigare än HVO-bränslet, ett fossilfritt

alternativ som har använts som dropin-lösning för fartyg.

LinEG-bränslet förväntas ha en viss påverkan på fartygsdriften eftersom dess uppvärmningsvärde är lägre än för konventionella brännoljor. Om all tung brännolja ersätts med LinEG skulle nästan dubbelt så mycket bränsle i volym skulle behöva transporteras, alternativt skulle bunkringsfrekvensen behöva fördubblas. Bränslets lägre energiinnehåll skulle också kräva vissa justeringar av motorbränsletillförseln, vilket skulle kunna lägga till ytterligare en viss driftskomplexitet.

Många potentiella fördelar med LinEG

Det nya biodrivmedel som vi utvecklat har minimalt svavelinnehåll vilket gör det till ett intressant alternativ för den marina sektorn. Den behöver ersätta fossila bränslen i stor utsträckning för att möta nya regler, långsiktiga mål och krav från kunder på lägre miljöpåverkan från sjötransporter. Produktionen av LinEG av inhemska förnybara källor har potential att förbättra energisäkerheten eftersom det gör Sverige mindre beroende av importerade råvaror och drivmedel. Ekonomin för skogssektorn kan förbättras av faktumet att det finns god avsättning för dess restprodukter som kan utgöra drivmedelsråvara.

För att LinEG-produktion i större skala ska kunna förverkligas behövs en storskalig kontinuerlig organosolvfraktionering av skoglig biomassa där en ligninfraktion med hög renhet kan utvinnas. Man skulle också behöva minska miljöpåverkan från den etylenglykol som behövs i processen. Det kan göras genom att låta den cellulosa som separerats från ligninet i skogsrestbiomassan bli råvara för etylenglykolen.

Effektivast användning av biomassa – till biobränsle eller elektrobränsle?

FEBRUARI 2022

Markus Millinger, Lina Reichenberg, Fredrik Hedenus och Göran Berndes,
Chalmers tekniska högskola

Elisabeth Zeyen och Tom Brown,
Technische Universität Berlin

25

Framtida flytande bränslen

Utöver Sveriges mål om större andel förnybart i transportsektorn finns det ett långsiktigt mål att inte orsaka några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären senast år 2045, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Trots höga förväntningar på en omfattande elektrifiering av transportsektorn antas ett behov av flytande kolbaserade drivmedel inom främst flyg och sjöfart kvarstå även på sikt. För att uppnå ambitiösa utsläppsmål behövs lösningar för att reducera utsläppen för sådana drivmedel.

Det finns i grunden tre alternativ:

- Biodrivmedel, som produceras med biomassa som råvara. Dessa dominerar idag marknaden för förnybara bränslen.
- Elektrobränslen, som produceras genom att kombinera vätgas och icke-fossil koldioxid, där vätgasen härstammar från elektrolys som drivs med fossilfri elektricitet.
- Fortsatt användning av fossila drivmedel (eller elektrobränslen som produceras av fossil koldioxid), vilket kompenseras genom att koldioxid från atmosfären fångas in och lagras utanför atmosfären (carbon dioxide removal, CDR), så kallade negativa utsläpp.

I system med stor andel variabla förnybara energikällor kan biomassa eller andra bränslen erbjuda en stabilare elförsörjning. Ett sådant system kan också producera elektrobränslen när det finns ett överskott på el. Biomassa kan alltså användas för drivmedel på två principiellt olika sätt, antingen direkt som råvara till biodrivmedelsproduktion, eller genom att biogen koldioxid från biomassaomvandling fångas in (exempelvis från ett kraftvärmeverk eller en biogasanläggning) och används som råvara vid produktion av elektrobränslen. Vilken som är den minst kostsamma vägen för systemet som helhet beror till stor del på den relativa kostnaden för olika tekniklösningar i framtiden, men också på hur mycket biomassa som kan produceras på ett hållbart sätt.

I denna studie har vi analyserat hur krav på inblandning av biodrivmedel kan påverka utvecklingen inom energi- och transportsystemen, samt hur inblandningskravet kan påver-

ka kostnader för att minska CO₂-utsläppen i EU som helhet. Vi undersöker detta med hjälp av en energisystemmodell som täcker alla energisektorer i Europa. Syftet var att undersöka om krav på biodrivmedelsanvändning i transportsektorn är förenligt med ambitioner att stödja en kostnadseffektiv klimatomställning på medellång (år 2040) respektive lång (2060) sikt.

Kostnadseffektiva drivmedel

I studien har vi analyserat hela det europeiska energisystemet, dvs el, uppvärmning, transport samt industri- värme och -kemi, i en sektorkopplad modell (PyPSA-Eur-Sec) där de olika sektorerna är sammankopplade och kan försörja varandra med bränslen, värme och el, bland annat genom elektrifiering av uppvärmning, transport och industri. Modellen minimerar den totala kostnaden av investeringar och löpande kostnader.

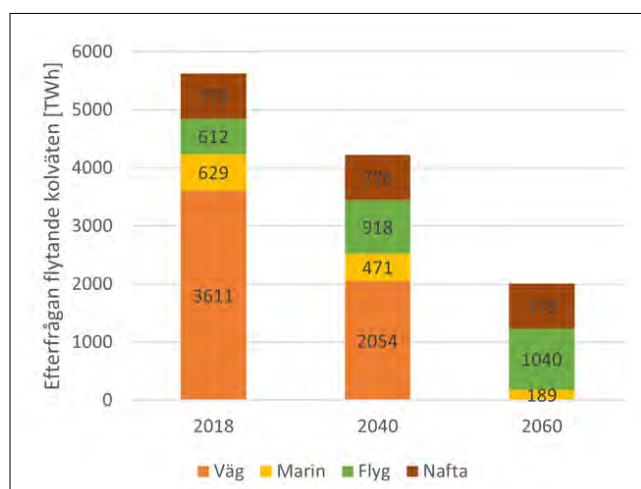
Analyserna görs utgående ifrån antagandet att efterfrågan på flytande kolbaserade bränslen minskar kraftigt och koncentreras alltmer till flyget, medan efterfrågan på näfta inom kemiska industrin ligger kvar på samma nivå som 2018 (Figur 1). Antagandet grundas på förväntan att (i) investeringskostnader för tekniker som vind, sol, batterier och elektrolysörer sjunker i framtiden, vilket leder till minskande kostnader för el- och vätgasproduktion; (ii) det sker en betydande elektrifiering av transport- och industrisektorer; och (iii) att en del av drivmedelsbehovet tillgodoses av vätgas.

Bland övriga antaganden som görs kan särskilt nämnas:

- Energiförbehovet i den del av transportsektorn som inte elektrifieras tillgodoses genom flytande drivmedel, som kan produceras på något av de tre sätt som tas upp ovan;
- Flytande biodrivmedel produceras från fast biomassa via Fischer-Tropsch-processen och flytande elektrobränslen produceras genom elektrolys och därefter syntes av väte och koldioxid i en Fischer-Tropsch-process;
- Metan från rötningsbar biomassa kan enbart användas för att täcka el- och värmebehov och användning av grödobaserad biomassa eller energiskog för bioenergi ingår inte;

- Biomassapotentialet i Europa är begränsad till motsvarande ca 5% eller 23% av det resulterande totala primärenergibehovet, beroende på scenario, och kostnader på lägre nivå än dagens marknadspriser antas. Prisnivån för *importerad biomassa* antas öka i linje med globala studier vilket innebär högre prisnivåer jämfört med idag.

Vi antar att det 2040 finns ett krav på att minska koldioxidutsläppen för EU:s energi- och transportsystem med 80% (jämfört med utsläppen för 1990). För år 2060 är minskningskravet satt till 105%, det vill säga negativa utsläpp motsvarande 5% av utsläppen för 1990. Negativa utsläpp innebär att koldioxid tas bort från atmosfären, det kan handla om att fånga in och lagra koldioxid från biobränsle (bioenergy with carbon capture and storage, BECCS), eller infångning direkt från luften (direct air carbon capture and storage, DACCS).



Figur 1: Efterfrågan på flytande kolbaserade bränslen i Europa antas minska med 29% till 2040 och med 64% till 2060, jämfört med 2018.

Vi använder modellen för att uppskatta kostnaden för att begränsa CO₂-utsläppen från Europas energisystem (via utsläppstak), med och utan krav på inblandning av biodrivmedel i flytande drivmedel. Utöver jämförelsen av kostnader så analyserar vi hur inblandningskravet påverkar systemomställningen, tex betydelsen av olika tekniklösningar inom industri, uppvärmning och elproduktion. En hög upplösning i tid har använts för att fånga upp variabilitet i dels elproduktion, dels i flexibel elanvändning som tex. laddning av elbilar, värmelagring och vätgasproduktion. Vi har genomfört analyserna för framtida år, 2040 och 2060.

Resultaten visar att kostnadseffektiva systemlösningar som når utsläppsmålet för 2040 (-80% CO₂-utsläpp) fortsatt kan baseras på flytande bränslen från fossila råvaror. Ett utsläppsfritt elsystem, främst baserat på sol och vindkraft, och delvis elektrifierad värmeförsörjning, industriproduktion och transport bidrar till att nå målet, liksom biomassanvändning för kraftvärme och industrivärme som delvis är kopplat till koldioxidinfångning och lagring.

Utsläppsmålet 2060 (-105% CO₂-utsläpp) nås kostnadseffektivt genom att elektrobränslen används och genom att användning av fossil-baserade flytande bränslen kompenseras via negativa utsläpp. Vilket av dessa bränslen som är kostnadseffektivt beror på hur stor kapaciteten för CO₂-lagring är. Om efterfrågan på flytande bränslen tillgodoses med

elektrobränslen så krävs ca. 50% mer kapacitet av sol- och vindkraft jämfört med när fossilbaserade drivmedel används. Men det är ganska liten skillnad (5%) i total energisystemkostnad trots mycket stora skillnader i hur energisystemet är utformat. En flexibel vätgasproduktion utnyttjar prisskillnader för elproduktionen som uppkommer genom variabiliteten i sol- och vindkraft, och bidrar därmed till en förbättrad ekonomi för den förnybara energin genom att en större del av resursen kan utnyttjas.

Konkurrerande biomassaanvändning inom industri och kraftvärme

Resultaten visar att användning av biomassa inom industrin för att producera processvärme av medeltemperatur är kostnadseffektivt både på medellång och lång sikt, dels eftersom både energiomvandling och koldioxidinfångning kan ske med relativt hög verkningsgrad, dels eftersom alternativen är relativt dyra.

Även användning av biomassa för kraftvärme är kostnadseffektivt och används när det är kallt, mörkt och vindstilla, dvs. när värmepumpar är ineffektiva och sol- och vindkraft inte kan täcka elbehovet. En flexibel användning av biomassa för att balansera el- och värmebehovet ingår i kostnadseffektiva systemlösningar både 2040 och 2060.

Dessa stationära användningsområden för biomassa kombineras på sikt med infångning av koldioxid som antingen används för produktion av elektrobränslen eller för att skapa negativa utsläpp genom långsiktig lagring.

Biodrivmedelsmandat ökar systemkostnader

I de scenarier där krav på inblandning av biodrivmedel i flytande drivmedel införs ökar den totala energisystemkostnaden.

På medellång sikt (2040, 80% reduktion av CO₂-utsläpp och 20% inblandningskrav), där flytande drivmedel utgör ca 30% av primärenergiefterfrågan:

- Kostnaden för hela energisystemet ökar 2-14% (mellan 10 och 66 miljarder €) jämfört med fallet utan inblandningskrav. Den högre ökningen är kopplad till scenarier med låg tillgänglighet av inhemsk biomassa i Europa.
- Kostnadsökningen beror på att biodrivmedel används i stället för bensin och diesel i transportsektorn trots att det i modellen finns billigare sätt att minska CO₂-utsläppen med 80%. Om biomassan som används för biodrivmedelsproduktion i stället hade använts inom andra sektorer så hade kostnaden för att nå CO₂-reduktionsmålet blivit lägre.

På lång sikt (2060, 105% reduktion av CO₂-utsläpp och 50% inblandningskrav), där flytande drivmedel utgör ca 15% av primärenergiefterfrågan:

- Kostnaden för hela energisystemet ökar 4-8% (mellan 18 och 40 miljarder €) jämfört med fallet utan inblandningskrav.
- Kostnadsökningen beror främst på att biomassan används mer kostnadseffektivt i stationära anläggningar inom industri och kraftvärme, vilket möjliggör att en större andel av CO₂-utsläppen kan fångas in och användas för produktion av icke-fossila elektrobränslen och för att generera negativa utsläpp.

Sammanfattningsvis drivs kostnadsökningen av:

1. Biomassaknapphet, vilket leder till höga kostnader.
2. Ökade kostnader för industrivärme och kraftvärme eftersom dyrare lösningar krävs då biomassan används för drivmedelsproduktion.
3. Konkurrenskraften och skalbarheten hos elektrobränslen och fossila bränslen som kompenseras genom negativa utsläpp.

Kostnadsökningarna kan jämföras med kostnaden för allt flytande bränsle (oräknat skatter) inom transportsektorn i EU 2018, som uppskattas till 282 miljarder €. Både på medellång och lång sikt beror kostnadsökningens storlek på antagandet om mängden tillgänglig inhemsk biomassa i Europa.

Drivmedelspolicy

Utvecklingen av både flytande biodrivmedel (från till exempel restprodukter från skogen) och elektrobränslen innebär att nya försörjningskedjor behöver utvecklas, vilket kan hindra en kostnadseffektiv utveckling mot förnybara

transporter. Sektorsspecifika styrmedel i form av till exempel krav på inblandning av förnybara drivmedel kan därför behövas för att stimulera utvecklingen av dessa drivmedel. Osäkerheterna avseende en hållbar resurstillgång på både kort och lång sikt för både biodrivmedel och elektrobränslen är påtagliga. Dessutom är det troligt att en ökad elektrifiering av transportsektorn leder till en kraftigt minskad efterfrågan på flytande bränslen, och förändringar i vilka sorters bränslen som efterfrågas. Dessa aspekter innebär risker för investerare, dels med avseende på en minskad marknad som kan leda till att investeringar inte ger förväntad avkastning, dels med avseende på osäkerheter angående både råvarutillgång och -kostnad samt vilka produkter som efterfrågas. Ett fokus på flexibla processer sett till både råvaror och produkter kan minska dessa risker. Detta skulle möjliggöra att drivmedel produceras baserat på biomassa till en början, och sedan växlar till att baseras på el och grön vätgas. Det kan också vara viktigt att ytterligare stimulera andra icke-fossila alternativ för flytande drivmedel och vätgasproduktion för att frigöra biomassa till användningsområden som material och för negativa utsläpp genom BECCS.

Anteckningar

[illegible]

Forskning för nytta

Samverkansprogrammets samlade forskning ger en vetenskapligt grundad bild av vilka möjligheter förnybara drivmedel erbjuder för att minska växthusgasutsläppen från transportsektorn. Kunskapen som tas fram måste omsättas för att påverka utvecklingen. Resultaten från forskningen kan därför användas som underlag för beslutsfattare på politisk nivå samt inom myndigheter, industri och akademi.

Vill du veta mer?

www.energimyndigheten.se
(sök förnybara drivmedel och system)
www.f3centre.se (se samverkansprogram)

Kontakt

Vera Nemanova, Energimyndigheten
tel. 016-544 22 83
e-post: vera.nemanova@energimyndigheten.se

Ingrid Nohlgren, föreståndare för f3
och samverkansprogrammets kansli
tel. 031-772 63 52
e-post: ingrid.nohlgren@f3centre.se

