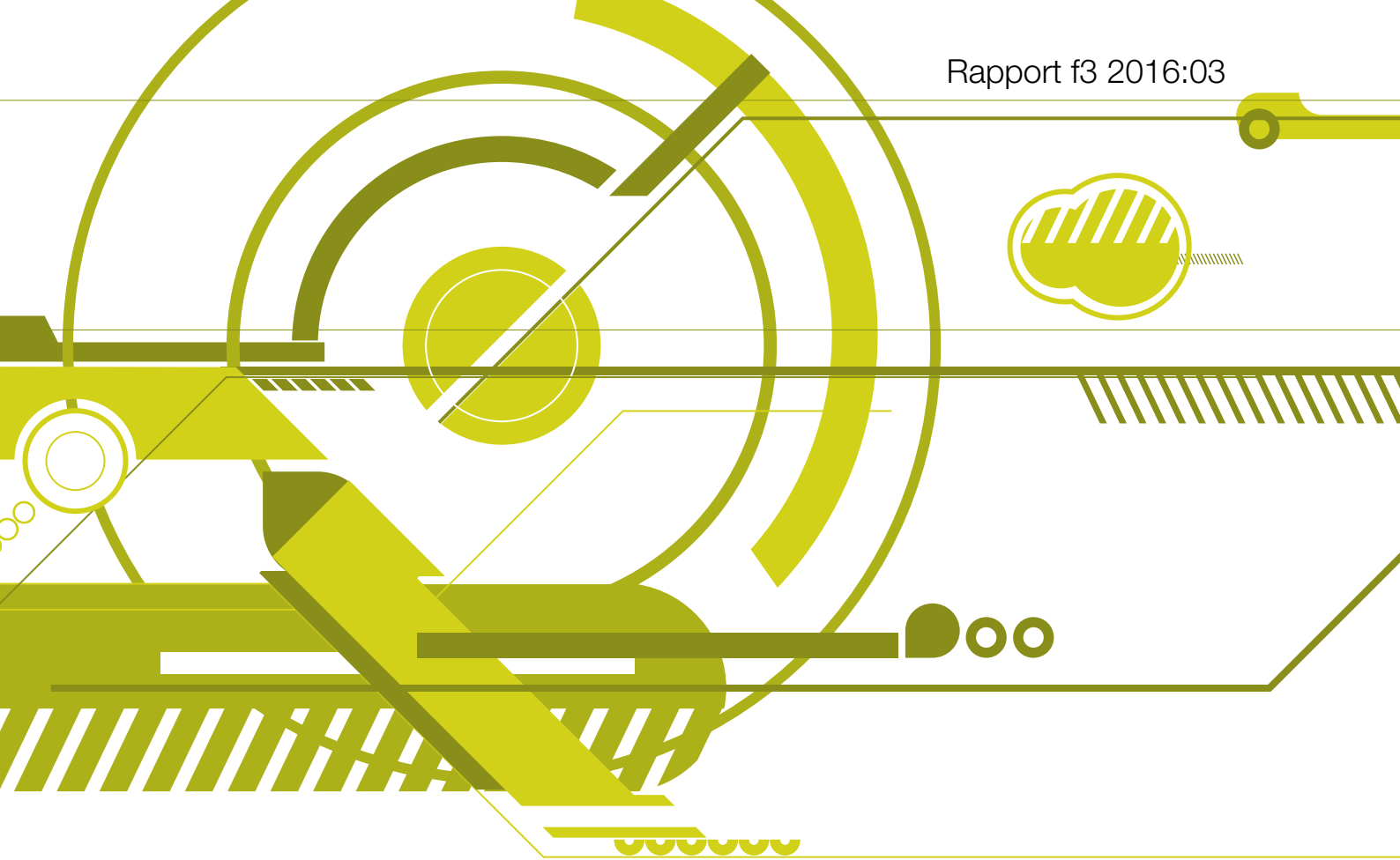




Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel – i sammandrag

2016-03-31

Pål Börjesson, Lunds Universitet
Joakim Lundgren, Luleå Tekniska Universitet (Bio4Energy)
Serina Ahlgren, Sveriges Lantbruksuniversitet
Ingrid Nyström, f3 och CIT Industriell Energi



INNEHÅLL

En översikt av kunskapsläget	3
Sammanfattning	4
Kapitel 1	
Produktion av biodrivmedel	5
Kapitel 2	
Biomassa som hållbar resurs	7
2.1 Växthusgasutsläpp kopplade till biodrivmedelskedjor	
2.2 Växtnäringsbalans	8
2.3 Förändrad markanvändning	8
2.4 Hållbarhetskriterier	9
2.5 Proaktiva åtgärder för ökad hållbarhet	10
Kapitel 3	
Biomassa med betydande potential	12
3.1 Svensk biomassapotential	12
3.2 Energibalans och växthusgasprestanda för råvaror	14
Kapitel 4	
WITT-prestanda för biodrivmedel	15
4.1 Energibalans och produktutbyten	15
4.2 Växthusgasprestanda och åkermarkseffektivitet	18
4.3 Produktions- och distributionskostnader	20
Bilaga 1	
Anläggningar för biodrivmedelsproduktion i Sverige	23
Bilaga 2	
Biodrivmedelsanläggningar internationellt	26

En översikt av kunskapsläget

Denna rapport ger en översikt av kunskapsläget, dels kring potential och hållbarhet för användning av biomassa, dels för produktion av hållbara biodrivmedel från råvara till färdigt drivmedel (dvs well-to-tank, eller WTT). Rapporten bygger på f3:s underlagsrapport till utredningen Fossilfrihet på väg från 2013, men har uppdaterats med nya fakta, efter behov och tillgång till nya forskningsresultat. Baserat på systemanalys presenteras WTT-prestanda för olika, alternativa produktionskedjor avseende:

- Total energieffektivitet
- Växthusgasprestanda
- Markeffektivitet
- Ekonomi

Rapporten omfattar enbart biodrivmedel och inte andra processkedjor för produktion av förnybara drivmedel. Särskilt fokus ligger på biodrivmedelsystem som är och kan komma att bli aktuella för produktion lokaliserad i Sverige samt som i störst utsträckning bidrar till dagens förnybara drivmedel och/eller har störst potential för långsiktigt hållbar produktion i större kvantiteter.

Det kompletta underlaget, inklusive metodbeskrivningar, allt detaljerat beräkningsunderlag och samtliga referenser, återfinns i Börjesson m fl, "Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel", f3 2013:13, 2013. Fakta och data har uppdaterats för denna sammanställning i den mån detta ansetts relevant.

Detta refereras då specifikt. Sammandraget har genomförts av de ursprungliga författarna i samverkan med en särskild granskningsgrupp inom f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. För mer information om f3:s verksamhet, se www.f3centre.se

Sammanfattning

Viktiga frågor för framtidens och dagens biodrivmedel omfattar hållbarhetsaspekter, potentialen för biomassa till energiändamål samt prestanda för olika produktionskedjor från råvara till färdig produkt. Generellt sett måste varje produktionssystem bedömas utifrån dess specifika förutsättningar, vilka dessutom kan skilja sig åt beroende på lokala förutsättningar, produktionsvolym och tidsperspektiv. Hållbarhet kan inte generellt bestämmas för en viss typ av drivmedel.

Konsekvent tillämpning av väl utformade hållbarhets-kriterier krävs för fortsatt utveckling av biodrivmedel. Sådana kriterier bör inkludera ett flertal aspekter, som till exempel effekter på biodiversitet, markanvändning och socioekonomi, utöver växthusgasprestanda. Med väl utformade hållbarhetskriterier är användning av biomassa för drivmedelsproduktion hållbart och minskar utsläppen av växthusgaser.

För att i tillräckligt snabb takt öka produktion och användning av hållbara biodrivmedel i stor skala krävs styrmedel som gynnar utvecklingen av de mest miljöeffektiva systemen, har tillräcklig flexibilitet för att inkludera ny teknisk utveckling och är internationellt förankrade.

Hållbarheten kan också förbättras genom exempelvis effektivare processer, bättre utnyttjande av biprodukter, ändrad energianvändning osv. Den kan också förbättras genom åtgärder för att minska konkurrensen om mark och potentiella negativa indirekta markanvändningseffekter (dvs när den globala markanvändningen påverkas).

Det finns goda möjligheter att öka produktionen av hållbara drivmedel i Sverige, baserat på råvara från både jord- och skogsbruk. Under dagens förutsätt-

ningar skulle biomassaproduktionen kunna öka med 40-50 TWh per år, vilket motsvarar cirka 22-32 TWh biodrivmedel (utöver el, värme och andra biprodukter). Detta motsvarar i sin tur ungefär en tredjedel av dagens användning av bensin och diesel för vägtransporter. På längre sikt är potentialen för biodrivmedelsproduktion i Sverige större.

Flertalet befintliga och framtida biodrivmedelskedjor visar hög energieffektivitet, god växthusgasprestanda och rimliga produktionskostnader. Extern energiinsats per producerat biodrivmedel ligger under eller på ungefär samma nivå som för bensin och diesel (liksom för sockerrörsetanol från Brasilien) för lignocellulosabaserade drivmedel och biogas från organiskt avfall. Högre energiinsats krävs för biodiesel från raps och vetebaserad etanol. Prestandan för båda dessa förbättras dock kraftigt om indirekt nytta av biprodukter och processutveckling inkluderas i analysen. Växthusgasreduktionen för samtliga inkluderade biodrivmedel ligger över 50%, jämfört med dagens fossila drivmedel. Även här det viktigt att inkludera samtliga produkter från anläggningarna i analysen. Detta görs inte fullt ut i den metodik som idag används för EU:s regleringssystem.

Produktionskostnaden bedöms ligga under den för fossila drivmedel (inklusive CO₂-skatt) för framtida skogsbaserad syntetisk naturgas, sockerrörsetanol och biogas, medan den för övriga biodrivmedelskedjor ligger på ungefär samma nivå eller något över. Jämförelsen är dock mycket osäker och beror, som nämnts, av hela biodrivmedelskedjan.

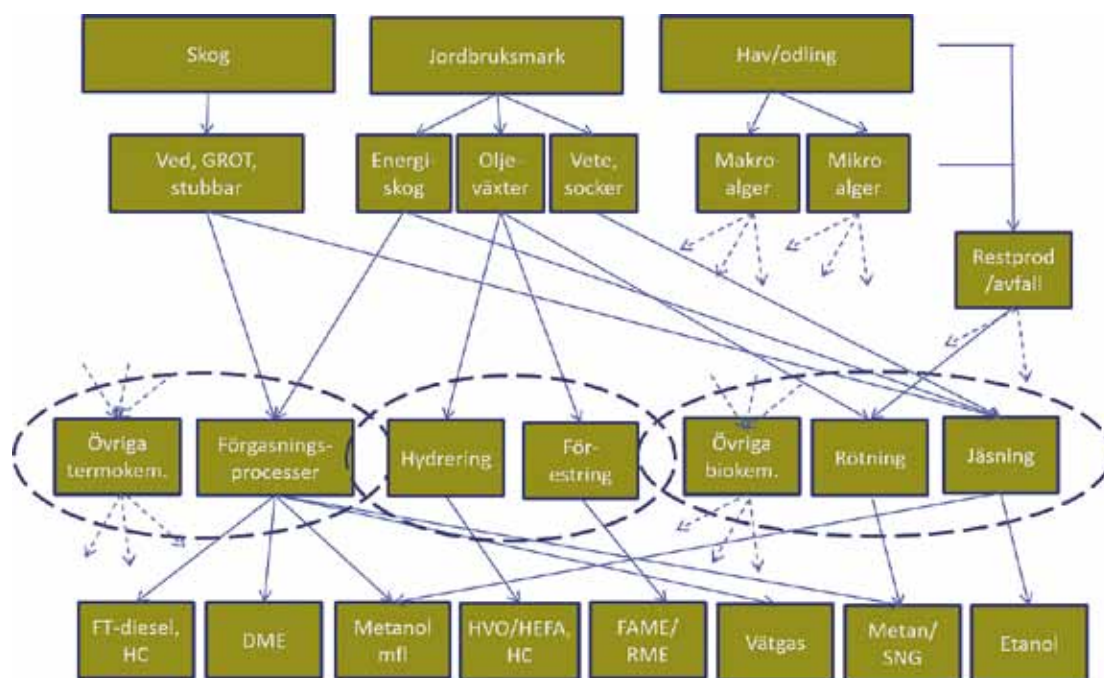
För att i tillräckligt snabb takt öka produktion och användning av hållbara biodrivmedel i stor skala krävs styrmedel som gynnar utvecklingen av de mest miljöeffektiva systemen, har tillräcklig flexibilitet för att inkludera ny teknisk utveckling och är internationellt förankrade. Mycket hög komplexitet ställer höga krav på metodik, forskningsbaserat underlag och kunskap hos beslutsfattare.

KAPITEL 1

Produktion av biodrivmedel

Biodrivmedel kan produceras genom ett stort antal olika produktionskedjor (se Figur 1), beroende av råvaruanvändning, omvandlingsprocess och vilket biodrivmedel som produceras. De allra flesta biodrivmedel, exempelvis etanol, kan produceras i flera olika produktionskedjor. Produktionsprocessen bestämmer inte i sig själv prestandan för kedjan, utan den beror även i hög grad av råvara, geografisk placering, transportavstånd och möjligheter till integration med andra anläggningar. Effektivitet eller miljöpåverkan kan alltså inte bedömas enbart utifrån vilket drivmedel som avses, utan måste värderas utifrån varje produktionskedja som helhet.

Potentialen för produktion av biodrivmedel via en viss produktionskedja är begränsad. Vissa produktionskedjor baseras på råvaror med stor potential och/eller har hög råvaruflexibilitet, medan andra är helt beroende av en särskild gröda eller restprodukt. En produktionskedja med hög effektivitet, låg miljöpåverkan och god ekonomi kommer alltså inte nödvändigtvis att få stor inverkan på den totala drivmedelsmarknaden, om potentialen är begränsad. Två viktiga drivkrafter för utvecklingen av nya produktionskedjor är möjligheten att öka råvarubasen (t ex användning av skogsråvara eller alger) samt att producera drivmedel av särskild kvalitet (t ex syntetisk diesel eller flygbränsle).



Figur 1. Illustration av de mest aktuella produktionskedjorna för produktion av biodrivmedel. Totalt sett är mängden möjliga varianter mycket stor och dessutom sker kontinuerlig utveckling, vilket gör att illustrationen inte är komplett. Råvaror baserade på olika typer av restprodukter och avfall kan vara aktuella i samtliga kedjor.

DME = Dimetyleter **FT** = Fischer-Tropsch **FAME** = Fatty Acid Methyl Ester **HC** = (rena) kolväten (HydroCarbon) **HVO** = Hydrogenated Vegetable Oil **HEFA** = Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (= HVO) **RME** = RapsMetylEster **SNG** = Syntetisk NaturGas

Olika produktionsskedjor för biodrivmedel kan delas in baserat på råvarans kemiska egenskaper, eftersom dessa i stor utsträckning styr vilka produktionsprocesser som är aktuella. På detta sätt kan man definiera tre primära grupper¹:

- Socker- eller stärkelsebaserade råvaror, dvs sockerrör och sockerbetor respektive vete, majs och andra sädesslag.
- Oljebaserade råvaror, dvs raps, oljepalm och andra oljeväxter, men också restprodukter från skogsindustrin som tallolja och animaliska fetter från slaktavfall.
- Lignocellulosa, dvs framförallt olika typer av skogsråvara, men också restprodukter från jordbruk som halm och bagasse.

Produktionskedjorna kan också kategoriseras efter typ av produktionsprocess. En grov indelning, som åtminstone väl täcker de processkedjor som idag kommit längst i utvecklingen, kan exempelvis göras i tre olika processplattformar; termokemisk, biokemisk samt oleokemisk omvandling².

Slutligen kan man naturligtvis dela upp kedjorna efter den typ av biodrivmedel som produceras. Som påpekats ovan kan dock prestanda skilja sig väldigt mycket åt, beroende av övriga förutsättningar, så att skillnaden mellan ”bra” och ”dåliga” produktionskedjor för samma drivmedel är större än skillnaderna mellan olika drivmedel³.

Termokemisk omvandling

I denna processplattform ingår förgasning och annan termokemisk omvandling som t ex pyrolys. Det finns flera olika förgasningstekniker och via förgasning kan i stort sett samtliga typer av drivmedel produceras, men med olika total effektivitet. Förgasning, liksom pyrolys, är framför allt aktuellt för lignocellulosabaserade råvaror, vilka är svåra att omvandla på annat sätt.

Biokemisk omvandling

I biokemisk omvandling ingår fermentering, rötning och andra varianter av enzymatisk och bakteriell omvandling. Fermentering omvandlar framför allt socker- och stärkelsebaserade råvaror till alkoholer (framför allt etanol), men genom utveckling av förbehandling och användning av andra jäster/enzymer kan även lignocellulosa omvandlas. Rötning innebär bakteriell omvandling av biomassa till biogas,

vilken består huvudsakligen av metan och koldioxid. Efter rening (från CO₂ och andra föroreningar) fås biometan.

Oleokemisk omvandling

Oleokemisk omvandling omfattar hydrering och förestring av oljebaserade råvaror (eller restprodukter), vilka även kan beskrivas som katalytiska, termokemiska processer. Hydrieringsprocessen reducerar syre- och svavelinnehåll i råvaran till en blandning av paraffiniska kolväten, som t ex förnybar diesel. Förestringsprocessen ersätter glyceroldelen i råvaran med en alkohol, vanligtvis metanol, och bildar estrar (FAME, fatty acid methyl ester), som t ex RME (rapsmetylester). Dessutom pågår utveckling av katalytisk nerbrytning av lignin, för vidare raffinering till paraffiniska kolväten⁴.

1. I dessa grupper ingår alltså råvaror som är beroende av integration med annan industriell produktion, som till exempel svarlut och tallolja från skogsindustrin, och avfall, vilket har en mer blandad sammansättning. På längre sikt diskuteras alger som en möjlig råvara med stor potential. Alger har olika egenskaper, beroende av algsort, och kan därför återfinnas i flera av dessa grupper.
2. Kategoriseringen av en process är dock inte alltid självklar och i vissa fall uppstår visst överlapp mellan grupperna.
3. Antingen man specificerar alternativ biodrivmedelsproduktion efter råvaror, process eller drivmedel, har det varit vanligt att använda begreppen första, andra och tredje generationen. Dessa begrepp är svårdefinierade och i många fall missvisande. Vi har därför valt att helt undvika denna indelning och istället diskutera prestanda knutet till enskilda produktionskedjor.
4. För denna utveckling har dock inte genomförts några publicerade systemstudier och det finns idag heller inte tillräckligt med data tillgängligt för sådan analys. I denna rapport saknas därför WTT prestanda för denna typ av processkedja.

KAPITEL 2

Biomassa som hållbar resurs

Hållbarhet definieras i Brundtland-rapporten 1987 som ”En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov”. Vanligtvis diskuteras hållbarhet utifrån tre pelare: ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet.

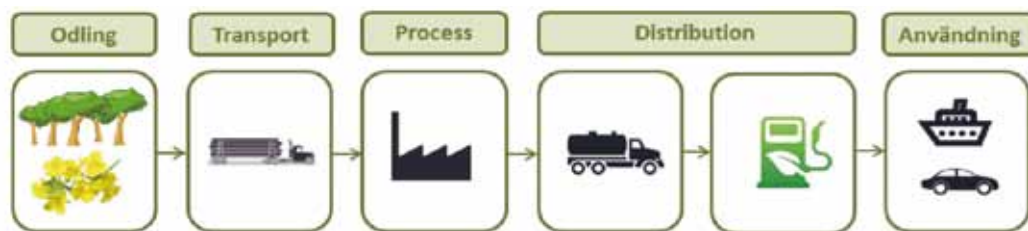
Här ligger huvudfokus på aspekter som påverkar den ekologiska och i viss mån sociala hållbarheten av biomassaanvändning. Dessa aspekter är egentligen likartade oavsett användning av biomassan – för livsmedel, material eller bioenergi generellt. I särklass mest diskuterade och studerade har dock frågorna blivit för användning av biomassa för produktion av drivmedel inom transportsektorn.

2.1 VÄXTHUSGASUTSLÄPP KOPPLADE TILL BIODRIVMEDELSKEDJOR

Växthusgasutsläpp kopplade till biodrivmedel, kan knytas till hela kedjan: dels eventuella utsläpp från bioenergianvändningen som sådan, dels utsläpp från olika processteg, inklusive odling, transporter och industriell produktionsprocess för drivmedlet (se Figur 2). Debatten om ifall bioenergianvändningen som sådan är koldioxidneutral avser alltså om den koldioxid som släpps ut vid förbränning av biomassa binds in i ny biomassa och därmed inte ger upphov till några nettoutsläpp av koldioxid.

Frågan berör i princip enbart trädbränslen från stamved, som har en längre omloppstid (tid mellan inbindning och utsläpp) för koldioxid än jordbruksprodukter.

För uttag av hyggesrester (grenar och toppar, (GROT) och stubbar från slutavverkning) är det istället skillnaden mellan att lämna resterna i skogen eller ta ut dem som är intressant att studera. Där kan man visa att det finns en liten klimatpåverkan från användning av biobränsle i form av restprodukter, eftersom hyggesrester som istället fått ligga kvar i skogen skulle ha bidragit med en liten fraktion kol till markens långtidsförråd. I ett hundraårigt perspektiv leder användningen av GROT till en lägre klimatpåverkan än stubbar som i sin tur har en lägre klimatpåverkan än användande av fossilt kol. Denna slutsats gäller även ur ett 20-årsperspektiv, men skillnaden mellan bränsletyperna blir då mindre⁵.



Figur 2. Illustration av processkedjans olika steg, vilka samtliga kan innebära utsläpp av växthusgaser.

Klimatnyttan av trädbränslen från stamved kan sammanfattas på följande sätt⁶:

- Ur ett långsiktigt perspektiv (vilket är relevant vid utvärdering av långsiktiga klimatförändringar), som beaktar skogsbränsleuttag på fastighets- och landskapsnivå, är bioenergi ett effektivt alternativ ur växthusgassynpunkt. Även om vissa initiala kolförluster i mark vid ökad användning av bioenergi räknas in, så kommer det i längden att vara ett bättre alternativ än att elda fossila bränslen, vilka bara fortsätter att generera utsläpp.
- Studier som utvärderar enskilda bioenergiprojekt på beståndsnivå med ett kortsiktigt tidsperspektiv visar dock oftast relativt dålig växthusgasprestanda för biomassa.
- Därför bör bioenergi utvärderas från flera perspektiv, så att en balanserad bild uppnås. Dessutom kan ett utsläppsutrymme ”sparas” för en initial uppbyggnadsfas för bioenergisystem som på sikt ger stora växthusgasminskningar.

Växthusgasutsläpp i *odlingsledet* är en viktig faktor för framför allt jordbruksbaserade biodrivmedel. Odling kräver en mängd insatser, t ex maskiner, diesel, olja, handelsgödsel, bekämpningsmedel, och produktionen av dessa insatsmedel ger upphov till utsläpp. Särskilt påverkar produktionen av kvävegödselmedel de totala utsläppen, eftersom den baseras på fossil energi och att lustgas, som är en mycket stark växthusgas, bildas i processen.

Utsläpp av växthusgaser sker också på gården, t ex vid användning av diesel och olja för traktorer samt vid användning av kväve för gödsling, eftersom mikrobiell omsättning av kväve i åkermarken leder till att lustgas bildas. Detta gäller för både mineralkväve och organiskt kväve som t ex stallgödsel samt

för kvarlämnade växtrester. Utsläpp av lustgas i odlingen utgör ofta en stor del av de totala växthusgasutsläppen för en gröda, samtidigt som det är en källa till en av de största osäkerheterna i biodrivmedlets växthusgasprestanda.

Vidare har skördenivån givetvis en stor påverkan på resultatet. En gröda med hög avkastningsnivå leder ofta till lägre utsläpp per producerad enhet.

Transport av råvaror och drivmedel står ofta för en liten del av miljöpåverkan. Energi och andra insatsvaror, t ex kemikalier, som används i *produktionsprocessen* kan dock ha en avgörande betydelse. Energi- och materialanvändning och därmed växthusgasutsläpp, varierar i hög grad mellan olika typer av produktionsprocesser.

2.2 VÄXTNÄRINGSBALANS

Ökat uttag av biomassa för biodrivmedelsproduktion kan påverka markens växtnärbalans. Vissa biodrivmedelssystem möjliggör recirkulation av bortförda näringsämnen, t ex i en biogasprocess utvinns metan, men all näring finns kvar i rötresten som sedan ofta återförs till åkermark. För etanol baserad på grödor återfinns all näring i dranken, vilken ofta används som djurfoder och därefter hamnar i gödsel och kan återföras till åkermark. I andra processer, som förbränning och förgasning, försvinner allt kväve till atmosfären, men kalium och fosfor återfinns i askan och kan återföras till marken.

2.3 FÖRÄNDRAD MARKANVÄNDNING

Påverkan av biodrivmedelsproduktion kan även omfatta förändrad markanvändning - både *direkt förändrad markanvändning* (eller dLUC efter engelskans direct land use change) och *indirekt förändrad markanvändning* (eller iLUC efter

6. Berndes m fl (2012).



engelskans indirect land use change). Kort sagt är dLUC kopplad till fältet där råvaran till biodrivmedlet odlas, medan iLUC uppstår på annan plats, eftersom en ökad efterfrågan av biodrivmedel leder till en omfördelning av markanvändningen.

Resonemanget kring iLUC är högst teoretiskt och argumenten för iLUC är bara relevanta när man studerar effekten av enskilda sektorer eller produkter som t ex biodrivmedel⁷. Vi kan se ändrad markanvändning runt om i världen, i värsta fall t ex nyodling i tidigare skog eller på värdefull gräsmark. Om vi tittar på det globalt, kan vi däremot inte dela in ändrad markanvändning i dLUC och iLUC. Det är heller inte möjligt att koppla markförändring i exempelvis Sydamerika till en enskild bondes aktivitet i exempelvis Skåne.

Det handlar alltså om marknadseffekter. Det är oerhört komplext att försöka fastställa vad som egentligen händer på olika marknader när biodrivmedel börjar produceras i stor skala och hur detta påverkar markanvändningen i alla berörda länder. En av de dominerande metoderna för att fastställa iLUC är att använda ekonomiska jämviktsmodeller. Resultaten från olika studier varierar i mycket hög grad och det finns många och stora källor till osäkerhet, t ex kan de ekonomiska modellerna inte skilja mellan direkt och indirekt förändrad markanvändning. Andra faktorer som gör resultaten mycket svåra att jämföra är t ex att modellerna har olika startpunkter, olika antaganden om oljepris, markpris, handelspolitik etc. och olika hantering av spatial upplösning, marktyper, avskogning, förändringar i markkol, inkludering av lustgas och tidsperspektiv.

Teorin om indirekta effekter är naturligtvis även applicerbar på drivmedel baserad på lignocellu-

losaråvaror från jord- och skogsbruk och även för fossila drivmedel. De flesta studier som gjorts om iLUC berör dock drivmedel baserade på grödor. Indirekt förändrad markanvändning (iLUC) och därtill kopplade negativa och positiva hållbarhets-effekter är viktiga att ta i beaktande vid diskussion om politiska satsningar på biodrivmedel. Utöver stor osäkerhet finns dock också betydande frågetecken kring huruvida det går att lagstifta för att undvika indirekta effekter, via exempelvis införandet av iLUC faktorer. Andra alternativ är att arbeta med internationella avtal som reglerar all markanvändning eller införa en global skatt på koldioxidemissioner där även markemissioner ingår. Enskilda länder kan också agera genom att bara köpa biodrivmedel från länder som redovisar LUC-emissioner och har en ansvarsfull skogspolitik.⁸

2.4 HÅLLBARHETSKRITERIER

Det finns ett antal nationella och internationella regelverk för att säkerställa hållbarheten hos biodrivmedel. Till exempel har vi i EU Förnybarhetsdirektivet (Renewable Energy Directive, RED) och Bränslekvalitetsdirektivet (Fuel Quality Directive, FQD) och i USA finns "Renewable Fuel Standard". Det finns också många olika frivilliga certifieringssystem, som till exempel "Round Table of Sustainable Fuels". Generellt behandlas utsläppen av växthusgaser, biologisk mångfald och socioekonomiska aspekter i många av systemen, medan indirekt markanvändning liksom sociala hållbarhetskriterier oftast inte inkluderas. Det finns dock en ISO-standard (International Standardisation Organisation) med ett ramverk för att utvärdera bredare hållbarhetsaspekter av bioenergi, där miljö, sociala och ekonomiska aspekter ingår (ISO 13065:2015 Hållbarhetskriterier för bioenergi). Här ingår t ex påverkan på så skilda saker som växthusgaser, biodiversitet, energieffektivitet, vatten-

7. Samma argument gäller också för ökad efterfrågan på t ex mat, men forskning kring iLUC har hittills bara fokuserat på biodrivmedel. När mark byter användning fås också en rad effekter, såväl sociala, ekonomiska som miljömässiga. Debatten, politiken och de vetenskapliga studier som publiceras inom ämnet har dock ett starkt fokus på växthusgaser.

8. Ahlgren & Börjesson (2011).

användning, mänskliga rättigheter och ekonomisk hållbarhet. För vissa av dessa kategorier finns väl utvecklade indikatorer, medan standarden är mindre detaljerad för andra.

Hållbarhetskriterier inom EU

I EU:s förnybarhetsdirektiv (RED) finns krav på att biodrivmedel för att klassas som godkänt hållbara måste minska utsläppen av växthusgaser med en viss procent jämfört med en fossil referens. För äldre biodrivmedelsanläggningar måste minskningen idag vara minst 35%, men kravet ökar år 2018 då minskningen måste vara minst 50%. För nya anläggningar (i drift efter oktober 2015) är kraven hårdare, minskningen måste för dessa vara minst 60%.

Dessutom finns andra hållbarhetskrav i direktivet. Råvaror för produktion av biodrivmedel får inte tas från urskog, skyddade naturområden eller gräsmarker med hög biodiversitet. Mark med högt kolinnehåll (som våt- eller torvmarker) kan bara användas förutsatt att markanvändningen inte ändrats sedan 2008.

Mellan 2012 och 2015 pågick diskussioner om revision av hållbarhetsdirektivet. Dessa resulterade hösten 2015 i ett särskilt direktiv med bestämmelser om indirekt markanvändning. Kontentan av detta var att målet om 10% förnybart i transportsektorn får uppfyllas till max 7% av biodrivmedel från livsmedelsgrödor, att biodrivmedel från vissa råvaror klassas som avancerade biodrivmedel och får räknas dubbelt mot måluppfyllnaden samt att utsläpp från indirekt markanvändning ska redovisas (baserat på iLUC-faktorer i särskild lista), men att dessa utsläpp inte inkluderas för uppfyllandet av kriterierna ovan⁹.

I direktivet ges särskilda anvisningar för beräkningen av växthusgasutsläpp. Under vissa förutsättningar kan de normalvärden som anges i direktivet användas, eller så måste faktiska värden beräknas, eller en kombination av de två.

Fördelning av de totala utsläppen mellan produkter, vid samtidig produktion av fler än en produkt (s.k. allokering), baseras enligt RED på produkternas lägre värmevärde. Avfall och skörderester som t ex halm, bagass och skal, anses dock ha värdet noll när det gäller växthusgasutsläppen över en livscykel (fram tills dessa material samlas in). Koldioxid från biobaserade produkter (i förbränningssteget) sätts till noll och anses alltså inte ha någon klimatpåverkan.

Flera av de frivilliga certifieringssystemen är kopplade till RED, vilket innebär att ett företag kan ansluta sig till ett av EU godkänt certifieringssystem för att bevisa att de uppfyller hållbarhetskraven som krävs i direktivet.

2.5 PROAKTIVA ÅTGÄRDER FÖR ÖKAD HÅLLBARHET

Biodrivmedels hållbarhetsprestanda kan förbättras genom proaktiva åtgärder, som t ex effektivare processer, bättre utnyttjande av biprodukter, ändrad energianvändning osv. Den kan också förbättras genom åtgärder för att minska konkurrensen om mark och potentiella iLUC-effekter. Potentialen beror inte bara på utvecklingen inom energi- och drivmedelsektorerna, utan också på befolkningstillväxt, diet, produktionsökningar inom jord- och skogsbruk, andel skyddade naturområden samt utveckling av policy inom jord- och skogsbruk¹⁰.

9. Europaparlaments- och rådsdirektiv (EU) 2015/1513, 9 September 2015, publicerat i "EU Official Journal (L 239)". Informationen i detta stycke har uppdaterats jämfört med huvudrapporten.

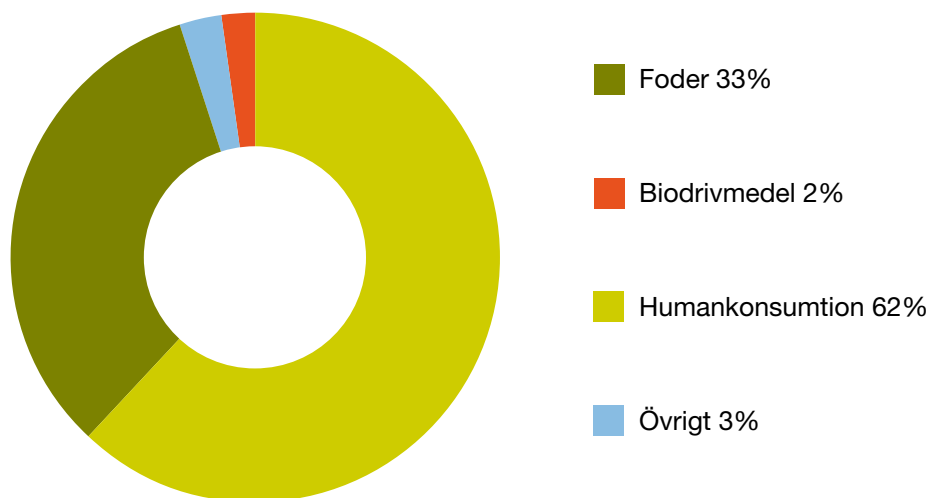
10. Smith m fl (2010).

Några åtgärder som kan bidra till att öka bioenergi-användningen utan att öka konkurrensen om mark är:

- Användning av avfall, restprodukter eller andra icke markkrävande råvaror (t ex alger).
- Öka biomassaproduktionen på redan odlad mark, genom nya växtsorter, kemiska bekämpningsmedel, handelsgödsel, mekanisering, bevattning etc.
- Använd outnyttjad mark, som övergiven jordbruksmark och marginalmark samt trädesmark¹¹.
- Minska andelen producerad biomassa som kasseras, försämrats eller angrips av skadedjur. Idag kasseras ungefär en tredjedel av alla producerade livsmedel¹².

- Ändra diet och minska köttkonsumtionen, vilket skulle kunna frigöra nästan en femtedel av de globala jordbruksarealerna.

En generell slutsats i litteraturen är att det finns utrymme att öka produktionen av bioenergi och biodrivmedel och samtidigt minimera effekterna på jordbruksmarknader och livsmedelsproduktion (se Figur 3). Vi använder idag en väldigt liten del av den odlade marken till biodrivmedel, men så är också andelen biodrivmedel i transportsektorn (globalt) bara 3%¹³. Med ökande befolkning, ökar naturligtvis risken för att mark blir en bristvara, vilket skulle kunna leda till större konkurrens och miljöpåverkan.



Figur 3. Global fördelning av åkermark (dvs permanenta gräsmarker för bete inte medräknat (från litteratursammanställning i Hallström m fl, 2011).

11. I Sverige uppskattar jordbruksverket t ex att det finns 100 000 hektar övergiven (tidigare odlad) jordbruksmark och den totala mängden trädesareal inom EU var enligt Eurostat 8,7 miljoner hektar år 2009 (SJV, 2009; Eurostat, 2013).

12. Enligt FAO (2006), enligt Foley m fl (2011) är det ca hälften.

13. GEA (2012); IEA (2011).

KAPITEL 3

Biomassa med betydande potential

IPCC har gjort en sammanställning av studier som försöker uppskatta den globala potentialen för bioenergi¹⁴:

- Uppskattningarna av den tekniska potentialen för bioenergi från jordbruk, skog och avfall varierar i sammanställda studier mellan 50 och 1000 EJ/år.
- Inklusive ekologiska och ekonomiska restriktioner bedöms biomassa kunna bidra med mellan 120 och 155 EJ/år (primärenergi) till energisystemet runt år 2050.
- Som jämförelse motsvarar idag världens totala energianvändning ca 475 EJ/år (130 milj. TWh) och den mängd energi som skördas som mat, foder och fibrer 219 EJ/år.

I en annan sammanställning dras slutsatsen att om 50% av den ekonomiska bioenergipotentialen skulle användas till biodrivmedel, skulle detta kunna täcka 25-30% av globala drivmedelsbehovet¹⁵.

I dessa potentialer ingår inte biomassa från alger. Odling av alger motiveras av möjligheten att uppnå hög produktivitet per markyta samt att ej produktiv mark och vattenresurser av låg kvalitet (t ex förorenat vatten eller saltvatten) kan användas. En global potential har bedömts till flera hundra EJ för mikroalger och flera tusen för makroalger, men det finns stora osäkerheter. Dessutom återstår många tekniska och ekonomiska utmaningar, vilka gör att ett betydande bidrag från alger ses som realiserbart först på längre sikt¹⁶.

14. Edenhofer (2011).

15. Akhurst m fl (2011).

16. Bauen m fl (2009).

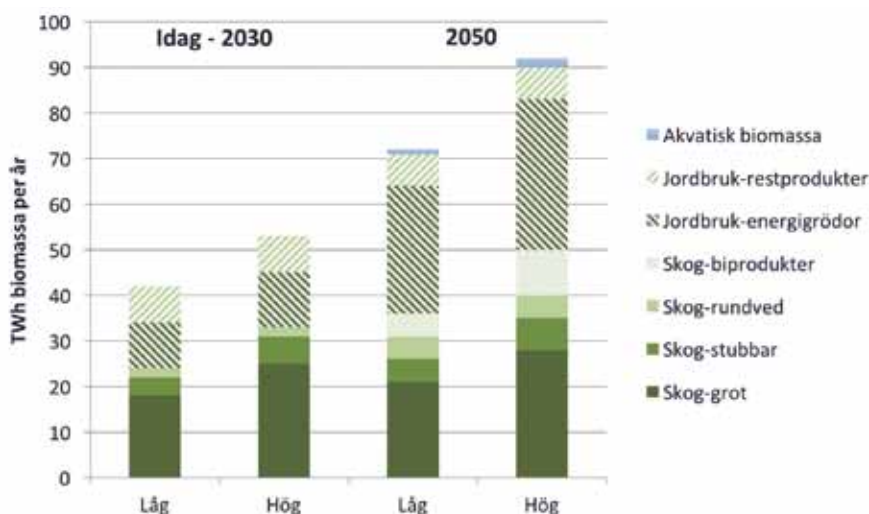
17. Potentialbedömningarna i nedanstående stycke baseras på en uppdaterad bedömning jämfört med huvudrapporten från 2013, framförallt avseende potentialen för stubbar och tillgången av jordbruksmark för energiodling i ett långsiktigt perspektiv, se vidare Börjesson P (2016), Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi, Rapport nr 97, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet, Lund.

18. I denna potential ingår inte restprodukter från skogsindustrin (t ex svartlut), eftersom dessa till övervägande del skulle behöva ersättas med annan biomassa vid en övergång till drivmedelsproduktion.

3.1 SVENSK BIOMASSAPOTENTIAL

Den svenska potentialen för ökat biomassauttag från jord- och skogsbruk kan sammanfattas på följande sätt utifrån uppdaterade bedömningar (se Figur 4):¹⁷

- De mest aktuella potentialuppskattningarna visar att biomassaproduktionen kan öka med cirka 40-50 TWh/år under dagens förutsättningar, inklusive tekniska restriktioner och i huvudsak ekologiska och ekonomiska restriktioner samt utan att direkt konkurrera med annan jordbruks- och skogsproduktion.
- Dessa mängder biomassa kan generera cirka 22-32 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 biomassapotentialen kunna öka med cirka 70-90 TWh/år, bl a genom ökad skogsproduktion pga klimatförändringar, ökad andel tillgänglig jordbruksmark för energiodlingar samt generella produktivetsförbättringar.
- En stor del av potentialen finns i skogsbaserad råvara, t ex olika former av avverkningsrester som grenar och toppar (GROT) samt klen stamved. En viss skörd av stubbar är möjlig, men begränsas av hårdare ekologiska restriktioner. En betydande del biomassaråvara kan också komma från jordbruket i form av skörderester, energigrödor på trädes- och överskottsmark samt snabbväxan-



Figur 4. Uppskattad potential av ökad inhemsk biomassatillförsel från skog, jordbruk och akvatiska system inom tidsperspektivet från idag till 2050 (baserat på Börjesson, 2016).

de lövträd på nedlagd jordbruksmark. Dessutom kan en ökad mängd avfall och restprodukter användas för biogasproduktion.

- Akvatisk biomassa för biodrivmedelsproduktion från odling och skörd av mikro- och makroalger bedöms ge ett marginellt bidrag i Sverige under överskådlig tid, pga begränsade klimatmässiga förutsättningar.

Som jämförelse motsvarar dagens totala årliga skogstillväxt i form av stamved inklusive GROT och stubbar drygt 400 TWh, medan dagens årliga totala uttag av skogsbiomassa ligger kring 200 TWh. Motsvarande total årlig biomassaproduktion inom svensk växtodling ligger kring 75 TWh varav drygt 50 TWh skördas.

Det finns även fler möjligheter till ökad bioenergi-produktion som inte räknats med ovan, t ex en mer anpassad fördelning av jordbruksmark vad gäller grödor och djurhållning, minskat matsvinn samt minskad köttkonsumtion.

Olika studier skiljer sig åt, även jämfört med den sammanställning som gjorts ovan. De har t ex gjorts vid olika tidpunkter, har olika restriktioner samt olika tidshorisonter. En gemensam slutsats är dock att det finns en betydande potential att öka uttaget av biomassa från svenskt jord- och skogsbruk. Potentialen fördelar sig dock olika i landet vilket måste beaktas vid t ex framtida lokalisering av drivmedelsanläggningar.

3.2 ENERGIBALANS OCH VÄXTHUSGASPRESTANDA FÖR RÅVAROR

Olika råvaror från jord- och skogsbruk har olika energibalans och växthusgasprestanda. När det gäller energigrödor varierar skördenivåerna mellan olika geografiska områden i Sverige, men också mellan olika odlingsjordar inom samma område. I övergripande termer ligger energibalansen, uttryckt som energiskörd delat med insatt energi vid odling och transport, ofta kring 10 för traditionella jordbruksgrödor och mellan 20 och 40 för energiskogsodlingar. Uttag av hyggesrester (GROT) har en energibalans kring 40. Detta betyder att energiinnehållet i råvaran är 40 gånger högre än den energi som behövs för odling och transport. Växthusgasprestanda följer till stora delar energibalansen för de olika grödorna och restprodukterna, dvs är energibalansen hög är ofta utsläppen av växthusgaser låga¹⁹.

Andra viktiga faktorer är om grödorna är ettåriga eller fleråriga samt vilken typ av mark som odlingen sker på. Odling av ettåriga grödor på tidigare gräsbevuxen mark kan leda till förluster av markkol, vilket försämrar deras växthusgasprestanda. Om fleråriga energigrödor börjar odlas på gräsbevuxen mark blir däremot markeffekterna marginella och om de börjar odlas på öppen åkermark ökar kolinlagringen i marken, vilket förbättrar deras växthusgasprestanda. När GROT och halm skördas minskar kolhalten i marken något jämfört med när de lämnas kvar, dvs när dessa direkta markeffekter inkluderas försämrar deras växthusgasprestanda något.



19. SOU (2007); Börjesson m fl (2010 och 2012).

KAPITEL 4

WTT-prestanda för biodrivmedel

Nedan görs en sammanfattande jämförelse mellan energibalans, växthusgasprestanda och kostnader för olika biodrivmedelssystem. Dessa jämförelser ska tolkas med stor försiktighet då olika processer och produktionssystem har olika mognadsgrad, där en del är kommersiella medan andra bara finns i pilot- och demonstrationskala eller på försöks- och utvecklingsstadiet. Till exempel har produktionssystem för sockerrörsbaserad etanol utvecklats och expanderat kommersiellt under drygt 30 år, medan biodrivmedelssystem baserade på lignocellulosa är i början av att utvecklas kommersiellt. Detta gör att produktionskostnader, energieffektivitet mm måste uppskattas för en utvecklad och mogen marknad, vilket ger en starkt ökad osäkerhet kring framtida skalfördelar och lärande. Särskilt stor är osäkerheten när det gäller framtida kostnader.

Resultaten baseras på forskningsstudier utgår från systemanalys och som anlägger ett livscykelperspektiv samt avser typisk utformning av respektive processkedja²⁰. Angivna värden kan därför skilja sig betydligt jämfört med dem för specifika, verkliga, produktionsanläggningar, liksom jämfört med de schablonvärden som används inom t ex RED²¹.

4.1 ENERGIBALANS OCH PRODUKTUTBYTEN

Med energibalans för en processkedja avses här hur mycket energi som tillförs utöver den energi som råvaran innehåller (från odling till färdigt bränsle), i relation till drivmedlets totala energiinnehåll. Ett alternativt begrepp är extern energiinsats. Nedan redovisas energibalansen dels exklusive indirekta effekter av alternativ användning av biprodukter från produktionsprocessen, dels inklusive indi-

rekta effekter (systemutvidgning). De indirekta effekterna kan vara både positiva, t ex när rötrest ersätter mineralgödsel genom att recirkulering av näringsämnen till åkermark ökar, eller negativa om produktionsprocessen ändras, t ex så att biprodukter som idag används som foder (t ex fodermjölk, drank och rapskaka) uteblir och måste ersättas med annat foder.

Energibalansen för olika biodrivmedel producerade via olika processkedjor framgår av Figur 5 på nästa sida. Resultaten kan sammanfattas på följande sätt:

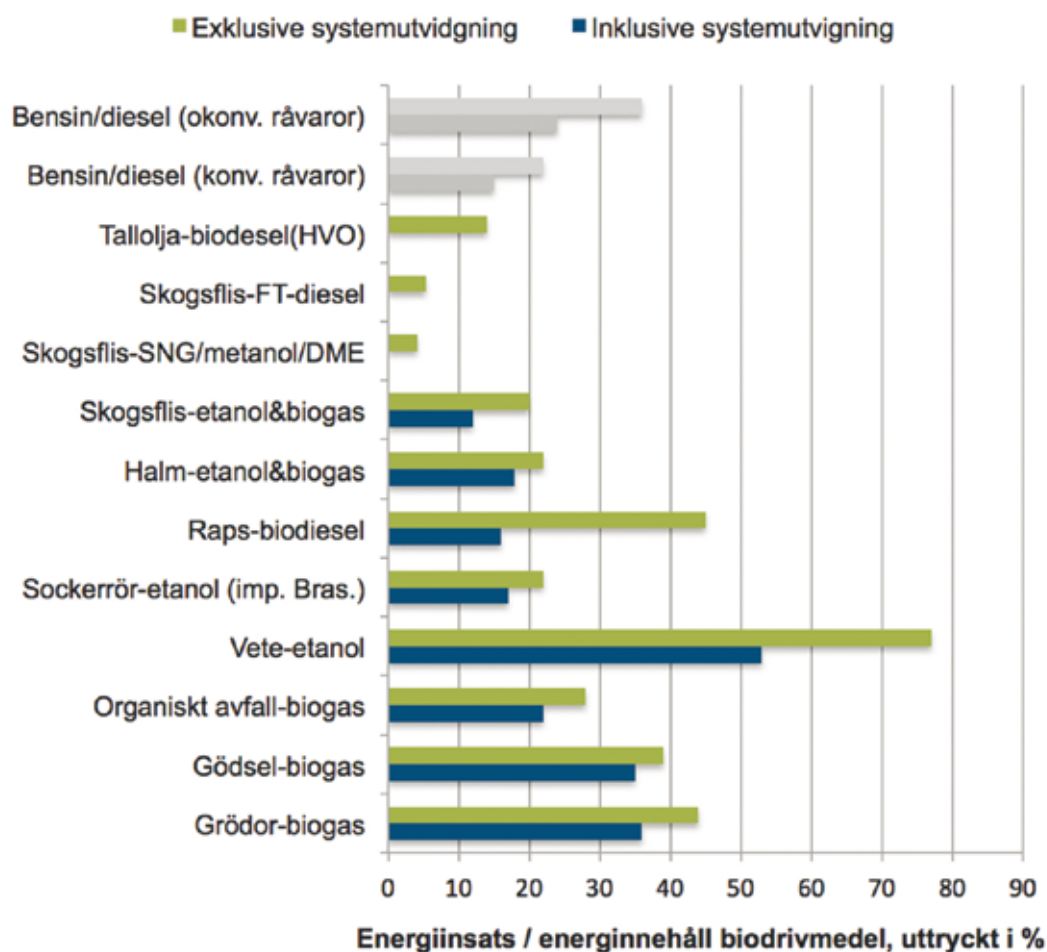
- Energibalansen för fossila drivmedel ligger mellan 15 och 36%.
- Energiinsatsen i biogasproduktion från grödor och gödsel motsvarar 35-40% av biogasens energiinnehåll, och över 50% när biprodukter som idag används som foder utnyttjas som råvara (dvs inklusive systemutvidgning).
- Energiinsatsen i integrerade etanolkombinatsystem baserat på lignocellulosa där också biogas produceras är 15-20%. Ungefär samma energiprestanda har biogas från avfallsprodukter och sockerrörsetanol.
- Energiinsatsen vid RME-produktion ligger kring 15% vid systemutvidgning och kring 45% exklusive systemutvidgning. Rapsmjöl, som är en viktig biprodukt vid RME-produktion, ger en stor indirekt energivinst när den används och ersätter annat proteinfoder. Energibalansen för RME kan jämföras med energibalansen för HVO baserat på raps, vilken uppskattas till 35-40% exklusive systemutvidgning²².

20. Omfattande t ex både standardiserad livscykelanalys och industriell systemanalys, vars metodik skiljer sig åt i vissa avseenden.

21. Totala mängden referenser för detta kapitel är mycket stor, men omfattar för biokemiska processer t ex Lantz m fl (2009, 2012); Börjesson m fl (2009, 2010); Gissén (2012); Palm & Ek (2012); Prade m fl (2012); Tufvesson & Lantz (2012) och för termokemiska processer t ex Andersson m fl (2013); Heyne & Harvey (2013b); Ekbohm m fl (2005, 2012); Fredriksson Möller m fl (2013); Gassner & Maréchal (2009); Johansson m fl (2012); Pettersson & Harvey (2010); van Vliet m fl (2009), se vidare huvudrapporten.

22. HVO/HEFA baserad på solrosolja och palmolja uppskattas ha en energibalans kring 25-30%, exklusive systemutvidgning.

- Spannmålsetanol och etanol från sockerbetor har en energiinsats motsvarande ca 50%. Den är dock lägre om produktionen sker i integrerade anläggningar eller då halm och betblast används som bränsle i processen.
- Den externa energiinsatsen är lägst för lignocellulosabaserade drivmedel via termisk förgasning och motsvarar 4-5% av drivmedlens energiinnehåll när skogsflis utnyttjas som råvara respektive 7-10% när Salix utnyttjas.



Figur 5. Energibalans för produktionssystem för biodrivmedel med och utan systemutvidgning. Som jämförelse visas också energibalans för bensin och diesel när konventionella respektive okonventionella fossila råvaror används.



Positiva indirekta effekter vid systemutvidgning består av ersättning av proteinfoder med de biprodukter som fås från etanolproduktion från grödor, respektive nettoöverskott av el vid produktion av sockerrörsetanol, samt externt utnyttjande av överskottsvärme från etanolkombinat baserade på lignocellulosa. För biodrivmedel producerade från lignobaserade råvaror via termisk förgasning innebär systemutvidgning normalt en liten förändring då nettoöverskott av el och externt användbart överskottsvärme antas vara marginell och utbytet av drivmedel istället maximerats.

När det gäller RME och spannmålsetanol, vilka genererar rapsmjöl/rapskaka respektive drank, försämrar energibalansen om dessa biprodukter inte används som foder, t ex vid en mättad proteinfodermarknad. Å andra sidan kan då dessa biprodukter användas som råvara för att producera biogas. Detta innebär att dessa produktionssystem kan bibehålla en relativt oförändrad energibalans tack vare samproduktion av flytande drivmedel och biogas, istället för flytande drivmedel och foder.

Ett annat sätt att räkna energieffektivitet för olika biodrivmedelssystem är att bestämma produktutbytet i andel av tillförd biomassa. Vid biodrivmedelsframställning genereras förutom huvudprodukten också oftast ett antal biprodukter som t ex el, ånga och/eller hetvatten. Även andra produkter kan frigöras, t ex tallolja vid integration av fastbränsleförgasare i massabruk eller naturgas vid integration i oljeraffinaderier. Detta gör att utbytet skiljer sig åt om man enbart tar hänsyn till produktionen av drivmedel eller om man räknar med energivärdet för samtliga produkter (total energiverkningsgrad).

Drivmedelsutbyte och total energiverkningsgrad för olika biodrivmedelssystem kan sammanfattas på följande sätt:

- För förgasningsbaserade drivmedel ger bio-SNG generellt det högsta drivmedelsutbytet (64-70%). Dock är kompressor- och distributionsarbete inte inräknat, vilket innebär ett lägre totalt produktutbyte längs kedjan till tank.
- Bio-metanolproduktion via förgasning ger ett drivmedelsutbyte på 57-67%. Bio-DME produceras via dehydrering av metanol, och får normalt sett något lägre utbyte (56-66%).
- FT-bränslen ger lägre utbyten (50-57%) än de ovan nämnda drivmedlen. FT-syntes resulterar dock i minst två olika produkter (syntetisk diesel och FT-vax). Om endast utbytet av syntetisk diesel tas i beaktande, blir produktutbytet lägre²³.
- Etanol via fermentering av syntesgas ger det i särklass lägsta drivmedelsutbytet (ca 25%).
- För kombinerad biokemisk produktion av etanol och biogas, baserad på lignocellulosa, varierar det totala drivmedelsutbytet mellan ca 40% (om endast etanol produceras) och ca 65%.
- Den totala energiverkningsgraden är generellt sett som högst för industriellt integrerade bio-bränsleförgasare, i synnerhet svartlutsförgasning, som ger de högsta verkningsgraderna för de flesta typer av biodrivmedel.
- Kombinerad produktion av etanol och biogas medför också höga totala verkningsgrader, särskilt om denna baseras på skogsflis eller hampa.
- Fristående anläggningar ger generellt lägre totala energiverkningsgrader (särskilt har etanolproduktion via förgasning mycket låg effektivitet).

23. Data för produktion av metanol, DME och FT-diesel är uppdaterade jämfört med huvudrapporten. Nya data är hämtade från Hannula, I & Kurkela, E (2013), *Liquid transportation fuels via large-scale fluidised gasification of lignocellulosic biomass*, VTT Technology 91, Finland.

Det finns fler olika sätt att beräkna energisystem-verkningsgrader. Om produktionssystemet innefattar olika typer av produktflöden och energiformer kan omräkning till så kallade el-ekvivalenter användas vid jämförelse av olika system. Detta för att också ta hänsyn till att de olika energibärarna har olika kvalitet. För vissa produktionsfall där nettoelbalansen försämras (t ex fall baserade på svartlutsförgasning) medför den metoden en relativt sett lägre verkningsgrad. Slutsatsen att industriellt integrerade system, i synnerhet svartlutsförgasning, är mest effektivt för produktion av biodrivmedel, kvarstår dock.

4.2 VÄXTHUSGASPRESTANDA OCH ÅKERMARKS-EFFEKTIVITET

Växthusgasprestandan för olika biodrivmedels-system har beräknats dels enligt regelverket i RED och dels baserat på ISO-standarden för livscykelanalys²⁴, vilken förordar en beräkningsmetodik som tillämpar systemutvidgning. Det senare innebär att både positiva och negativa effekter av produktion av biprodukter tas hänsyn till i beräkningen. Dessutom inkluderas direkta markanvändningseffekter (dLUC) vid systemutvidgning, men däremot inte indirekta markanvändningseffekter (iLUC).

Växthusgasprestanda för olika biodrivmedel producerade från olika processkedjor framgår av Figur 6 på nästa sida. Resultaten kan sammanfattas på följande sätt:

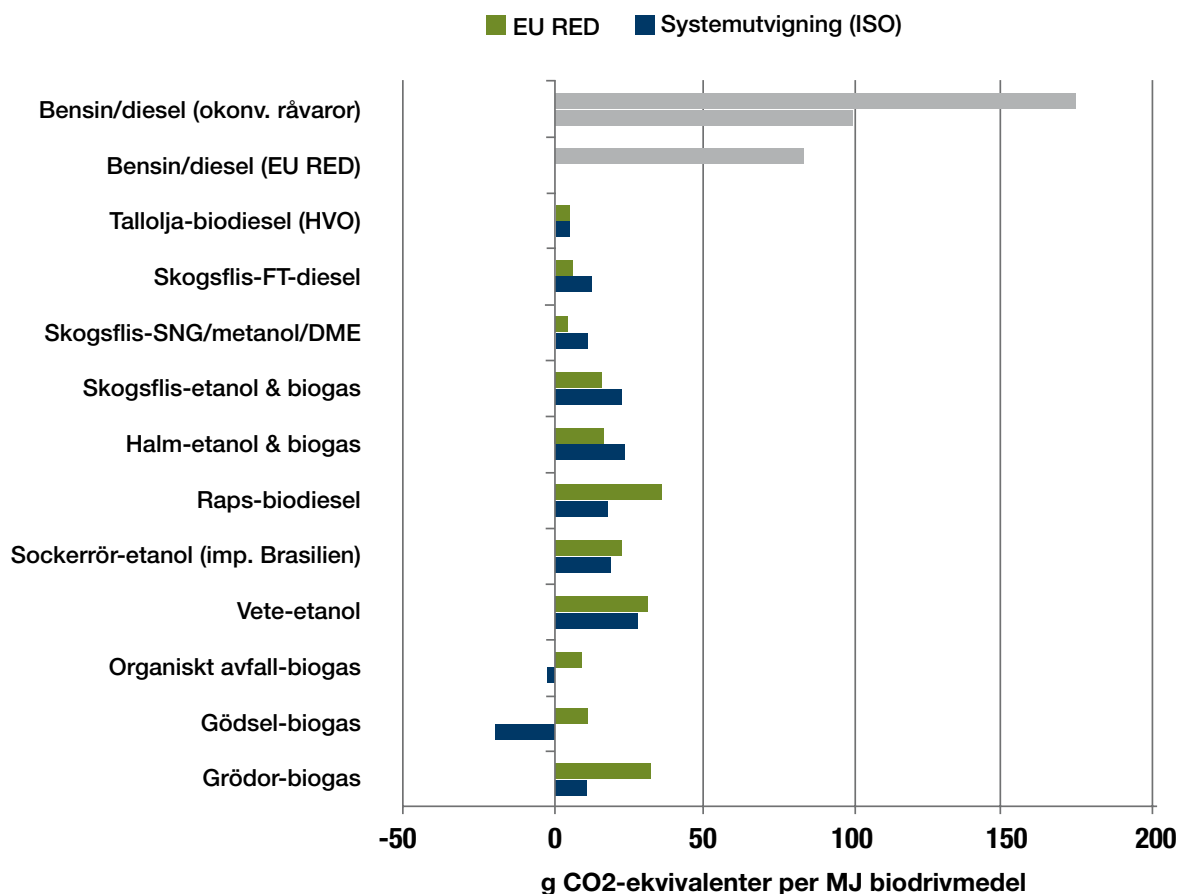
- Enligt RED är utsläppen av växthusgaser från fossila drivmedel (bensin och diesel) i genomsnitt cirka 84 g CO₂-ekvivalenter per MJ idag varav cirka 13-16% utgör utsläpp från utvinning, raffinering och transport.
- Om nya, okonventionella, fossila råvaror börjar användas för drivmedelsproduktion, t ex skiffer-

gas, oljesand och kol, kan bränslecykelutsläppen av växthusgaser öka med upp till 100%.

- Beräkningar baserade på systemutvidgning visar att biogas från gödsel och avfall ger störst reduktion av växthusgaser. Utsläppen är ofta negativa, tack vare indirekta växthusgasvinster från minskade metanemissioner från konventionell gödsel-lagring respektive ersättning av mineralgödsel. Enligt RED uppgår de till mellan 7 och 15 g CO₂-ekvivalenter per MJ upptraderad biogas.
- Biodrivmedel baserade på förgasning, HVO från tallolja, biogas från vallgrödor och kombinerad etanol- och biogasproduktion från lignocellulosa ger en reduktion av växthusgaser på 80-95%.
- Reduktionen av växthusgaser för HVO från animaliskt fett, RME, sockerrörsetanol, biogas från grödor och vetebaserad etanol ligger på 65-80%, inklusive indirekta vinster från biprodukter.

När systemutvidgning tillämpas förbättras växthusgasnyttan för etanol från grödor och för RME, tack vare indirekta vinster från de foderbiprodukter som genereras. Växthusgasnyttan kan öka ytterligare om t ex koldioxid som genereras vid etanolproduktion avskiljs och lagras. Däremot försämras växthusgasprestanda något för drivmedel baserade på halm och skogsflis, pga att skörd av dessa restprodukter minskar halten markkol något.

Drivmedelsutbytet per hektar och år för olika produktionssystem är särskilt relevant för diskussionen om direkta och indirekta markanvändningseffekter vid produktion av biodrivmedel från råvaror odlade på åkermark – där höga åkermarksutbyten naturligtvis minskar risken för t ex iLUC.



Figur 6 Växthusgasprestanda för produktionssystem för biodrivmedel beräknat enligt metodiken i EU's Renewable Energy Directive (RED) respektive i ISO-standarden för livscykelanalys (systemutgivning). Som jämförelse visas också växthusgasprestanda för bensin och diesel enligt RED:s jämförelsevärde, respektive om okonventionella fossila råvaror används²⁵.

25. En viktig faktor för biogasens växthusgasprestanda är hur stora de "ofrivilliga" utsläppen av metan är. Beräkningarna baseras här 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% upp till 3%, men där enskilda anläggningar kan ha ännu högre utsläpp.

Högst drivmedelsutbyte per hektar åkermark och år, cirka 160 GJ, har etanol från sockerrör (producerad i Brasilien) och biogas från sockerbetor (inklusive blast). Därefter kommer SNG via förgasning av Salix och kombinerad etanol- och biogasproduktion från Salix i etanolkombinat, cirka 120 GJ. Det finns ett flertal system som genererar omkring 100 GJ drivmedel per hektar och år, 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 genererar ungefär 80 GJ drivmedel per hektar är biogas från vete och vall, metanol och DME från hybridasp samt FT-diesel från Salix. Etanol från vete genererar knappt 70 GJ och RME från raps knappt 50 GJ drivmedel per hektar och år. Dessa system genererar dock också knappt 1 ton protein per hektar och år vilket ger en indirekt åkermarksbesparing genom att behovet av proteinfoderodling minskar. Om denna indirekta markbesparing inkluderas förbättras åkermarkseffektiviteten för spannmålsetanol och RME betydligt.

Reduktionen av växthusgaser per hektar och år för olika åkermarksbaserade biodrivmedelssystem kan i stor utsträckning relateras till drivmedelsutbytet per hektar och år, där en nivå på 100 GJ/ha, år grovt motsvaras av 7 ton CO₂-ekv./ha, år. En skillnad är att biodrivmedel baserade på energiskog ökar sin växthusgasnytta i jämförelse med biodrivmedel baserade på traditionella grödor.

4.3 PRODUKTIONS- OCH DISTRIBUTIONSKOSTNADER

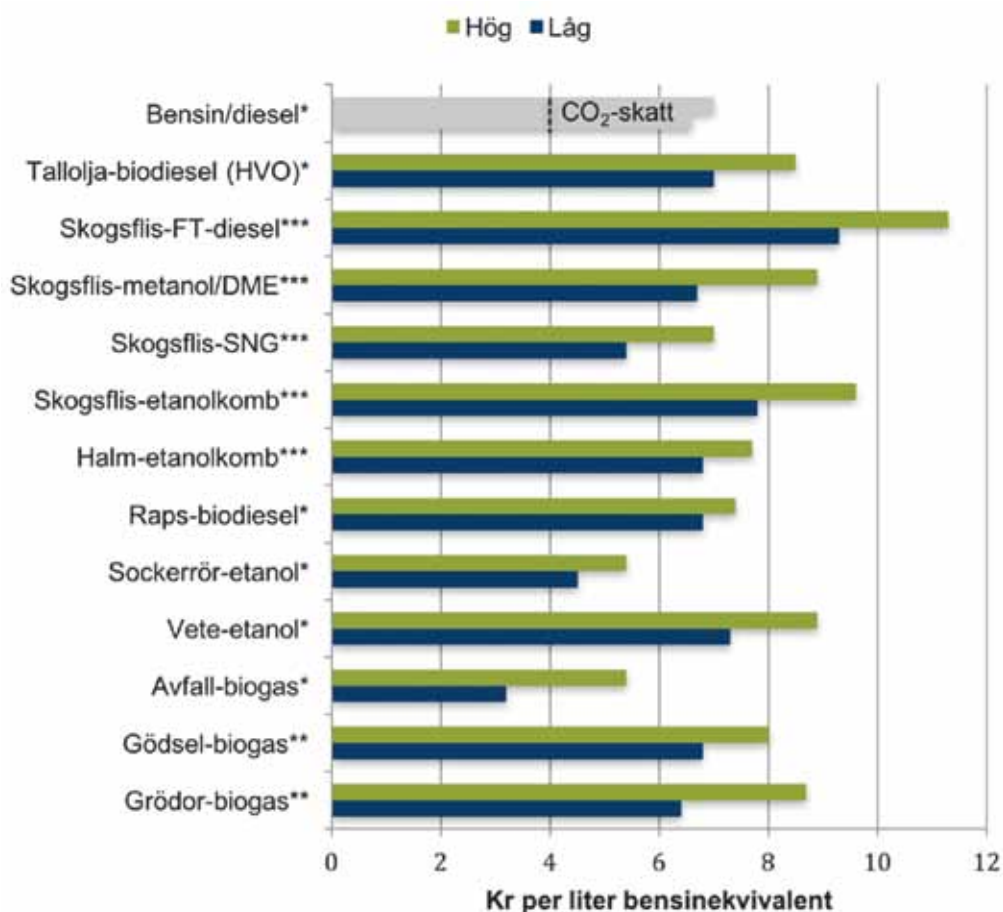
Jämförelser mellan produktionskostnader för existerande biodrivmedelssystem och de som ännu inte finns i kommersiell skala ska tolkas med stor försiktighet, eftersom osäkerheten är stor, framför allt för framtida kommersiella anläggningar.

Uppskattade produktionskostnader för biodrivmedel producerade från olika processkedjor framgår av Figur 7 på nästa sida, och kan sammanfattas på följande sätt:

- Produktionskostnaden för bensin och diesel bedöms ligga kring 4 SEK per liter idag (2016). Inklusive svensk koldioxidskatt blir kostnaden cirka 7 SEK per liter²⁶.
- Produktionskostnaden för brasiliansk sockerrörs-etanol, inklusive transport till Europa, bedöms ligga kring 5 SEK per liter bensinekvivalenter idag.
- Uppgraderad biogas baserad på restprodukter och avfall bedöms normalt kosta under 5 SEK per liter bensinekvivalenter att producera.
- Produktionskostnaden för spannmålsetanol och RME beräknas ligga omkring 7 SEK per liter bensinekvivalenter, liksom uppgraderad biogas från grödor respektive flytgödsel.
- För biobaserad fordonsgas från gödsel och restprodukter är investeringskostnaden av störst betydelse, medan råvarukostnad och pris för bi-produkter är viktigast för spannmålsetanol, RME och biogas baserad på grödor.
- Framtida produktionskostnader för drivmedel från lignocellulosa producerade via förgasning respektive i etanolkombinat uppskattas också ligga kring 7-8 SEK per liter bensinekvivalenter för de mest kostnadseffektiva processkoncepten. Förgasning av svartlut bedöms ge lägre produktionskostnader²⁷.
- SNG bedöms ha något lägre produktionskostnader, cirka 6 SEK per liter bensinekvivalenter, medan FT-diesel bedöms ha betydligt högre, cirka 10 SEK.
- I drivmedelssystem baserade på lignocellulosa dominerar investeringskostnaden, men förändrade råvarukostnader har också relativt stor betydelse.

26. Uppdaterad bedömning baserad på aktuell oljeprisinivå år 2016.

27. I Figur 6 ingår inte produktionskostnader för biodrivmedel från svartlut via förgasning. Litteraturen visar dock att produktion av metanol, DME och FT-diesel via svartlutförgasning innebär lägre kostnader än om fast biobränsle förgasas (se vidare huvudrapporten).



Figur 7. Uppskattade produktionskostnader för olika biodrivmedelssystem, uttryckt som kr per liter bensinekvivalent. 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 osäkerhet²⁸. Som jämförelse redovisas även uppskattad produktionskostnad för bensin och diesel inklusive CO₂-skatt (2016-års kostnadsläge).

28. För att öka jämförbarheten i produktionskostnader för biodrivmedel från lignocellulosa baseras dessa i Figur 7 på studier som så långt möjligt bygger på jämförbara förutsättningar, svenska förhållanden samt är aktuella, t ex avseende uppdaterade råvarukostnader (Börjesson m fl, 2013, Ekbom et al, 2012). För förgasning innebär detta att resultat från framför allt en studie har använts som bas (Ekbom et al, 2012). Därtill har ett osäkerhetsintervall adderats (låg respektive hög stapel) för att spegla möjliga skillnader i processutformning och produktutbyte.

Skillnaderna i skala mellan olika produktionssystem är väldigt stora, från biogasanläggningar på 5-7 MW till förgasningsanläggningar på 200-300 MW, och med övriga anläggningar däremellan. Investeringskostnaderna kan därmed skilja mellan t ex 60-70 miljoner SEK för en biogasanläggning upp till 4-6 miljarder SEK för en storskalig förgasningsanläggning och den finansiella risken för en investerare i en förgasningsanläggning blir därmed 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 svartlutsförgasning. Ju större de finansiella och teknologiska riskerna är, ju större riskkompensation krävs normalt från en investerares sida.

Drivmedlens fysikaliska egenskaper påverkar också distributionskostnaderna till slutanvändare samt hanteringen vid tankstation. Generellt kan man säga att vätskeformiga bränslen har lägre distributionskostnader än gasformiga. Detta gäller dock

inte om infrastruktur i form av gasledningar finns tillgängliga. Då erhålls betydligt lägre distributionskostnader för gasformiga bränslen.

En grov uppskattning av kostnaden för distribution och tankstationer för bensin och diesel är 1-1,5 SEK per liter. FT-diesel och inblandade biodrivmedel bedöms ligga på i princip samma nivå. Metanol och etanol bedöms ha cirka 20-30% högre kostnader, pga lägre energidensitet i dessa bränslen. DME har liksom SNG högre kostnader och det har gjorts en uppskattning om ca 2 SEK per liter för SNG. Kostnaderna för DME-distribution är svårare att uppskatta då nya system behövs. Vätgas är slutligen det mest utmanande bränslet att distribuera och lagra.

Även energitillförseln för att distribuera drivmedel skiljer sig åt. Energibehovet för distribution av flytande drivmedel är ca 1% av drivmedlets energiinnehåll, medan det för metan och vätgas krävs el (för kompression etc) motsvarande ca 3 respektive 6% av drivmedlens energiinnehåll²⁹. Nedkylning av vätgas till flytande form ger en energiförlust på cirka 30% av vätgasens innehåll³⁰.

29. För biogas har dock denna energiinsats inkluderats i beräkningarna ovan.

30. Concawe (2007) och Vätgas Sverige (2013).

BILAGA 1

Anläggningar för biodrivmedelsproduktion i Sverige

Nedan sammanställs befintliga pilot-, demonstrations- och kommersiella anläggningar för biodrivmedelsproduktion i Sverige, år 2016, utifrån för författarna tillgänglig information. Dessutom pre-

senteras ett urval av anläggningar som idag befinner sig på planeringsstadiet. Utöver dessa finns planer för ytterligare kanske 5-6 större anläggningar, dock inga med i dagsläget specificerade startår.

TERMOKEMISKA ANLÄGGNINGAR

Befintliga pilot- och demonstrationsanläggningar				
Anläggning	Teknik	Råvara	Produkt(er)	Status
LTU Green Fuels, demonstration	Trycksatt (30 bar) medströmsförgasning 3 MW bränsle	Svartlut, pyrolysvätska	DME syntesanläggning, kapacitet 4 ton/dag; Metanol	Startår 2005. I drift (>26 000 timmar)
GoBiGas, Göteborg, demonstration	Indirekt förgasning, 20 MW producerad gas	Träpellets (skogsflis från mars 2016)	SNG till gasledning	Startår 2014. Förgasning >4000h under 2015.
PEBG, SP ETC/BioGreen, Piteå, pilot	Trycksatt (15 bar) medströmsförgasning 1 MW bränsle	Pellets	Syngas	Försökskampanjer utförs regelbundet
Chalmers, Göteborg, pilot	Indirekt förgasning (atmosfärisk bubblande fluidiserad bädd), 2 MW	Pellets	Syngas	Startår 2007 Försökskampanjer utförs regelbundet
WoodRoll, Köping, pilot	Indirekt förgasning, 500 kW bränsle	Träflis	Ren syngas	Startår 2015 (integrerat).

Planerade anläggningar				
Anläggning	Teknik	Råvara	Produkt(er)	Status
GoBiGas, Göteborg, Etapp 2, kommersiell	Indirekt förgasning, 80-100 MW	Skogsbränsle	SNG	Nedlagt
RenFuel, Bäckhammar, pilot	Depolymerisering och hydrering av sulfatlignin, 9 ton bränsle/dygn	Lignin från svartlut	Ligninolja => förnybar diesel/bensin	Drifftagning början av 2017
SCA, Umeå, pilot	Depolymerisering och hydrering av sulfatlignin	Lignin från svartlut	Ligninolja => förnybar diesel/bensin	Drifftagning under 2017
Chemrec/Domsjö Örnsköldsvik	Trycksatt medströmsförgasning	Svartlut	Ca 960 GWh/år DME eller metanol	Nedlagt

BIOKEMISKA ANLÄGGNINGAR

Befintliga kommersiella anläggningar

Anläggning	Teknik	Råvara	Produkt(er)	Status
Lantmännen Agroetanol, Norrköping,	Fermentering	Spannmål, restprodukter (stärkelse)	Etanol (260 000 m ³ /år, ca 1 535 GWh/år)	Kommersiell drift
Aditya Birla, Örnsköldsvik	Fermentering	Restprodukter från sulfitmassaproduktion	Etanol (15 000 ton/år totalt)	Driftstart 1940. Liten andel för drivmedel.
Totalt 277 anläggningar runt om i Sverige	Rötning (277 st) och rening (59 st)	Hushållsavfall, avloppsvatten etc.	Biometan (1 784 GWh/år totalt)	Kommersiell drift. 57% uppgraderas till drivmedel.
Etanolix 2-0, St1, Göteborg	Fermentering	Matavfall	Etanol (kapacitet 5 000 m ³ /år)	Invid juni 2015.

Befintliga pilot- och demonstrationsanläggningar

Anläggning	Teknik	Råvara	Produkt(er)	Status
Sekab/SP (Biorefinery Demo Plant)	Fermentering	Cellulosa av olika typ	Etanol (kapacitet 500 liter/dag)	Invid 2004. Totalt 50 000 timmars drift
PDU, Lund Universitet	Förbehandling och fermentering	Cellulosa av olika typ	Etanol (20-100 liter/dag) S	Försökskampanjer utförs regelbundet

Planerade anläggningar

Anläggning	Teknik	Råvara	Produkt(er)	Status
Network Biogas, Karlshamn	Rötning och rening	Spannmål/ cellulosa	SNG (inledningsvis 970 GWh/år, därefter stegvis utbyggnad till det dubbla)	Planerad start för huvudanläggning i Karlshamn, 2016.

OLEOKEMISKA ANLÄGGNINGAR

Befintliga kommersiella anläggningar				
Anläggning	Teknik	Råvara	Produkt(er)	Status
SunPine/Preem	Produktion av råtalldiesel hos Sunpine och slutlig hydrering vid Preems raffinaderi.	Tallolja (restprodukt från massabruk)	Förnybar diesel och bensin (HVO)	Start 2010. Kapacitet 100 000 m ³ /år (Sunpine och Preem), från 2015 200 000 m ³ /år (Preem)
Perstorp, Stenungsund	Esterifiering	Rapsolja, biometanol	RME (150 000 ton/år).	Startår 2007. För låginblandning och B100
Energigårdarna, Karlshamn	Esterifiering	Rapsolja	RME (500 GWh/år)	Startår 2006

BILAGA 2

Biodrivmedelsanläggningar internationellt

Nedan tas några exempel på nyligen byggda större anläggningar för produktion av biodrivmedel upp, vilka illustrerar viktiga internationella utvecklingsvägar under de senaste åren. Exempelen avser enbart produktion som bygger på tidigare ej kommersiell teknik, dvs produktion baserad på andra processkedjor än rötning, produktion av FAME genom esterifiering, eller fermentering av socker- eller stärkelsebaserade råvaror.

Termokemisk omvandling

Inom förgasning av lignocellulosa är, förutom Sverige, till exempel Kanada och Österrike framgångsrika. Bland få exempel på större produktionsanläggningar märks:

- Enkern, Alberta, Kanada, med förgasning av avfall för produktion av etanol och metanol (38 miljoner liter/år) och driftsstart sent 2015, vilken bygger på samma teknik som i demonstrationsanläggningen i Westbury (i drift sedan 2009).

Biokemisk omvandling

Fermentering av cellulosa har utvecklats starkast inom länder med stor konventionell etanolproduktion (Brasilien och USA) och fokuserat på restprodukter från jordbruk (majsblast, bagasse och halm) och tog ett stort steg framåt 2013/2014 då flera storskaliga anläggningar invigdes:

- Royal DSM/Poet, Emmetsburg, Iowa, USA, fermentering av majsblast, kapacitet 75 milj. liter etanol/år, startår 2014
- Raizen/Iogen, Piracicaba, Brasilien, fermentering av bagasse och sockerrörsblast, kapacitet 40 milj. liter etanol/år, startår 2014

- Beta renewables, Crescentino, Italien, fermentering av jordbruksavfall (halm), kapacitet 75 milj. liter etanol/år, startår 2013
- Abengoa, Hugoton, Kansas, USA, enzymatisk hydrolys och fermentering av majsrester, kapacitet 95 milj. liter etanol/år, startår 2014, nedlagd december 2015.

Oleokemisk omvandling

Utbyggnad av oleokemisk omvandling har framförallt inriktats mot produktion av förnybar diesel baserat på hydrering av oljebaserade råvaror (HVO). Störst inom detta område är Neste Oil med anläggningar i Finland, Rotterdam och Singapore och en total produktion på 1,6 milj. ton/år. Exempel på anläggningar:

- UPM, Laapeenranta, Finland, råvara tallolja, hydrering till biodiesel (HVO), kapacitet 120 milj. liter/år, startår 2015
- ENI, Porto Marghera, Italien, råvara vegetabiliska oljor, hydrering till biodiesel (HVO), kapacitet ca 360 000 milj. liter/år, startår 2014.



Partners

BERGVIK SKOG



CHALMERS

**CHALMERS
INDUSTRIOTEKNIK**



VOLVO

Finansiärer

