



DAGENS OCH FRAMTIDENS HÅLLBARA BIODRIVMEDEL

Pål Börjesson, Lunds Universitet

Joakim Lundgren, Luleå Tekniska Universitet (Bio4Energy)

Serina Ahlgren, Sveriges Lantbruksuniversitet

Ingrid Nyström, f3 och CIT Industriell Energi

Ett av EUs klimatmål är att 10 procent av drivmedlen inom transportsektorn ska vara förnybara år 2020. För att detta ska bli verklighet krävs bra alternativ till fossila bränslen. Men vad som är bra på en plats och för ett ändamål behöver inte vara detsamma som för en annan plats och ett annat ändamål. Problemet är komplext och kräver flera lösningar.

I en ny rapport från f3 presenteras nuvarande kunskapsläge kring produktion av biodrivmedel och hållbarhetsaspekter som energi- och markeffektivitet, växthusgasprestanda och kostnader. Studien omfattar såväl befintliga som framtida drivmedelssystem, baserade på olika råvaror och produktionsprocesser, framför allt ur ett svenskt perspektiv, men också med internationella utblickar.

Rapporten har tagits fram som en underlagsrapport till den statliga utredningen om FossilFri Fordonstrafik. Detta är f3's sammanfattning av rapporten. Den fullständiga rapporten kan laddas ner från www.sou.gov.se/fossilfri och www.f3centre.se.

Inledning

Rapportens analyser fokuserar på produktionskedjan fram till producerat drivmedel (s k well-to-tank). Resultaten baseras på aktuell forskning och kommersiell utveckling för respektive produktionskedjor. De utgår framförallt från standardiserad livscykelanalys samt, för vissa produktionsystem, också på industriell systemanalys. Dessa två angreppssätt har vissa skillnader i metodik, vilka lyfts fram i rapporten. I den övergripande översikten har dock värden och resultat sammanställts för att göra det möjligt att jämföra resultaten.

Biodrivmedel kan produceras genom ett stort antal olika produktionskedjor vars förutsättningar påverkas av val av råvara, omvandlingsprocess, lokalisering osv. Effektivitet, miljöpåverkan och

kostnader kan alltså inte bedömas utifrån vilket drivmedel som avses, t ex etanol, metanol, metan eller HVO, utan måste värderas utifrån varje enskild produktionskedja och dess specifika förutsättningar. Potentialen för drivmedel via specifika produktionskedjor bestäms också av faktorer som tillgång på råvara och odlingsmark, logistik, integrering med annan industri, avsättning av extern värme och biprodukter osv. På ett mer generellt plan påverkar även befintlig infrastruktur och fordonsteknik de praktiska förutsättningarna för implementering av olika biodrivmedel.

Potentialer för biomassa till drivmedel

Flera globala potentialstudier visar på att stora mängder bioenergi skulle kunna produceras i framtiden. IPCC har gjort en sammanställning av ett stort antal potentialstudier som visar att spannet på uppskattningarna ligger mellan 50 och 1000 EJ bioenergi per år (14 till 280 milj. TWh), vilket kan jämföras med dagens energitillförsel på 475 EJ (130 milj. TWh). Många studier redovisar dock enbart den teoretiska eller tekniska potentialen, om man dessutom applicerar ekonomiska och ekologiska restriktioner blir IPCCs uppskattning att biomassa kan bidra med mellan 120 och 155 EJ primärenergi per år runt år 2050 (33 till 43 milj. TWh).

Liknande resonemang kan föras för den svenska potentialen för bioenergi. Det finns teoretiska potentialer, men dessa begränsas av ett antal tekniska, ekologiska, ekonomiska och sociala faktorer. Dessa sammanfaller ofta med de hållbarhetskriterier som utvecklas för biodrivmedel. Till exempel innebär ekologiska restriktioner för bioenergi potentialen att marken inte får utnyttjas så att produktiviteten långsiktigt minskar, vilket också kopplar till markbördighet, markkol och biodiversitet.

En sammanställning av de mest aktuella potentialuppskattningarna visar att biomassaproduktionen kan öka med mellan cirka 50 och 70 TWh per år under dagens förutsättningar, inklusive tekniska restriktioner och i viss utsträckning också ekologiska och ekonomiska restriktioner. Dessa mängder biomassa kan generera cirka 25 till 35 TWh biodrivmedel (tillsammans med extern el, värme, fasta biobränslen, proteinfoder eller andra produkter) vilket ungefär motsvarar en tredjedel av dagens användning av bensin och diesel för vägtransporter. Inom en 30 till 50-årsperiod bedöms biomassa potentialen kunna öka till cirka 80 till 100 TWh per år genom ökad produktivitet, framför allt inom skogsbruket. Den största potentialen finns i skogsbaserad råvara, t ex olika former av avverkningsrester som grenar och toppar (GROT), klen stamved och stubbar. I framtiden kan effektivare förnygring och bättre plantmaterial, behovsanpassad gödsling mm, i kombination med klimatförändringar, medföra ökad skogstillväxt och potentiellt uttag av skogsråvara för olika ändamål. En betydande del biomassaråvara kan också komma från jordbruket i form av skörderester, energi-grödor på trädes- och överskottsmark samt snabbväxande lövträd på nedlagd jordbruksmark. Dessutom kan en ökad mängd avfall och restprodukter användas för biogasproduktion.

Potentiella råvaror från jord- och skogsbruk för biodrivmedelsproduktion fördelar sig olika över landet. Jordbruksrelaterade råvaror är framför allt lokaliserade i södra Sverige och i intensiva jordbruksområden. Potentialen för skogsbränsle är också relativt koncentrerad till vissa regioner i landet där det dessutom ofta finns en stor avsättningspotential bland andra större användare. Detta innebär att biobränslen kan komma att transporteras långa sträckor i framtiden vid en ökad användning. Hur mycket av den möjliga potentialen som faktiskt blir en realitet beror bland annat på styrmedel, marknadspriser och efterfrågan, men också på skogsindustrins utveckling. Även den befintliga tekniken för avverkning och skogsbränsleuttag samt logistik bestämmer hur mycket som är ekonomiskt lönsamt att ta ut.

Sammanställning av uppskattade potentialer för ökat uttag av biomassa i Sverige (TWh per år), på kort sikt och på längre sikt (30-50 år).¹

	TWh per år		Typ av potential/ restriktioner
	På kort sikt	På längre sikt (30-50 år)	
GROT - förnygringsavverkning	5-10	10-17	Ekologisk-teknisk-ekonomisk
Stubbar - förnygringsavverkning	19-21	27	Ekologisk-teknisk-ekonomisk
GROT - gallring	7-8	11-12	Ekologisk-teknisk-ekonomisk
Klen stamved - röjning	2	3	Ekologisk-teknisk-ekonomisk
Massaved – 50% av nuvarande mängd till tidningspapper	5-7	5-7 ²	Teknisk
Stamved – generellt ökad tillväxt		(75)	Ekologisk-teknisk-ekonomisk
GROT & stubbar – behovsanpassad gödsling (BAG)		4-5	Teknisk
Stamved - BAG		(22)	
Mix av energigrödor på nuvarande trädesareal om 150 000 ha	4-5	4-5 ²	Teknisk
Mix av energigrödor på överskottsmark i form av vallodling som ej behövs för foderproduktion motsvarande 250 000 ha	7	7 ²	Teknisk
Snabbväxande lövträd på nedlagd jordbruksmark motsvarande 100 000 – 200 000 ha		2-6	Teknisk
Halm	4	4 ²	Ekologisk-teknisk-ekonomisk
Avfall till biogas	3-5	3-5 ²	Ekologisk-teknisk-ekonomisk
Sammanlagt	56-69	80-98 (177-195)³	

¹ Exklusive dagens uttag av skogsbränslen

² Potentialen antas vara oförändrad då specifika studier för framtida förändringar saknas som har ett brett perspektiv och som inkluderar avgörande parametrar för respektive potentialuppskattning (t ex skördeökningar, livsmedelskonsumtion, jordbrukspolitik, avfallshantering osv). Potentialen kan således komma att både öka och minska i framtiden.

³ Inklusive ökad stamvedsproduktion från generellt ökad tillväxt samt genom behovsanpassad gödsling (BAG)

Inom jordbruket bedöms biomassaproduktion kunna öka till viss del, utan att komma i direkt konflikt med dagens livsmedelsproduktion, t ex genom att utnyttja restprodukter samt mark som idag inte utnyttjas eller behövs för mat- och foderproduktion. Dessutom kan jordbruksmark frigöras genom ökad produktivitet samt att vi minskar matsvinn och förändrar vår diet och äter mindre kött. Huvuddelen av vår jordbruksmark utnyttjas idag för bete- och foderproduktion till animaliska livsmedel.

En annan råvara som diskuteras allt mer är alger. Intresset motiveras av möjligheten att uppnå hög produktivitet per markyta samt av att ej produktiva mark- och vattenresurser av låg kvalitet (t ex förorenat vatten eller saltvatten) kan användas. Utvecklingen är dock i ett tidigt skede och står inför

stora tekniska utmaningar, bl a för att upprätthålla algpopulationen över längre tid och för att sänka kostnaderna kraftigt. Även om det industriella intresset är stort och de första pilot- och demonstrationsanläggningarna nu tas i bruk, förväntas alger som biomassa i betydande skala bli aktuellt först på lång sikt.

Dagens användning av biomassa för energiändamål skulle kunna öka med drygt 50 TWh per år. Därmed kan ca 25-30 TWh biodrivmedel produceras, vilket motsvarar ca en tredjedel av dagens användning av bensin och diesel. Inom 30-50 år bedöms potentialen kunna öka med omkring 50%.

Biomassa som hållbar resurs

Vid utvecklingen av de regelverk, standarder och certifieringssystem som tas fram för att säkerställa hållbarhet hos biodrivmedel, har viss hänsyn tagits till ekologiska aspekter som t ex biodiversitet samt sociala aspekter, men huvudfokus har varit på utsläpp av växthusgaser. När det gäller beräkning av växthusgasprestanda finns dock ett antal utmaningar kopplade till de beräkningsmetoder som används. En utmaning är att hantera tids- och rumsaspekten avseende skogsbränslens växthusgasprestanda. Sammanfattningsvis kan sägas att studier som utvärderar enskilda bioenergiprojekt på beståndsnivå med ett kort tidsperspektiv oftast visar relativt dålig växthusgasprestanda för biomassa. Om man däremot har ett mer långsiktigt perspektiv och beaktar skogsbränsleuttag på fastighets- och landskapsnivå, är bioenergi ett effektivt alternativ ur växthusgassynpunkt. Även om vi räknar in vissa initiala kolförluster vid ökad användning av bioenergi, så kommer det i längden att vara ett bättre alternativ än fossila bränslen, dvs det kan vara motiverat att tillåta ett visst utsläpputrymme för initiala biogena kolförluster från ökad biobränsleproduktion i samband med omställningen av energisystemet bort från fossila bränslen.

En annan utmaning kopplad till växthusgaser och biodrivmedel är risken för indirekt förändrad markanvändning (iLUC) samt om, och i så fall hur, den ska inkluderas i LCA-beräkningar, standardisering, certifiering och lagstiftning. Det finns t ex idag ett förslag inom EU att revidera nuvarande direktiv om förnybar energi (RED) och införa s k iLUC-faktorer för biodrivmedel, trots de stora osäkerheter som är förknippade med iLUC-beräkningar. ILUC är kopplad till de flesta hållbarhetsaspekter då ändrad markanvändning kan påverka såväl social hållbarhet som biodiversitet och andra miljöfaktorer, men i debatten är främst växthusgaser i fokus. Det finns flera frågetecken kring de metoder som används för kvantifiering av iLUC. Modellerna som används är komplexa och icke-transparenta och visar stora skillnader i resultat. Modellerna kan till en viss grad utvecklas för att råda bot på den stora osäkerheten, men i grund och botten är teorin om iLUC byggd på antaganden om t ex framtida teknisk och ekonomisk utveckling, marknadsförhållanden och lagstiftning, och kommer alltid att innehålla stora osäkerheter.

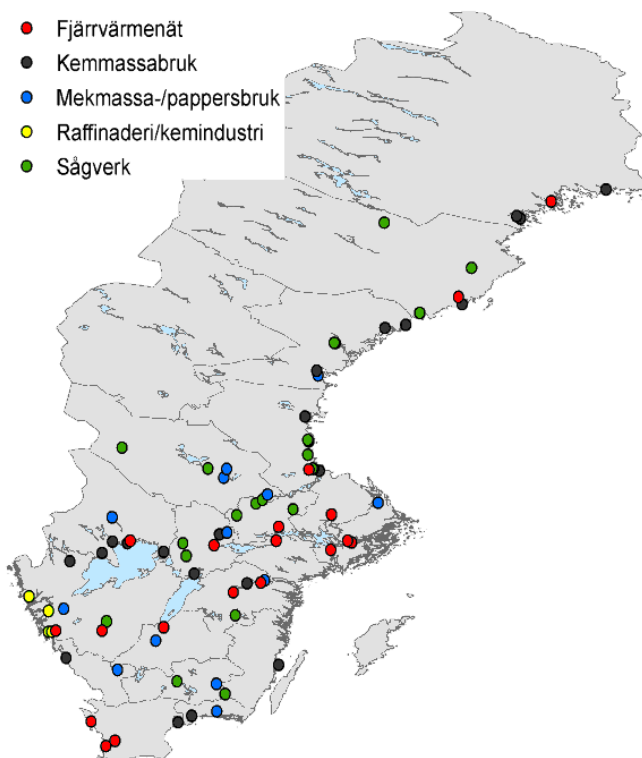
Även om frågan om iLUC är viktig att ta i beaktande vid diskussion om växthusgasprestanda för biodrivmedel, finns frågetecken kring de logiska resonemangen om lagstiftning av iLUC. T ex kan det ifrågasättas huruvida det är rätt att reglera indirekta effekter; att reglera iLUC innebär att straffa en bonde för en annan bondes utsläpp vilket frångår principen att den som orsakar utsläppen ska betala. Det är inte heller möjligt att mäta de faktiska effekterna av en eventuell lagstiftning om iLUC, eftersom orsak och verkan inte är direkt kopplade utan består av en rad antaganden kring marknadseffekter.

Uttag av skogsbaserad råvara, liksom odling av grödor för biodrivmedelsproduktion, kan öka utan att komma i konflikt med dagens hållbarhetskriterier eller skogsindustri- respektive livsmedelsproduktion. Dessutom finns biomassa i form av restprodukter och avfall, som inte konkurrerar med annan användning.

Olika råvaror har dock sina begränsningar och för att säkerställa hållbarhet är utformning av hållbarhetskriterier för biomassaanvändning, liksom uppföljning av dessa, centralt.

Produktionsanläggningar för biodrivmedel

Rimliga produktionskostnader är ett grundkrav vid investeringar i nya biodrivmedelsanläggningar baserade på lignocellulosa. För att få fördelaktiga ekonomiska skaleffekter kommer det att krävas stora produktionsanläggningar. En ekonomiskt lönsam anläggning för produktion av biodrivmedel via förgasning behöver förmodligen ett råvaruintag som är lika stort som ett normalstort pappers- och massabruk i Norden. För produktion av drivmedel i etanolkombinat krävs något mindre anläggningar. Förutom själva tillgången till råvaran, måste hänsyn även tas till leveranskedjor, konkurrens om råvaran från t ex traditionell skogsindustri och den stationära energisektorn, samt var behovet av drivmedel finns. En anläggningsplacering nära kusten möjliggör sjötransport av såväl råvara som slutprodukt. Dock uppstår stora logistiska utmaningar eftersom skogsråvaran oftast finns i inlandet. Det bör också finnas avsättning för eventuell överskottsvärme som genereras i förgasnings- och syntesprocesserna, både ur ett resurs- och ekonomiskt perspektiv. Närheten till ett fjärrvärmesystem eller en annan värmeänka är därför av betydelse om överskottsvärme genereras. Samtidigt innebär nya styrmedel kring effektivisering inom bostads- och lokalsektorn att fjärrvärmebehovet sannolikt successivt kommer att minska i framtiden.



Lokalisering av intresse för integrerad biodrivmedelsproduktion.

Sverige har ett stort antal industrier och fjärrvärmenät med ett ång- eller hetvattenbehov där olika processer för biodrivmedelsproduktion med fördel skulle kunna integreras. Vid integration i pappers- och massabruk, sågverk och andra biobränslebaserade industrier kan dessutom stora bränslehanterings- och logistikfördelar erhållas. Vid sulfatmassabruk kan förgasning av svartlut tillämpas. Det finns också möjligheter att ersätta barkpannan med en förgasare för syntesgasproduktion. En ytterligare variant är att kombinera en fastbränsleförgasare och svartlutförgasare för att generera en större syntesgasvolym och därmed uppnå positiva ekonomiska skaleffekter i gasrening och syntesprocess. Oljeraffinaderier är intressanta ur integrationssynpunkt, i synnerhet eftersom uppberedningsprocesser som t ex destillationskolonner och krackerprocesser redan finns tillgängliga. Även här finns potential för positiva ekonomiska skaleffekter. Stålverk är också en intressant industri för samlokalisering p g a dess överskott av energirika processgaser från stålframställningen.

Termokemiskt baserade produktionskedjor

Det finns ett antal olika tekniker för termokemisk omvandling, eller förgasning, av biomassa till drivmedel som metanol, dimetyleter (DME), Fischer-Tropsch-diesel (FT-diesel), metan och vätgas. En del av dessa förgasningstekniker har utvecklats och kommersialiserats för produktion av värme och el från syntesgasen snarare än för drivmedelsproduktion. Här inkluderas dock enbart de tekniker som kan anses vara bäst lämpade för drivmedels- och kemikalieproduktion. Dessa är (i) Bubblande fluidbäddförgasning (BFB), (ii) Cirkulerande fluidbäddförgasning (CFB), (iii) Trycksatt medströmsförgasning (EF), samt (iv) Indirekt fluidbäddförgasning.

De olika förgasarna har kraftigt varierande kravspecifikationer för biomassan. Fluidbäddförgasare är relativt förlåtande vad gäller variationer i bränslets partikelstorlek och fukthalt. Indirekta förgasare kräver i regel något torrare bränsle än BFB och CFB. Medströmsförgasare fordrar ett vätskeformigt, slurry eller pulveriserat/malt bränsle. Vätskeformiga eller slurrybränslen måste finfördelas med hjälp av en brännardysa och i samtliga fall måste partiklarna vara mindre än ca 0,5 mm för att de ska hinna konverteras till gas innan de lämnar reaktorn tillsammans med produktgasen. För förgasning av fasta bränslen i medströmsförgasare krävs alltså en omfattande förbehandling och beredning av bränslet.

Samtliga förgasartyper kan uppnå tillräcklig syntesgaskvalitet för drivmedelsproduktion, men med olika krav på gasrening och konditionering. Fluidbäddförgasare (direkt och indirekt) producerar en gas med höga halter tjära som kräver en kombination av åtgärder för att nå en användbar gaskvalitet. Partiklar måste också avlägsnas och metanet reformeras (såvida inte SNG ämnas produceras). Indirekta förgasare ger en syntesgas med högre tjärhalt än CFB, men också en högre metanhalt. Medströmsförgasare producerar en tjärfri och nära kolvätefri syntesgas som inte behöver reformering innan syntesen. Detta beroende på en högre förgasningstemperatur än vid fluidbäddförgasning.

Samtliga förgasare kan köras under atmosfärstryck, men en trycksättning ger en rad fördelar för nedströms processer. Indirekta förgasare är dock tekniskt svårare att trycksätta än direkta förgasare. Indirekt förgasning har demonstrerats i relativt liten skala (8-10 MW) i huvudsak för kraftvärmeproduktioner. Uppskalning till storlekar överstigande 100 MW är en mycket svår utmaning och troligen inte ekonomiskt rimlig utan övergång till ett trycksatt koncept. En stor fördel med CFB och trycksatta medströmsförgasare, i synnerhet för den sistnämnda, är möjligheten att uppföra anläggningar i mycket stor skala, vilket innebär positiva ekonomiska skaleffekter.

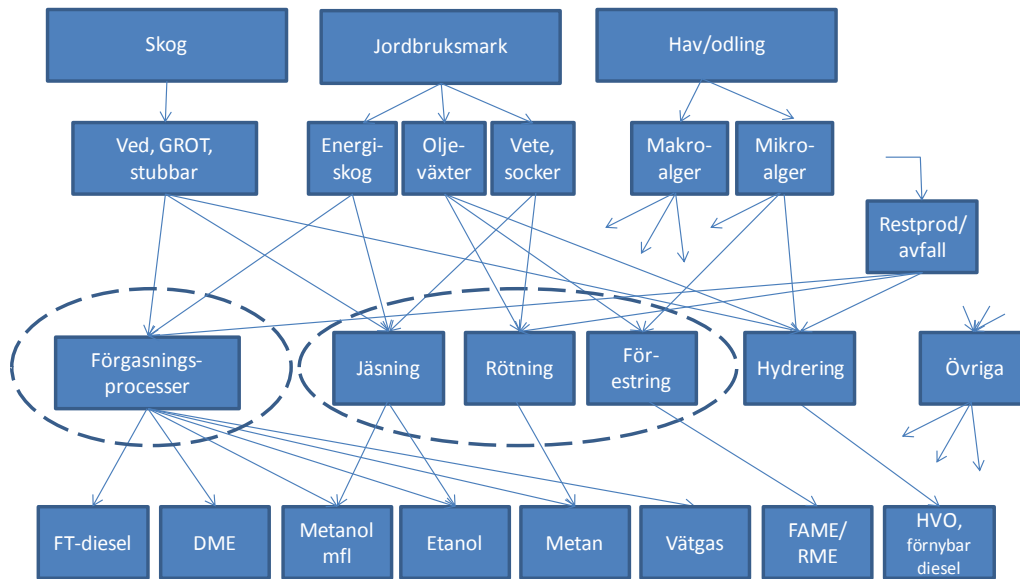


Illustration av mångfalden av de mest aktuella produktionskedjorna för produktion av biodrivmedel. Bilden är i viss utsträckning en förenkling och även andra kedjor (t ex genom kombination av förgasning, jäsning och rötning) kan vara eller bli aktuella.

Biokemiskt baserade produktionskedjor

När det gäller biokemisk omvandling av biomassa utnyttjar vi idag rötning för biogasproduktion och jäsning för etanolproduktion. Dessutom produceras rapsmetylester via extraktion och förestring av rapsolja. Produktion av spannmålsetanol och RME ska ses som en kombinerad biodrivmedels- och fodertillverkning där biprodukterna har stor betydelse för lönsamhet samt energi- och växthusgasprestanda. Teknikerna är mogna men det finns förbättringsmöjligheter på systemnivå, t ex genom ökad förädling av biprodukter, ökad integrering med kraftvärmeproduktion samt avskiljning och tillvaratagande av koldioxid. Minskade utsläpp vid odling av råvaror kan även påverka biodrivmedels växthusgasprestanda avsevärt, t ex genom optimerade givror av gödsel och att använda kvävegödsel med låga utsläpp i produktionsledet. Dessutom kan råvarubasen breddas, t ex genom att använda lignocellulosa tillsammans med spannmål vid etanolproduktion.

Produktion av biogas som fordonsbränsle baseras idag på en mängd olika typer av råvaror, framför allt olika slags restprodukter och avfall, samt olika anläggningstyper och storlekar. Trots att biogas producerats under lång tid vid t ex avloppsreningsverk finns en stor utvecklingspotential för såväl röttningsprocessen som för teknologier för uppgradering av gasen till fordonsgaskvalitet. Processer och anläggningar utformas olika utifrån vilken typ av råvara eller mix av råvaror som används. Förbättringsmöjligheter finns också på systemnivå, t ex när det gäller utnyttjande av rötresten som gödsel- och jordförbättringsmedel samt distribution av gas.

Etanolfremställning från lignocellulosa kräver alltid samproduktion med andra energibärare eller produkter för att bli energimässigt och ekonomiskt lönsamt. Utvecklingen idag innefattar bl a samproduktion av etanol och biogas då det totala drivmedelsutbytet blir högre än vid separat produktion av etanol och biogas, och i nivå med de drivmedelsutbyten som fås vid termisk förgasning. Dessutom kan en viss del el produceras, liksom överskottsvärme. En ökad andel högvärdiga energibärare som etanol, biogas och el minskar samtidigt värmeöverskottet vilket ökar möjligheterna att hitta lämplig lokalisering och integrering med t ex fjärrvärmesystem eller skogsindustri. Som tidi-

gare nämnts pågår också utveckling av samproduktion av etanol från lignocellulosa och socker- och stärkelse råvara. Förutom utvecklingsmöjligheter på systemnivå kan etanolprocessen förbättras på olika sätt, t ex när det gäller enzymatisk hydrolys av råvara.

Övriga processer

Övriga biodrivmedel som får ett allt större kommersiellt intresse är hydrerade vegetabiliska oljor (HVO). HVO finns idag inblandad med upp till 27% i dieselkvaliteter som säljs på den svenska marknaden. Exempel på råvaror för produktion av HVO är tallolja, animaliskt fett och oljegrödor. Produktionen av HVO kräver storskaliga processer, men kan med fördel integreras i befintliga raffinaderier där liknande hydreringsutrustning redan används, vilket gör det möjligt att införa bioråvara även i mindre skala. Drivkraften för produktion av HVO är att bränslekvaliteten blir oberoende av råvara och ger en diesel av hög kvalitet, som, förutsatt att den processas för att uppnå tillräckliga koldegenskaper, kan blandas med fossil diesel utan begränsningar.

Utvecklingen av fler nya produktionskedjor drivs huvudsakligen av möjligheten att öka råvarubasen (t ex användning av alger) samt av att producera drivmedel med särskilt hög kvalitet (t ex butanol och flygbränsle).

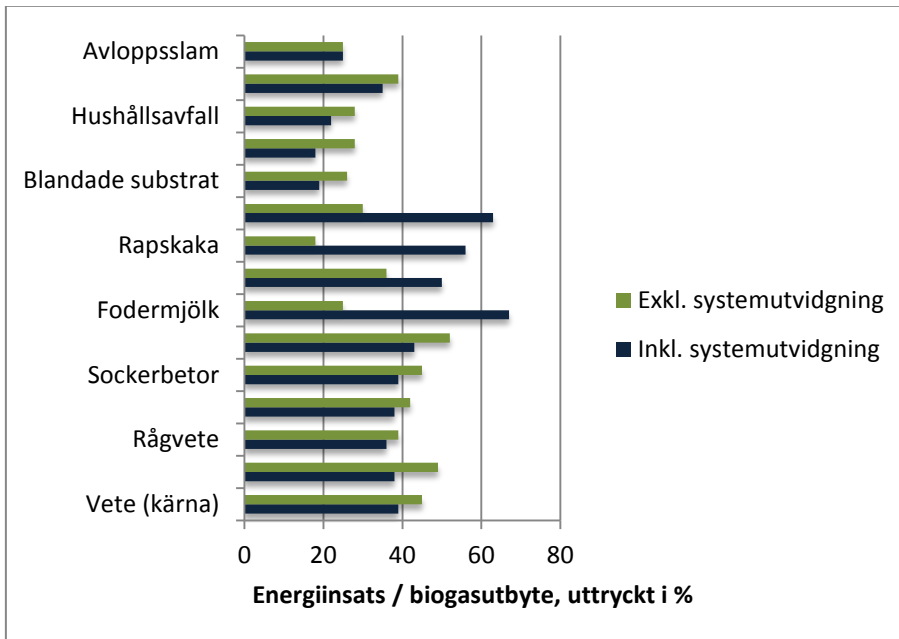
De biodrivmedel vi använder idag (RME, etanol, biogas samt HVO) har potential att utvecklas, framför allt på systemnivå.

Utvecklingen fokuserar dock till stor del på drivmedel baserade på lignocellulosa (bl a skogsråvaror) framför allt via förgasning, men också genom biokemisk omvandling i energikombinat till etanol, biogas och andra energibärare. Dessa system bedöms ha störst expansionsmöjligheter, tack vare den stora och outnyttjade råvarubasen.

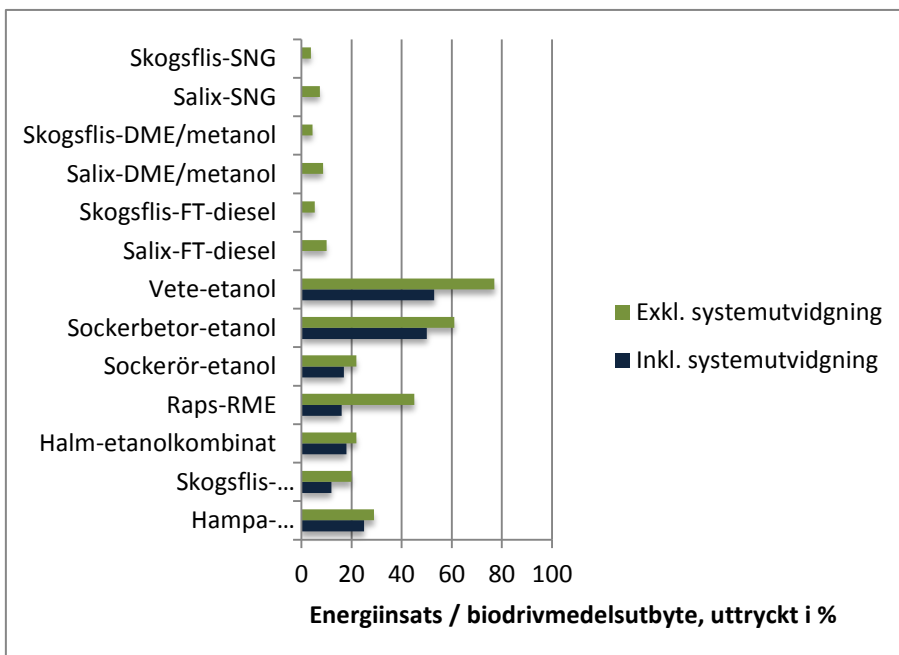
Energieffektiva biodrivmedel

Energieffektiviteten i produktionssystem för biodrivmedel kan beskrivas på olika sätt. Ett sätt är att beskriva hur stor extern energiinsats som krävs i förhållande till det producerade drivmedlets energiinnehåll, s k energibalans, ur ett well-to-tank-perspektiv (WTT).

Den externa energiinsatsen i produktionssystem för biodrivmedel är lägst för lignocellulosabaserade drivmedel via termisk förgasning, och motsvarar normalt 5-10% av drivmedlets energiinnehåll beroende på råvara och drivmedel. Energiinsatsen i etanolkombinatsystem baserat på lignocellulosa där också biogas produceras, ligger mellan 15-20%. Ungefär samma energiprestanda har också biogas från avfallsprodukter, sockerrörsetanol samt RME när foderbiprodukter inkluderas. Energiinsatsen i biogasproduktion från grödor och gödsel motsvarar 35-40% av biogasens energiinnehåll, och över 50% när biprodukter som idag används som foder utnyttjas som råvara (p g a att det krävs kompletterande foderproduktion). Spannmålsetanol har en energiinsats motsvarande cirka 50%. Som jämförelse uppskattas energiinsatsen för dagens fossila drivmedel ligga kring 15-22%. Om mer okonventionella fossila råvaror som skiffergas, oljesand osv börjar utnyttjas för drivmedelsproduktion, ökar dock energiinsatsen väsentligt.



Energibalans för produktionssystem för uppgraderad biogas med och utan systemutvidgning. Systemutvidgning innebär att man inkluderar den indirekta energivinst som fås när biprodukten ersätter en alternativ produkt (alternativt energikostnad om råvaran tidigare använts för andra ändamål). Exklusive systemutvidgning innebär att biprodukter inte beaktas.



Energibalans för produktionssystem för etanol, RME och samproduktion av etanol och biogas i etanolkombinat med och utan systemutvidgning (se föregående figur), samt för biodrivmedel från lignocellulosa via termisk förgasning.

Ett annat sätt att beskriva effektiviteten i processerna för att omvandla lignocellulosa till drivmedel, är att ange produktutbytet, d v s andelen drivmedel som produceras av den biomassa som tillförs. Produktutbytet av drivmedel kan variera kraftigt beroende på hur systemet är uppbyggt. När det gäller förgasningsbaserade drivmedel, ger bio-SNG generellt det högsta produktutbytet, typiskt i spannet 64-70 % för fristående förgasare beräknat på tillförd biomassa. För övriga bränslen gäller

att bio-DME är något mer effektivt att producera än metanol (56-65 % av tillförd biomassa för DME jämfört med 50-60% för metanol), och att etanol via fermentering av syntesgas ger det i särklass lägsta utbytet (knappt 30% av tillförd biomassa). Vätgas och FT-bränslen ger sämre utbyten än DME. FT-syntes resulterar dock i två olika produkter. Om endast utbytet av syntetisk diesel tas i beaktande, blir nettoutbytet 32-44 %. Produktutbytet i biokemiskt baserade etanolkombinat uppgår till mellan 35 och 65%, där de högsta utbytena fås vid kombinerad etanol- och biogasproduktion från skogsflis eller hampa.

Ytterligare ett sätt att beskriva effektiviteten i processerna är att ange totalverkningsgrader där alla energibärare, också el och värme, inkluderas. Eftersom energibärarna har olika kvalitet, samt att det kan finnas begränsningar i avsättning av överskottsvärme, är ett alternativt sätt att presentera effektiviteten i processerna i omräknad form som elekvivalenter. Med denna metod blir effektiviteten högst för SNG, följt av etanol och biogas i kombinat. Därefter följer DME, vätgas, metanol och FT-diesel.

Produktion av biodrivmedel baserade på skogsråvara blir mycket energieffektiv, eftersom energiinsatser för odling är försumbara. Biodrivmedel från restprodukter (t ex biogas) och RME (förutsatt att hänsyn tas till biprodukter) hamnar på en mellannivå. Minst energieffektiv är produktion av biodrivmedel från odlade jordbruksgrödor.

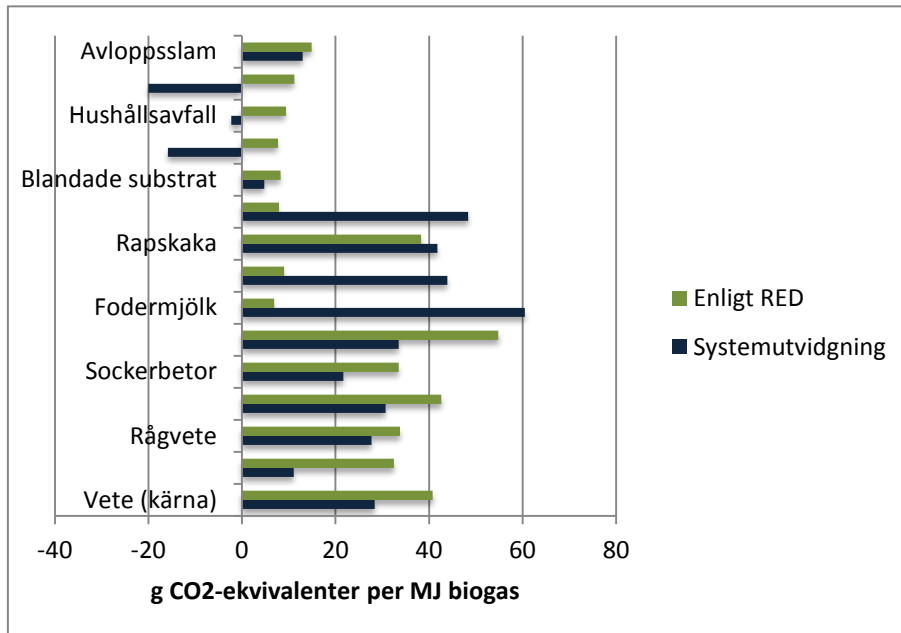
Användningen av olika mått för energieffektivitet har betydelse för jämförelsen. Särskilt viktigt är det för kombinerad produktion av biodrivmedel och andra produkter, som t ex för RME och rapsmjöl respektive spannmålsetanol och drank för foder.

Minskade utsläpp av växthusgaser

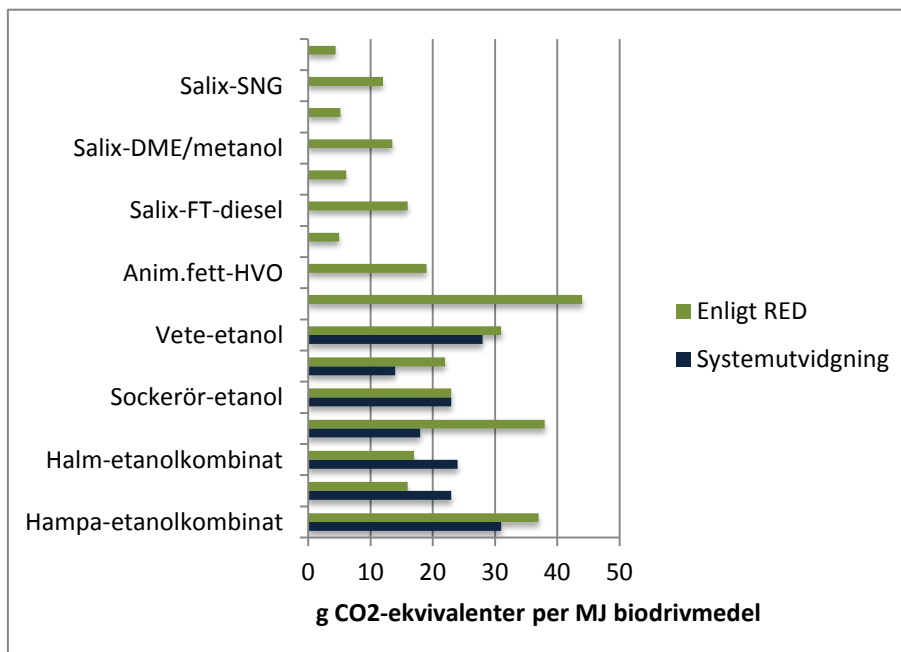
Biodrivmedels växthusgasprestanda har beräknats på två olika sätt, dels baserat på ISO-standarderna för livscykelanalys som förordar sk systemutvidgning när så är möjligt, dels baserat på beräkningsmetodiken i EUs Renewable Energy Directive (RED). Systemutvidgning innebär att man inkluderar indirekta effekter, positiva och negativa, från användningen av biprodukter, direkt förändrad markanvändning (dock ej iLUC) och hantering av restprodukter och avfall mm. Enligt beräkningsmetodiken i RED ska utsläpp av växthusgaser fördelas mellan biodrivmedel och biprodukter utifrån deras lägre värmevärde. Indirekta effekter inkluderas inte. Därefter jämförs biodrivmedels utsläpp av växthusgaser med utsläppen från fossila drivmedel. Enligt RED är utsläppen av växthusgaser från fossila drivmedel (bensin och diesel) idag i genomsnitt cirka 84 g CO₂-ekvivalenter per MJ, varav cirka 13-16% utgör utsläpp från utvinning, raffinering och transport. Dessa beräkningar bygger på dagens råoljeutvinning i Mellanöstern. Om nya fossila råvaror börjar användas för drivmedelsproduktion, t ex skiffergas, oljesand och kol, kan bränslecykelutsläppen av växthusgaser öka med upp till 100%.

Beräkningar baserat på systemutvidgning visar att biogas från gödsel och avfall ger störst reduktion av växthusgaser tack vare de indirekta vinster från minskade metanemissioner från konventionell gödsellagring respektive ersättning av mineralgödsel, där reduktionen av växthusgaser blir mer än 100% jämfört med fossila drivmedel. Reduktionen av växthusgaser uppgår till mellan 80-95% för biodrivmedel baserat på förgasning. Ungefär motsvarande växthusgasprestanda har HVO från tallolja, biogas från vallgrödor och kombinerad etanol och biogas från lignocellulosa. Reduktionen av växthusgaser för HVO från animaliskt fett, RME, sockerrörsetanol, biogas från grödor och veteeta-

nol ligger mellan 65-80% när också indirekta vinster från biprodukter inkluderas. Reduktionen av växthusgaser blir cirka 50% eller mindre för biogas baserat på foderbiprodukter när kompletterande foderproduktion inkluderas.



Växthusgastprestanda för produktionssystem för uppgraderad biogas beräknat enligt metodiken i EU's Renewable Energy Directive (RED) respektive i ISO-standarden för livscykelanalys (systemutvidgning, se text).



Växthusgastprestanda för produktionssystem för produktion av SNG, DME/ metanol och FT-diesel via termisk förgasning samt för HVO, etanol, RME och samproduktion av etanol och biogas i etanolkombinat beräknat enligt metodiken i EUs Renewable Energy Directive (RED) respektive i ISO-standarden för livscykelanalys (systemutvidgning, se text).

När växthusgasutsläppen beräknas efter metodiken i RED blir reduktionen jämfört med fossila drivmedel lägre för RME, spannmålsetanol samt för biogas från grödor, avfall och gödsel. Däremot förbättras växthusgasprestanda för biogas från foderbiprodukter samt drivmedel baserat på halm och skogsrester.

En viktig faktor för biogasens växthusgasprestanda är hur stora utsläppen av metan är. Beräkningarna för biogas ovan baseras på väl fungerande system där metanutsläppen uppgår till maximalt cirka 1,5%. Utsläppen i dagens produktionsanläggningar av fordonsgas bedöms vanligen variera mellan mindre än 1% och 3%, men där enstaka anläggningar kan ha ännu högre utsläpp. Utsläppen från fordon kan också variera från < 1% till 2,5%, och i dåligt fungerande motorer vara ännu högre. För att biogassystem ska bli sämre än bensen och diesel ur växthusgassynpunkt krävs normalt metanutsläpp kring 17-18%, med en variation mellan cirka 12 och 24% beroende av råvara och beräkningsmetod (RED eller systemutvidgning). Som jämförelse krävs endast cirka 4% utsläpp från naturgasbaserade drivmedel innan dessa blir sämre än bensen och diesel ur växthusgassynpunkt.

Eftersom tillgången på odlingsbar mark för biodrivmedel är begränsad, är drivmedelsutbyte och växthusgasreduktion per hektar mark och år ett viktigt hållbarhetsmått. Drivmedelsutbytet per hektar och år är högst för etanol från sockerrör (producerat i Brasilien) och biogas från sockerbetor (inklusive blast), följt av SNG via förgasning och kombinerad etanol- och biogasproduktion från Salix, cirka 25% lägre. Ett flertal drivmedelsystem har ytterligare drygt 10% lägre drivmedelsutbyte per hektar som t ex biogas från majs och rågvete, etanol från sockerbetor, etanol och biogas från hampa, SNG från hybridasp samt metanol, DME och vätgas från Salix. Exempel på system som har ungefär 50% lägre drivmedelsutbyte per hektar än sockerrörsetanol är biogas från vete och vall, metanol och DME från hybridasp samt FT-diesel från Salix. Drivmedelsutbytet av etanol från vete och RME från raps är drygt 50% respektive knappt 70% lägre, men samtidigt genererar dessa system också knappt 1 ton protein per hektar vilket ger en indirekt åkermarksbesparing genom minskat behov av proteinfoderodling.

Reduktionen av växthusgaser per hektar och år för olika biodrivmedelssystem när dessa ersätter fossila drivmedel skiljer sig något åt i förhållande till jämförelsen för drivmedelsutbyte. Till exempel ökar växthusgasreduktionen för biodrivmedel baserat på energiskog jämfört med biodrivmedel baserat på traditionella grödor. Drivmedel producerade av energiskog via förgasning och i etanol-kombinat ger en reduktion per hektar som är ungefär 50% högre än flertalet drivmedelsystem baserade på traditionella jordbruksgrödor.

Både dagens och framtida biodrivmedelssystem har bra växthusgasprestanda och är motiverade att stödja och utveckla.

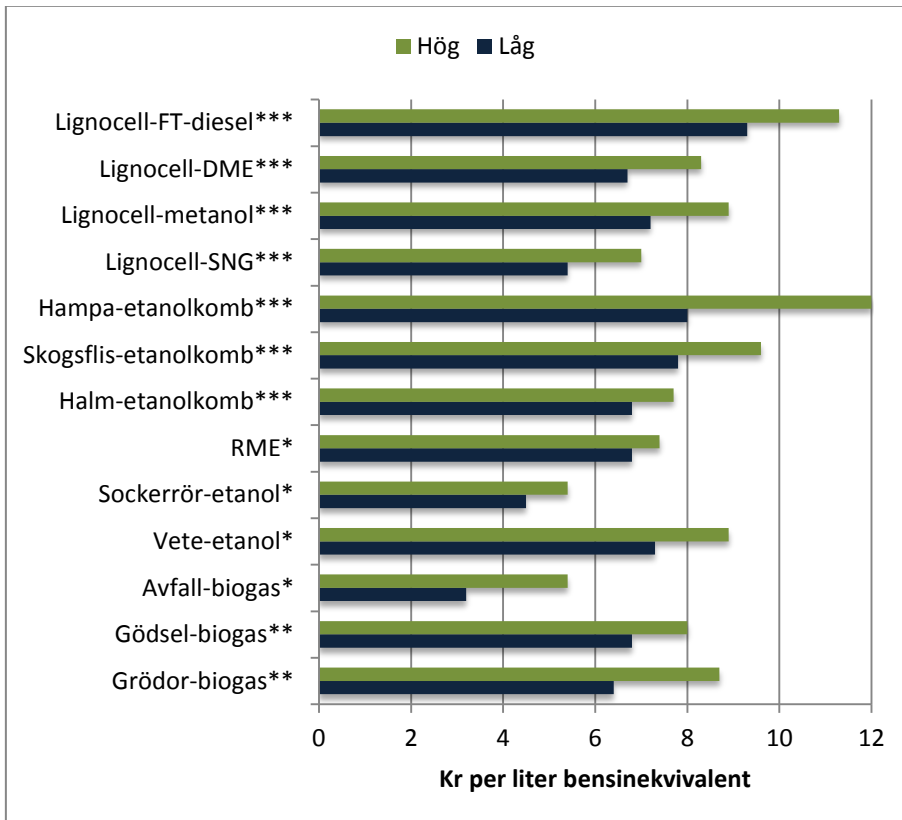
Biogas från restprodukter (som inte utnyttjas idag), HVO från tallolja samt framtida biodrivmedel baserade på förgasning av skogsråvara ger minst utsläpp av växthusgaser. Även övriga biodrivmedelssystem ger en växthusgasreduktion om minst 65% jämfört med fossila drivmedel, med undantag för biogas från biprodukter som idag används som foder.

Produktionskostnader för biodrivmedel

Bedömningar av produktionskostnaderna för dagens biodrivmedelssystem respektive framtida system baserade på lignocellulosa innehåller olika grad av säkerhet och osäkerhet, d v s jämförelserna ska tolkas med stor försiktighet. Produktionskostnaden för brasiliansk sockerrörsetanol, inklusive transport till Europa, bedöms ligga kring 5 kr per liter bensinekvivalent idag. Uppgraderad biogas baserad på restprodukter och avfall bedöms ha en produktionskostnad som normalt ligger under 5 kr per liter bensinekvivalenter, eftersom dessa system oftast är kommersiellt lönsamma idag. Den största kostnadsposten är här investeringskostnaden. Produktionskostnaden för spannmålsetanol och RME beräknas ligga omkring 7 kr per liter bensinekvivalenter, men varierar över tid som en följd av förändrade priser på spannmål och oljefrö. Råvarukostnaden är den största kostnadsposten vid produktion av spannmålsetanol och RME, men priset för biprodukterna på fodermarknaden är också viktigt för lönsamheten. Produktionen av uppgraderad biogas från grödor respektive flytgödsel bedöms ligga på ungefär samma kostnadsnivå. För gödselbaserad biogas dominerar investeringskostnaden, medan råvarukostnaden dominerar i biogassystem baserade på grödor.

De framtida produktionskostnaderna för drivmedel från lignocellulosa producerade via förgasning respektive i etanolkombinat uppskattas också ligga kring 7-8 kr per liter bensinekvivalenter för de mest kostnadseffektiva processkoncepten. SNG bedöms ha något lägre produktionskostnader, cirka 6 kr per liter bensinekvivalenter, medan FT-diesel bedöms ha betydligt högre, cirka 10 kr. Förgasning av svartlut bedöms ge lägre produktionskostnader. I drivmedelssystem baserade på lignocellulosa dominerar investeringskostnaden, men förändrade råvarukostnader har också relativt stor betydelse. Om t ex dagens skogsbränslepris om cirka 200 kr per MWh (vid fjärrvärmeverk) minskar med en tredjedel uppskattas produktionskostnaden för etanol i kombinat minska med ungefär 20%. Ju högre utbytet av biodrivmedel och el är, ju mindre betydelse har ett eventuellt värmeöverskott för ekonomin i produktionssystemet. T ex visar beräkningar att produktionskostnaden för etanol i kombinat med maximerad biogas- och elproduktion är ungefär samma som produktionskostnaden i etanolkombinat med högre totalverkningsgrad, men med en stor andel värmeproduktion. En ökad prisskillnad mellan biodrivmedel inklusive el och värme i framtiden, t ex till följd av minskat värmebehov genom effektiviseringar inom bostads- och lokalsektorn, kan innebära att drivmedelskombinat med något lägre totalverkningsgrad blir lika kostnadseffektiva som de med stora värmeöverskott.

Det är stora skillnader i skala mellan de olika produktionssystemen för biodrivmedel. Detta innebär att investeringskostnaderna kan skilja mellan t ex 60-70 miljoner för en biogasanläggning och upp till 4-6 miljarder för en storskalig förgasningsanläggning, och att den finansiella risken för en investerare i en förgasningsanläggning därmed blir mycket större. Förutom finansiella risker finns också teknologiska risker att ta hänsyn till, vilka är större för produktionssystem som inte är kommersiella idag, t ex förgasningsanläggningar och storskaliga etanolkombinat baserade på lignocellulosa, samt för sådana som förutsätter en tätare integration med befintliga processer, som t ex svartlutförgasning. Ju större de finansiella och teknologiska riskerna är, ju större riskkompensation krävs normalt från en investerares sida.



Uppskattade produktionskostnader för olika biodrivmedelssystem, uttryckt som kr per liter bensin-ekvivalent. Låg (blå) respektive hög (grön) stapel illustrerar möjliga variationer i råvarukostnader (biogas, RME och etanol från grödor) alternativt processutformning (etanolkombinat och drivmedel via termisk förgasning). Graden av osäkerhet i produktionskostnaderna indikeras med * = liten osäkerhet, ** = viss osäkerhet, respektive *** = stor osäkerhet.

Utöver produktionskostnaderna skiljer sig också drivmedlen åt avseende kostnader för distribution och tankstationer. En grov uppskattning av distributions- och tankningskostnaden för bensin och diesel är 1-1,5 SEK per liter. HVO och FT-diesel bedöms ligga på i princip samma nivå, medan metanol och etanol bedöms ha cirka 20-30 % högre kostnader. DME och SNG har högre kostnader och det har gjorts en uppskattning om ca 2 SEK per liter för SNG. DME är mer svåruppskattad då nya system behövs. I de områden där infrastruktur för gasdistribution finns tillgängligt är det sannolikt att SNG är det drivmedel som resulterar i den lägsta totalkostnaden. Osäkerheten avseende kostnader för distribution av framförallt gasformiga bränslen är dock stor och det är därför svårt att dra några säkra och generella slutsatser. De lokala förutsättningarna för distribution är således en viktig parameter att beakta.

Produktionskostnaderna för dagens biodrivmedel ligger mellan 5 och 7 kr/liter bensin-ekvivalent. Framtida kostnader för drivmedel från lignocellulosa producerade via förgasning eller i etanolkombinat förväntas uppgå till 7-8 kr/liter bensin-ekvivalent, medan kostnaden för SNG kan bli något lägre.

Den totala ekonomin för olika biodrivmedel beror dock även på befintlig infrastruktur och kostnader för distribution, tankstationer och i fordonen. Dessutom är skillnaderna i anläggningars produktionsvolymerna stora vilket, tillsammans med hur kommersiellt mogen tekniken är, innebär skillnader i finansella och teknologiska risker för investerare. Storskaliga ej kommersiella produktionssystem kräver därför extra riskkompensation.

Slutligen...

En sammanfattande slutsats från kunskapssammanställningen i denna rapport är att det finns goda möjligheter att öka produktionen av hållbara drivmedel i Sverige baserat på såväl jordbruksbaserad råvara som skogsbaserad. Både dagens biodrivmedelssystem och framtida system visar god växt-husgasprestanda och rimliga produktionskostnader, medan energi- och markeffektivitet skiljer något mer. Det är också uppenbart att man inte generellt kan bedöma hållbarhet för en viss sorts drivmedel, utan varje produktionssystem måste bedömas utifrån dess specifika förutsättningar som kan skilja utifrån lokala förutsättningar, vilka produktionsvolymerna det är fråga om samt över tid. Förutsättningarna för att kommersiellt utveckla och implementera olika biodrivmedelssystem skiljer sig också åt, och beror på faktorer som befintlig infrastruktur, fordonsteknik, investeringsnivåer osv. Denna komplexitet ställer i sin tur krav på utformningen av de styrmedel som är nödvändiga för att i tillräckligt snabb takt öka såväl produktion som användning av hållbara biodrivmedel i stor skala.

Alltför detaljerade styrmedel som fokuserar på specifika råvaror, omvandlingstekniker eller drivmedel kan leda till suboptimeringar ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Teknikneutrala styrmedel innebär minskad risk för detta men måste samtidigt vara tillräckligt effektiva för att driva på utvecklingen av de miljömässigt mest hållbara drivmedelssystemen. Ett sätt är att styra efter systemens växthusgasprestanda där system med verifierad störst växthusgasreduktion premieras. Genom att skapa sådana ekonomiska incitament gynnas utvecklingen av de mest miljöeffektiva systemen, förutsatt att de samtidigt är kostnadseffektiva. För storskaliga, ej kommersiella biodrivmedelssystem baserade på lignocellulosa, krävs kompletterande och övergående stöd som kompensation för systemens teknologiska och finansiella risker.

DELTAGANDE PARTER I PROJEKTET:



ÖVRIGA PARTER I f3:



f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, är ett nationellt centrum som genom samverkan och helhetssyn bidrar till utvecklingen av en hållbar produktion av framtidens förnybara transportbränslen. Resultaten underlättar för politiker, myndigheter, industri och andra organisationer att ta beslut i frågor som rör förnybara drivmedel.

I f3 ingår svenska universitet och högskolor, forskningsinstitut och industriföretag från relevanta branscher. f3 finansieras av Västra Götalandsregionen och Energimyndigheten.

Läs mer på www.f3centre.se