

UTVÄRDERING AV PRODUKTIONS- KOSTNADER FÖR BIODRIVMEDEL MED HÄNSYN TILL REDUKTIONSPLIKTEN

Rapport från ett f3-projekt

December 2017



Foto: Vladislav Gajic, Adobe Stock ©

Författare:

Erik Furusjö, IVL Svenska Miljöinstitutet

Joakim Lundgren, Bio4Energy/Luleå tekniska universitet

FÖRORD

Denna rapport är resultatet från ett projekt som finansierats av f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. f3 är en nätverksorganisation som fokuserar på utveckling av miljömässigt, ekonomiskt och socialt hållbara förnybara drivmedel och som

- Bidrar med bred, vetenskapligt grundad kunskap som stöd för strategisk planering
- Bedriver systeminriktad forskning kopplad till alla steg i värdekedjan för förnybara drivmedel
- Utgör en plattform för samverkan nationellt, gentemot Horisont 2020 som internationellt inom området förnybara drivmedel.

f3:s parter inkluderar Sveriges mest aktiva högskolor, universitet och forskningsinstitut inom området, liksom relevanta industriföretag. f3 har ingen politisk agenda och ägnar sig inte åt lobbying varken för specifika transportbränslen eller system, eller för parternas enskilda branschintressen.

f3 finansieras gemensamt av centrets parter och Västra Götalandsregionen. Vinnova finansierar f3:s arbete som svensk påverkansplattform gentemot Horisont 2020. Tillsammans med Energimyndigheten finansierar f3 dessutom samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system. Chalmers Industriteknik (CIT) fungerar som värd för centret (se www.f3centre.se).

Författarna vill tacka projektets referensgrupp för värdefulla synpunkter och information. Referensgruppen bestod av:

- Anders Röj, Volvo AB
- Börje Kronström, St1 AB
- Per-Arne Karlsson, St1 AB
- Jonas Lindmark, Energimyndigheten
- Åsa Håkansson, Preem AB

Denna rapport ska citeras enligt följande:

Furusjö, E., Lundgren, J., (2017). *Utvärdering av produktionskostnader för biodrivmedel med hänsyn till reduktionsplikten*. Rapport nr 2017:17, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara transportbränslen. Tillgänglig på www.f3centre.se.

SAMMANFATTNING

Den svenska regeringen föreslog under 2017 att införa en reduktionsplikt för drivmedelsdistributörer. Detta skulle innebära ett krav att minska växthusgasutsläppen från fossil bensin och diesel genom gradvis ökad inblandning av biodrivmedel. Syftet är att skapa bättre förutsättningar att fasa ut fossila drivmedel genom en ökad andel biodrivmedel med låga växthusgasutsläpp i ett livscykelperspektiv. Reduktionsplikten kan innebära att ekonomisk prestanda för en produktionsväg för biodrivmedel inte bara bestäms av dess produktionskostnad, utan också produktens växthusgasutsläpp. Detta eftersom ett biodrivmedel med mycket god växthusgasprestanda kan blandas in i lägre volymer än ett biodrivmedel med sämre prestanda.

Huvudsyftena med föreliggande projekt var dels att illustrera hur växthusgasprestanda hos olika biodrivmedel relateras till deras ekonomiska värde i det nya reduktionspliktssystemet och dels att jämföra kostnaderna för växthusgasreduktion för olika typer av, för Sverige aktuella, biodrivmedel.

Resultaten visar att av de biodrivmedel som finns på marknaden idag erhålls lägsta reduktionskostnaden för biogas producerat via rötning av avfall och sockerrörsbaserad etanol. Biodrivmedel baserade på raps resulterar i de högsta reduktionskostnaderna. Hydrogenerad Vegetabilisk Olja (HVO) produceras idag från flera olika typer av råvaror och därmed erhålls ett stort reduktionskostnadsintervall, främst beroende på råvarans kostnad och växthusgasbelastning.

Biodrivmedel som idag är under utveckling, så kallade avancerade biodrivmedel, har potential att nå lägre reduktionskostnader än många av dagens produktionskedjor. Detta gäller främst biodrivmedel producerat via termokemisk omvandling såsom pyrolys följt av raffinaderiintegrerad uppgradering samt förgasningsbaserad teknik. I de fall där vätgas erfordras för uppgradering av olika typer av biooljor från pyrolys eller lignindepolymerisering föreligger dock stora osäkerheter och reduktionskostnaden beror i hög grad på vätgasens ursprung.

SUMMARY

In the year 2017, the Swedish government proposed to introduce a reduction obligation for transportation fuel distributors. This would imply an obligation to reduce greenhouse gas emissions from fossil petrol and diesel through a gradual increased share of biofuels. The aim is to create improved conditions for phasing out fossil fuels through an increased proportion of biofuels with good greenhouse gas performance in a lifecycle perspective. The reduction obligation also means that not only production cost determines the overall economic performance of a biofuel production route, but also the greenhouse gas emissions. This is due to that biofuels with low greenhouse gas emissions can be blended in lower volumes than biofuels with worse greenhouse gas performance.

The main objectives of this work were partly to illustrate how the greenhouse gas performance of different biofuels relates to their economic value in the new reduction obligation system and partly to compare the resulting cost of greenhouse gas reduction for different types of biofuels.

The results show that of the biofuels available on the market today, the lowest reduction costs were obtained for biogas produced via digestion of waste as well as for sugarcane-based ethanol. Biodiesel based on rapeseed oil results in the highest reduction costs. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) is currently produced from a large variety of feedstocks and thus results in a large reduction cost range, mainly due to the cost and greenhouse gas performance of the feedstock.

Emerging biofuels, so-called advanced biofuels, have the potential to achieve lower reduction costs than many of them produced via today's production chains. This applies primarily to biofuels produced by thermochemical conversion such as pyrolysis followed by refinery-integrated upgrading and gasification-based technology. However, in the cases where hydrogen is required for upgrading of liquids from pyrolysis or lignin polymerization, there are major cost reduction uncertainties, largely due to the origin of the hydrogen.

INNEHÅLL

1	BAKGRUND	7
2	METOD OCH DATAKÄLLOR	9
2.1	PRODUKTIONSKOSTNADER	10
2.2	VÄXTHUSGASUTSLÄPP.....	11
3	RESULTAT OCH DISKUSSION	13
3.1	SAMMANSTÄLLNING AV PRODUKTIONSKOSTNADER OCH VÄXTHUSGASPRESTANDA FÖR UTVALDA BIODRIVMEDEL	13
3.2	REDUKTIONSKOSTNADER.....	17
3.3	ERFORDERLIG BIODRIVMEDELSINBLANDNING	21
3.4	MÖJLIG INVERKAN AV BIODRIVMEDELETS KVALITET	22
4	SLUTSATSER	24
	REFERENSER	25

1 BAKGRUND

Sverige har ambitionen att bli ett av världens första fossilfria välfärdsländer. I Miljömålsberedningens förslag från 2016 är målsättningen att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser senast år 2045 och att transportsektorns utsläpp skall minska med 70 procent till 2030 jämfört med 2010. Idag används totalt ca 95 TWh per år för inrikes transporter, varav fossil bensin och diesel står för ca 72 TWh per år för inrikes vägtransporter (Energimyndigheten, 2017a).

Minskade utsläpp kan ske både genom effektiviseringsåtgärder och ersättning av fossila drivmedel med förnybara alternativ såsom biodrivmedel och el. Sverige ligger redan långt framme i utvecklingen och andelen biodrivmedel i transportsektorn uppgår till ca 19 procent (Energimyndigheten, 2017a), att jämföra med knappt 6 procent som är genomsnittet i EU.

Den svenska regeringen har nyligen lagt fram en proposition avseende en reduktionsplikt. Denna utgör ett krav för bränsledistributörer att för varje kalenderår minska utsläppen av växthusgaser från fossil bensin eller fossil dieselbränsle genom att blanda in biodrivmedel. Huvudsyftet är att skapa förutsättningar för en utfasning av fossila drivmedel genom en ökad andel biodrivmedel med låga växthusgasutsläpp i ett livscykelperspektiv. Till skillnad från nuvarande skattelättnad utgör reduktionskyldigheten inte statligt stöd och är därför inte beroende av EUs tillfälliga godkännanden. En stor fördel med reduktionsplikt är främjandet av biodrivmedel med låga utsläpp av växthusgaser, exempelvis från avancerade biodrivmedel baserade på skogsråvara.

I lagförslaget anges föreslagna reduktionsnivåer för bensin och diesel enligt Tabell 1. En vägledande reduktionsnivå för år 2030 är 40 procent, vilket innebär att inblandningen av biodrivmedel kommer att vara cirka 50 procent bensin och dieselbränsle (Regeringen, 2017).

Tabell 1. Föreslagna CO₂-reduktionsnivåer för bensin och diesel (% på energibasis).

År	Bensin	Diesel
2018	Minst 2,6	Minst 19,3
2019	Minst 2,6	20
2020	4,2	21

I den föreslagna Reduktionsplikten läggs koldioxidskatt på både fossila och biokomponenter drivmedlen med hänsyn till energi- och kolinnehållet. För 2018 sätts skattenivån med hänsyn till kvoten så att den inte påverkar priset vid pumpen för bensin och diesel. På längre sikt, med högre inblandningskvoter, kommer dock drivmedelspriset vid pump sannolikt att öka. Det är svårt att uppskatta hur mycket ökningen kommer att uppgå till, eftersom det bland annat beror på produktionskostnaderna för avancerade biodrivmedel och vilka biodrivmedel och produktionsvägar som kommer att användas för att uppfylla plikten. En relativ stor andel av de 2030 använda drivmedlen kommer troligen att produceras med hjälp av teknik och råvaror som idag inte är kommersiella.

För höginblandning i fossila drivmedel eller rena biodrivmedel, till exempel E85, B100 och biogas, har en fortsatt skattebefrielse föreslagits för att stärka konkurrenskraften hos dessa. Skattebefrielsen kommer sannolikt att behövas för att möta kraven om ökade utsläppsreduktioner i ett längre perspektiv, bland annat på grund av tekniskt motiverade maximala inblandningsfraktioner av biodrivmedel i bensin och diesel.

Den föreslagna reduktionsplikten leder till att olika biodrivmedel kommer att ha olika ekonomiska värden på marknaden eftersom ett biodrivmedel med mycket god växthusgasprestanda kan blandas

in i lägre volymer än ett biodrivmedel med sämre prestanda. Detta innebär att tidigare genomförda ekonomiska analyser av konkurrenskraften för produktion av olika typer av biodrivmedel inte längre gäller, eftersom de oftast inte tar hänsyn till det ekonomiska värdet av minskningen av växthusgasutsläpp.

Huvudmålen med detta projekt var därför att belysa hur växthusgasprestanda hos olika biodrivmedel relateras till deras marknadsvärde vid inblandning i bensin och diesel i det nya reduktionspliktsystemet och att jämföra kostnaderna för CO₂-reduktion för olika typer av biodrivmedel. För detta har en sammanställning av produktionskostnader och växthusgasprestanda för biodrivmedel som potentiellt kan bidra till uppfyllandet av reduktionsplikten 2030 och därefter gjorts. Rapporten diskuterar också kort om drivmedelskvalitetens möjliga påverkan på reduktionskostnaden.

2 METOD OCH DATAKÄLLOR

De inkluderade produktionskedjorna valdes utifrån att de ska kunna ge ett bidrag till uppfyllandet av reduktionsplikten år 2030 och därefter. Tabell 2 visar produktionskedjorna som ingår i studien samt den användning som hög- respektive låginblandning som är relevant. I denna studie behandlas inte specifikt vilka inblandningsnivåer som är aktuella och eventuella ändringar i bränslestandarder mm.

Tabell 2. Inkluderade biodrivmedel – råvaror, produktionsvägar och inblandning i fossila drivmedel.

Biodrivmedel	Råvara	Produktionsväg	Inblandning				Biogas
			Låg i diesel	Hög i diesel [†]	Låg i bensin	Hög i bensin [†]	
Metanol	Skogsflis/GROT	Förgasning			X	X	
DME	Skogsflis/GROT	Förgasning		X			
SNG/biogas	Skogsflis/GROT	Förgasning					X
	Grödor	Rötning					X
	Gödsel	Rötning					X
	Restprod./avfall	Rötning					X
FT-diesel	Skogsflis/GROT	Förgasning	X	X			
HVO-diesel	Tallolja	Hydrering	X	X			
	Avfallsolja**	Hydrering	X	X			
	Slaktavfall	Hydrering	X	X			
	Rapsolja	Hydrering	X	X			
	Palmolja	Hydrering	X	X			
	PFAD	Hydrering	X	X			
FPO/LO-diesel***	Skogsflis/GROT	Pyrolys + HDO*	X				
	Skogsflis/GROT	Hydropyrolys	X				
	Svartlut (BL)/lignin	Lignin-HDO	X				
HVO-bensin	Tallolja	Hydrering			X		
	Avfallsolja (anim+veg)	Hydrering			X		
FPO/LO-bensin***	Skogsflis/GROT	Pyrolys + HDO			X		
	Skogsflis/GROT	Hydropyrolys			X		
	BL/lignin	Lignin + HDO			X		
Etanol	Halm	Fermentering			X	X	
	Skogsflis/GROT	Fermentering			X	X	
	Vete	Fermentering			X	X	
	Sockerrör	Fermentering			X	X	
FAME	Raps	Förestring	X	X			

[†] Med höginblandning avses även rena biodrivmedel såsom HVO100, B100 och DME, * Hydrodeoxygenering,

** Animaliska och vegetabiliska, ***Diesel och bensin från hydrodeoxygenering av ligninolja (LO) och pyrolysolja (FPO)

Vissa produktionskedjor såsom etanol via fermentering av livsmedelsrester och biobränslebaserad produktion av ETBE inkluderades inte på grund av att data för kostnader och växthusgasprestanda saknades. FAME från restolja inkluderades inte heller eftersom vissa av dessa FAME-kvaliteter har för dåliga koldegenskaper för svenska förhållanden.

För biogas finns en mängd möjliga produktionskedjor ur en mängd möjliga råvaror, både sådana som klassificeras som avfall och grödor. Eftersom biogas inte primärt är relevant för reduktionsplikten föll det utanför ramen av detta projekt att i detalj studera dessa produktionskedjor. Istället inkluderades ett mindre antal generiska produktionskedjor med olika typer av substrat.

Höginblandning (alternativt ren användning) av FPO/LO-diesel anses inte möjligt pga. hög aromathalt. Likaså begränsas höginblandning av FPO/LO-bensin och HVO-bensin, i det senare fallet pga. lågt oktantal.

Osäkerheter har angetts som intervaller baserade på intervaller i använda datakällor. Detta ska dock inte betraktas som att dessa representerar någon specifik statistisk fördelning. En kvantifiering och granskning av osäkerheterna i de indata som användes i denna studie är ett omfattande arbete som inte rymdes inom projektet. Det är trots detta vår uppfattning att det är viktigt att inkludera osäkerhetsintervallen i analysen och att detta bidrar till korrekt tolkning av projektets resultat.

Kostnaden för att reducera CO₂-utsläpp beräknades enligt

$$\text{Reduktionskostnad} = \frac{\text{Produktionskostnad}_{bio} - \text{Produktionskostnad}_{fossil}}{CO2_{fossil} - CO2_{bio}}$$

2.1 PRODUKTIONSKOSTNADER

Följande datakällor har användes för produktionskostnader för olika produktionsvägar:

- European Commission, Sustainable Transport Forum, Sub Group on Advanced Biofuels “*Building up the future - Cost of Biofuel*” (European Commission, 2017),
- Underlagsrapporten från f3 till FFF-utredningen (Börjesson, Lundgren, Ahlgren, & Nyström, 2013) samt den uppdaterade sammanfattningen av detta underlag (Börjesson, Lundgren, Ahlgren, & Nyström, 2016),
- IRENA Innovation Outlook Advanced Liquid Biofuels (IRENA, 2016),
- Pågående projekt inom samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system “*Determination of potential improvements in bio-oil production (ImprOil)*”¹
- Övervakningsrapport avseende skattebefrielse för flytande biodrivmedel under 2016 (Energimyndigheten, 2017c).

Av dessa källor har den nyutkomna rapporten av från EU:s Sustainable Transport Forum (2017) många fördelar. Data i denna rapport är normaliserade med avseende på kapitalavkastningskrav och för ett flertal produktionsvägar finns alternativ med olika råvarukostnader. Detta innebär att en råvarukostnad som är representativ för svenska förhållanden kan väljas, i de fall råvaran finns att tillgå inhemskt. Därför har data från denna källa använts för de flesta av de studerade produktionsvägarna. Endast när denna källa saknar data för en produktionsväg har andra källor använts, som diskuteras nedan. De råvarukostnader som använts redovisas i Tabell 3.

¹ Se http://www.f3centre.se/research/program/f%C3%B6rb%C3%A4ttringar_production_bioolja

Tabell 3. Använda råvarukostnader.

Råvara	Kostnad (€/MWh)	Produktionsvägar	Referens
Skogsflis/GROT	20	Förgasning, pyrolys, fermentering	Energimyndigheten (2017a)
Halm	16.5	Fermentering	(RISE Jordbruk och Livsmedel, 2017)
Talloolja	75	Hydrering	(Preem, 2017)
Avfallsolja (anim+veg)	65	Hydrering	(Marknadsdata, 2017b)
Slaktavfall	65	Hydrering	(Marknadsdata, 2017b)
Rapsolja	65	Hydrering	(Marknadsdata, 2016b)
Palmolja	50	Hydrering	(Marknadsdata, 2016a)
PFAD	50	Hydrering	(Marknadsdata, 2017a)

Underlagsrapporten från f3 till FFF-utredningen (Börjesson et al., 2013) samt den uppdaterade sammanfattningen av detta underlag (Börjesson et al., 2016) har använts för de kedjor som producerar biogas, eftersom dessa i hög grad är specifika för Sverige och saknas i andra källor. Likaså har dessa källor använts för grödebaserad etanol och FAME, det vill säga jäsnings baserat på vete och sockerrör samt produktion av RME ur rapsolja.

För teknikspåren som representerar lignin- och pyrolysoljebaserad produktion av bensin och diesel finns inga tillförlitliga data i öppna källor, eftersom de är nya och har låg teknisk mognad i dagsläget. Här har data från ett pågående forskningsprojekt lett av RISE Bioeconomy använts på ett liknande sätt.

2.2 VÄXTHUSGASUTSLÄPP

För att uppfylla den föreslagna reduktionsplikten ska utsläppen av växthusgaser associerade med tillverkning och användning av ett biodrivmedel beräknas enligt den metodik som specificeras i Förnybarhetsdirektivet (European Parliament, 2009). Denna metodik innebär bl.a. att utsläpp som uppkommer i hela produktionskedjan ska allokeras mellan olika produkter på energibas. De källor som använts för växthusgasutsläpp beräknade enligt denna metodik är:

- underlagsrapporten från f3 till FFF-utredningen (Börjesson et al., 2013) samt den uppdaterade sammanfattningen av detta underlag (Börjesson et al., 2016),
- den studie Europeiska kommissionens Joint Research Center publicerar baserad på ett samarbete med industrin² (JRC, 2014),
- Förnybarhetsdirektivet (European Parliament, 2009) samt det förslag till ett nytt förnybarhetsdirektiv som nu föreligger (European Commission, 2016) (från dessa källor har de typiska värden som anges för olika produktionskedjor använts),
- den hållbarhetsrapportering som bränsleleverantörer gör till Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2017a),

² Denna studie innehåller mestadels data från beräkningar som inte gjorts enligt metodiken i Förnybarhetsdirektivet men för några utvalda produktionskedjor ges även sådana data, vilka har använts.

- Pågående projekt inom samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system “*Techno-economics of long and short term technology pathways for renewable transportation fuel production*”³

För att ge en alternativ och ofta mer heltäckande bild av växthusgaser associerade med produktion och användning av ett biodrivmedel kan livscykelanalys med så kallad systemutvidgning göras. Detta innebär t.ex. att utsläpp inte allokeras. Istället associeras alla utsläpp till huvudprodukten, det vill säga biodrivmedlet, men för biprodukter beaktas både positiva och negativa effekter från deras användning och/eller alternative framställning i beräkningen av växthusgasutsläpp. Vi har använt två källor till data för växthusgasutsläpp beräknade med systemutvidgning:

- underlagsrapporten från f3 till FFF-utredningen (Börjesson et al., 2013) samt den uppdaterade sammanfattningen av detta underlag (Börjesson et al., 2016),
- den studie Europeiska kommissionens Joint Research Center publicerar baserad på ett samarbete med industrin (JRC, 2014),

Dessa två källor, som båda följer ISO 14040, använder något olika metodiker. En viktig skillnad är att den svenska källan (Börjesson et al., 2013, 2016) tar hänsyn till direkta effekter på markanvändning (dLUC) medan den Europeiska (JRC, 2014) inte gör det. Ingen av källorna tar hänsyn till indirekta effekter på landanvändning (iLUC). En annan faktor som inte heller beaktas är den ”kolskuld” som uppstår när biomassa skördas innan ny hunnit växa upp. Denna effekt är viktig på kort sikt och på bestånds nivå men när systemet för produktion av biomassa studeras långsiktigt och på landskapsnivå blir dessa effekter små (Börjesson et al., 2016).

Samtliga datakällor, förutom den hållbarhetsrapportering som bränsleleverantörer gör till Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2017a), har ett framåtblickande perspektiv och ger växthusgasprestanda för *state of the art*-teknik i syfte att vägleda teknikval. Ingen av de källor som används tar hänsyn till sådana faktorer som byggande eller omhändertagande av produktionsanläggningar eller fordon. Båda dessa har dock visats vara av mindre betydelse för biodrivmedel om fossila bränslen används som referens, eftersom påverkan är liknande för båda alternativen.

För att beräkna ett biodrivmedels reduktion av växthusgasutsläpp krävs ett värde på utsläppen för det fossila bränsle det ersätter. Fossila referensvärden för växthusgasutsläpp om 93,3 g CO_{2eq}/MJ för bensin och 95,1 g CO_{2eq}/MJ för diesel har använts enligt tilläggsdirektiv 2015/652 (European Parliament, 2015). Dessa värden stämmer även med den fossila referens för transportbränslen om 94,1 g CO₂/MJ som finns i förslaget till ett nytt Förnybarhetsdirektiv (European Commission, 2016).

Vissa tillverkare av biodrivmedel tillämpar idag infångning av CO₂ från processen, vilket kan krediteras i växthusgasberäkningen och sådana processer erhåller följaktligen mycket låga utsläpp. Denna möjlighet finns även potentiellt för flera av de andra produktionskedjorna men det är osäkert om den kommer att användas i praktiken. För att få en rättvisande jämförelse i denna rapport har vi antagit att ingen CO₂-infångning sker för något av drivmedelsspåren.

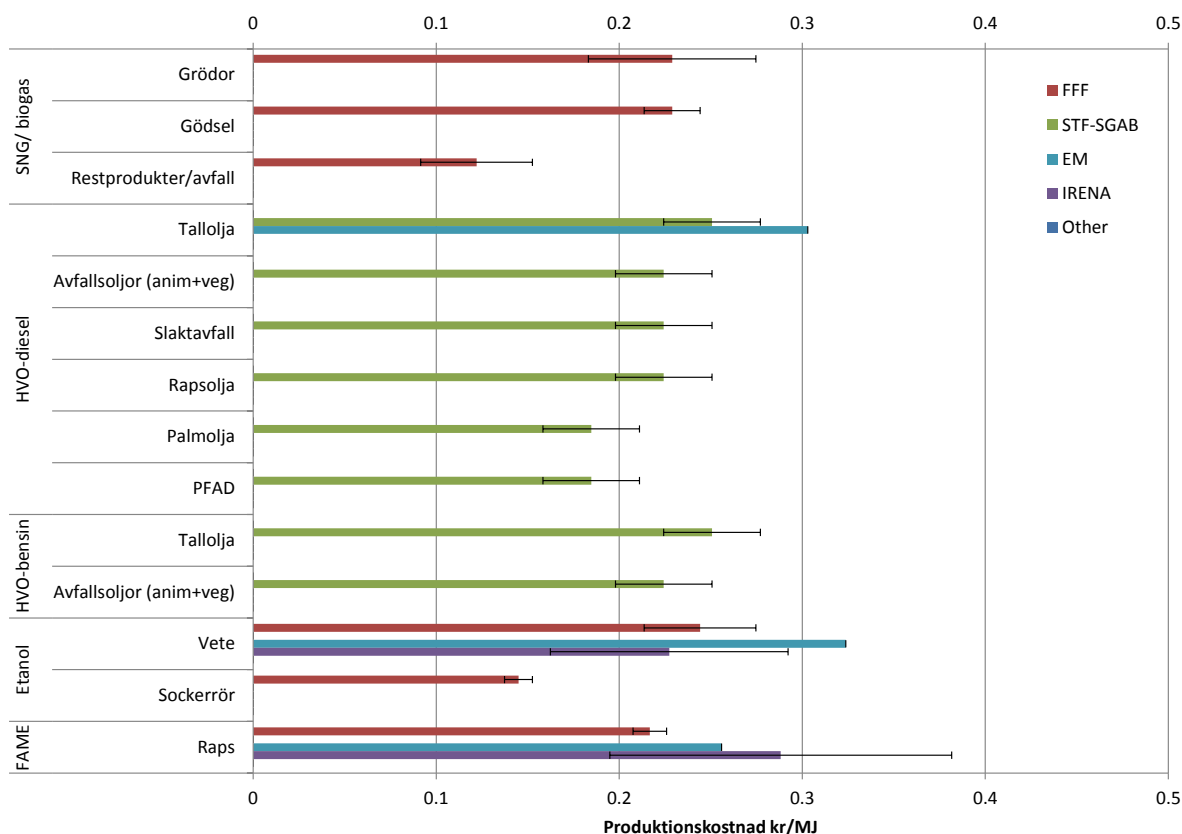
³ Se http://www.f3centre.se/research/program/langa_korta_teknikspar

3 RESULTAT OCH DISKUSSION

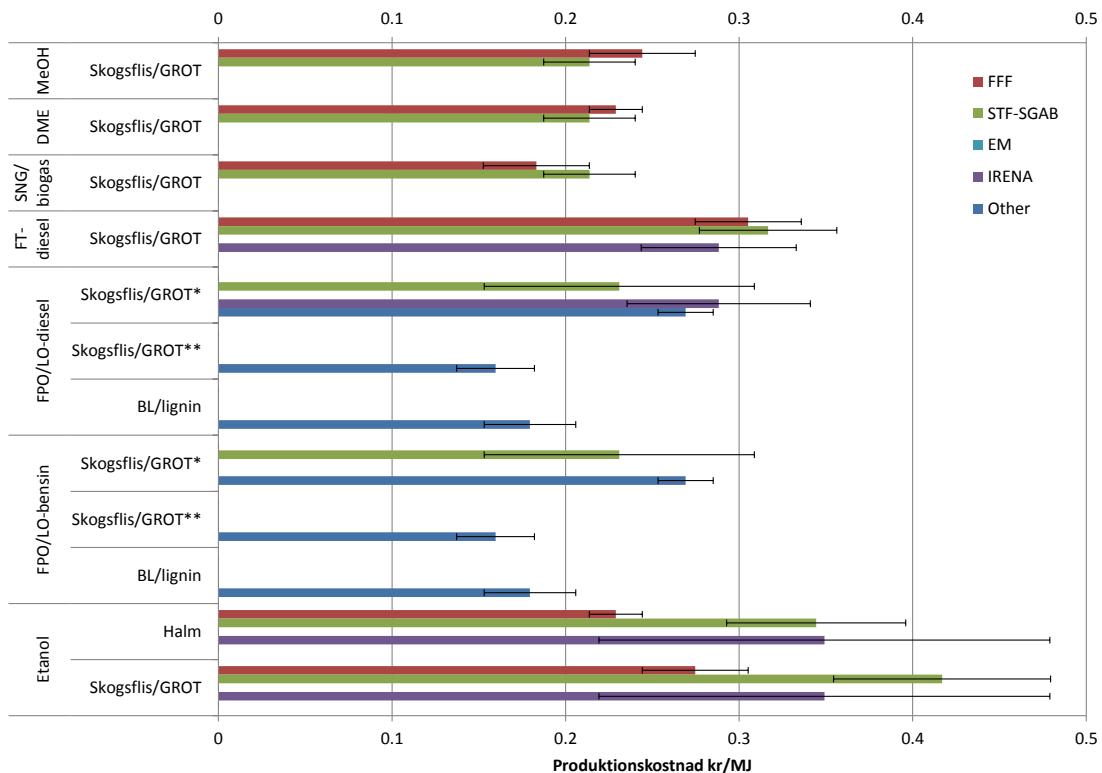
3.1 SAMMANSTÄLLNING AV PRODUKTIONSKOSTNADER OCH VÄXTHUSGASPRESTANDA FÖR UTVALDA BIODRIVMEDEL

En sammanställning av publicerade produktionskostnader (kr per MJ) och växthusgasprestanda för beaktade biodrivmedel baserade på olika råvaror och omvandlingstekniker har utförts. Figur 1 visar publicerade produktionskostnader för biodrivmedel som finns på tillgängliga på marknaden idag och Figur 2 visar motsvarande för biodrivmedel som skulle kunna bli tillgängliga inom en rimlig framtid.

För de flesta produktionskedjor finns data bara från en eller två av de använda källorna. I de fallen där det finns data från flera källor är de i de allra flesta fall konsistenta med varandra. Etanoltillverkning utgör dock ett tydligt undantag, båda från vete (Figur 1) och skogsflis/GROT respektive halm (Figur 2). För etanol från vete är de värden som inrapporterats till Energimyndigheten ("EM" i Figur 1) högre men täcker även importerad etanol och eventuellt även etanol som gjorts från andra typer av spannmål. Som noteras ovan används inte detta värde. För etanol från restprodukter i Figur 2 är en möjlig orsak till skillnaderna att data från Börjesson et al ("FFF") gäller en processkonfiguration med kombinerad biogasproduktion som inte används i de första kommersiella anläggningar som byggts för produktion av andra generationens etanol i Europa och USA.

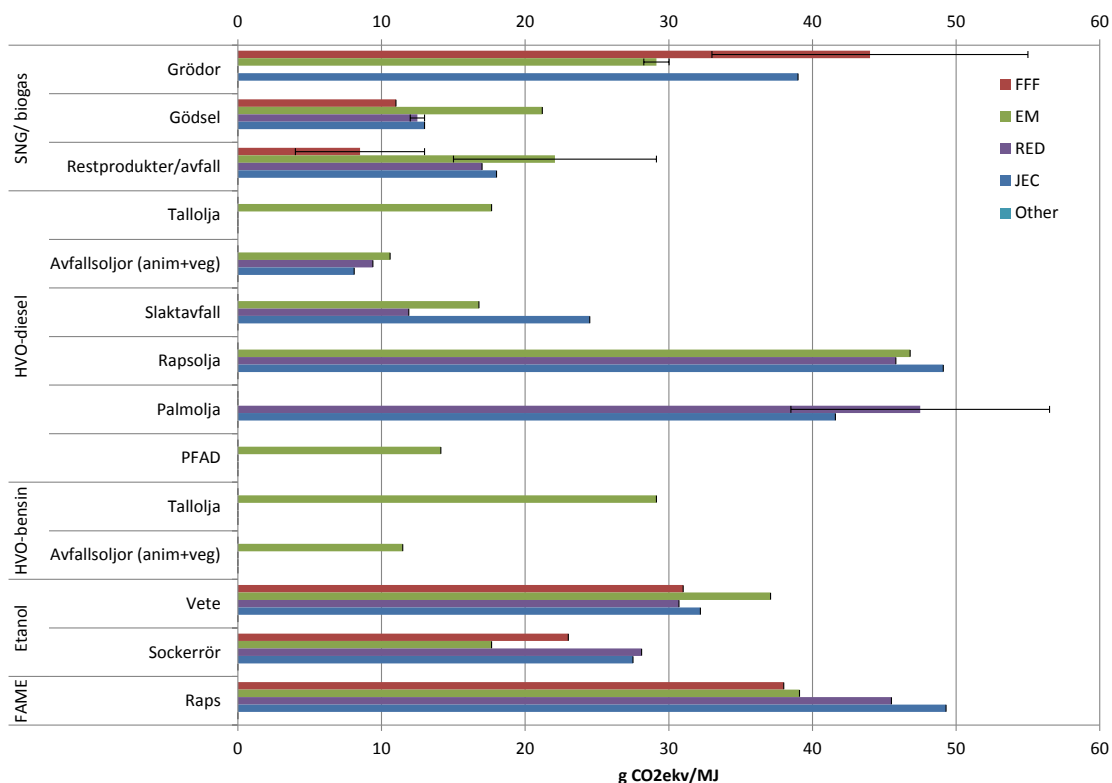


Figur 1. Publicerade produktionskostnader för idag tillgängliga biodrivmedel (kr per MJ). De olika källorna listas i kapitel 2.1.

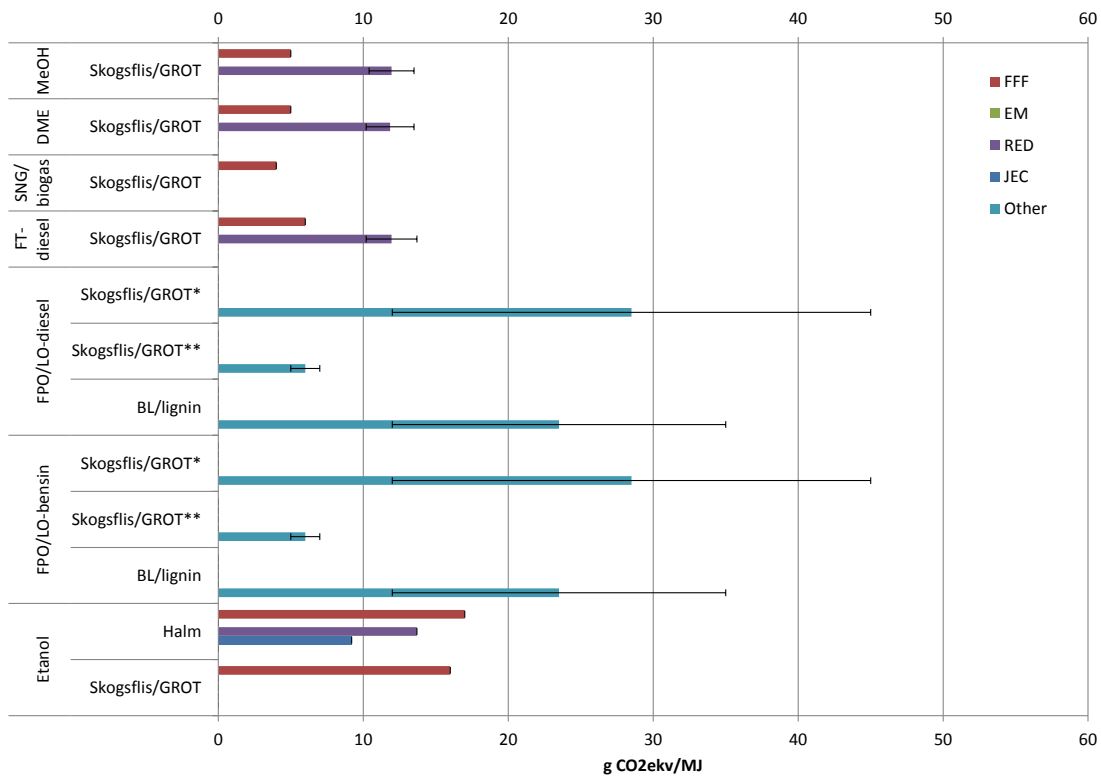


Figur 2. Publicerade produktionskostnader för framtida biodrivmedel (kr per MJ). De olika källorna listas i kapitel 2.1 (* FPO/LO + HDO, ** Hydropyrolys).

Figur 3 visar växthusgasprestanda beräknat enligt RED-metodiken för tillgängliga biodrivmedel idag och Figur 4 visar prestandan för potentiella framtida biodrivmedel.

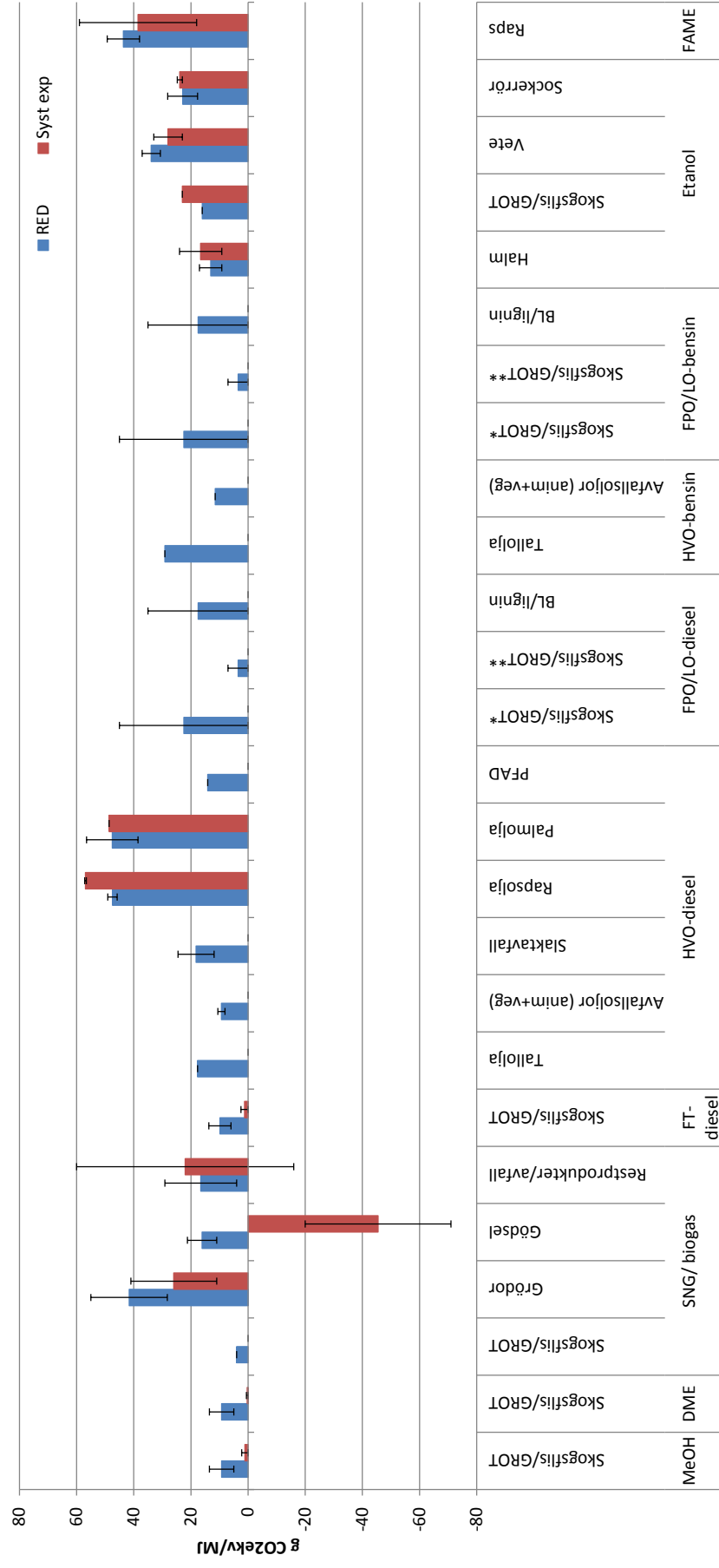


Figur 3. Växthusgasprestanda för idag tillgängliga biodrivmedel enligt RED-metodik (g CO₂ekv per MJ). De olika källorna listas i kapitel 2.2.



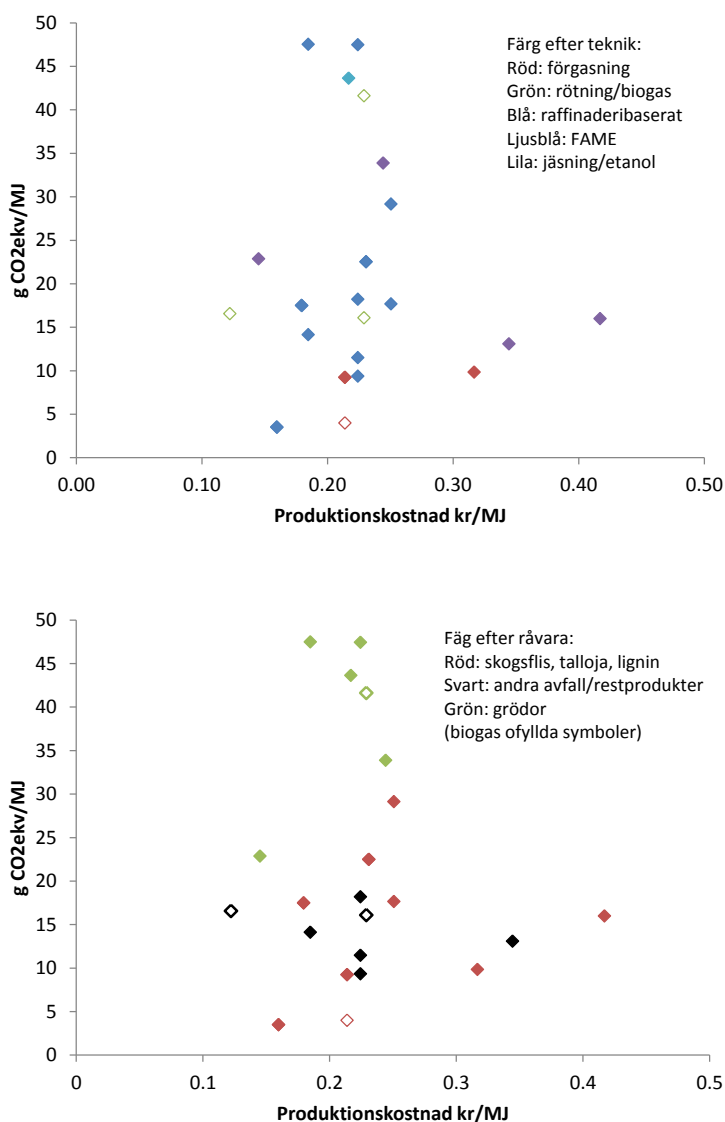
Figur 4. Växthusgasprestanda för potentiella framtida biodrivmedel enligt RED-metodik (g CO₂ekv per MJ). De olika källorna listas i kapitel 2.2 (* FPO/LO + HDO, ** Hydropyrolys).

Figur 5 visar en jämförelse mellan olika metodiker för växthusgasberäkning: enligt Förnybarhetsdirektivet (RED) och med systemutvidgning. Som synes finns betydligt mindre data för den senare metodiken men det är ändå tydligt att skillnaderna är små för de flesta produktionskedjor. Det främsta undantaget är biogas ur gödsel, eftersom systemexpansion tar hänsyn till metanutsläpp som sker vid alternativ hantering av gödsel. Biogas producerad ur andra restprodukter och avfall (t ex slam) visar en stor spridning för systemutvidgning, vilket förklaras med olika emissioner från alternativ användning/behandling av råvarorna. Som nämnts ovan skulle en finare råvaruuppdelning av produktionsvägarna för biogas behövas för att analysera dessa spår mer noggrant. Resultaten från systemutvidgning har inte använts i den vidare analysen, eftersom reduktionsplikten bygger på växthusgasberäkning enligt Förnybarhetsdirektivet.



Figur 5. Växthusgasprestanda för biodrivmedel enligt RED-metodik och med systemutvidgning. Data för respektive metodik aggregerade från källor i kapitel 2.2 (* FPO/LO + HDO, ** Hydrolysis).

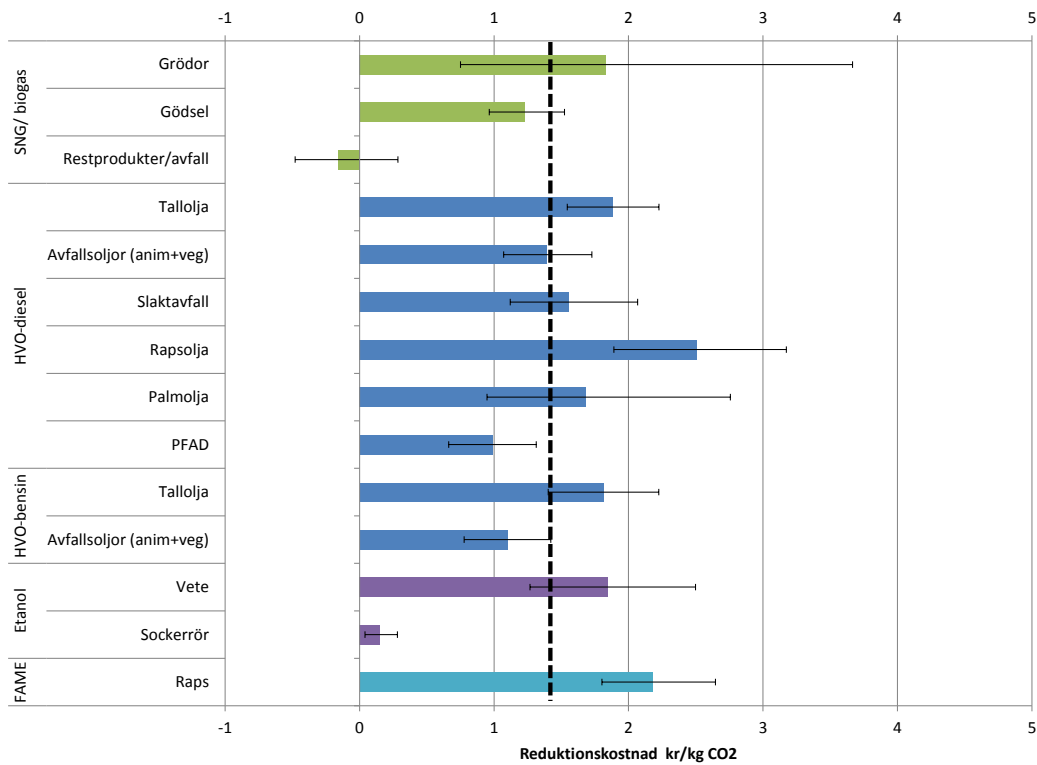
Figur 6 visar växthusgasprestandan som funktion av produktionskostnaden för olika omvandlingstekniker (överst) och för olika råvaror (underst). Som figurerna visar så finns inget direkt samband mellan produktionskostnaden och växthusgasprestandan.



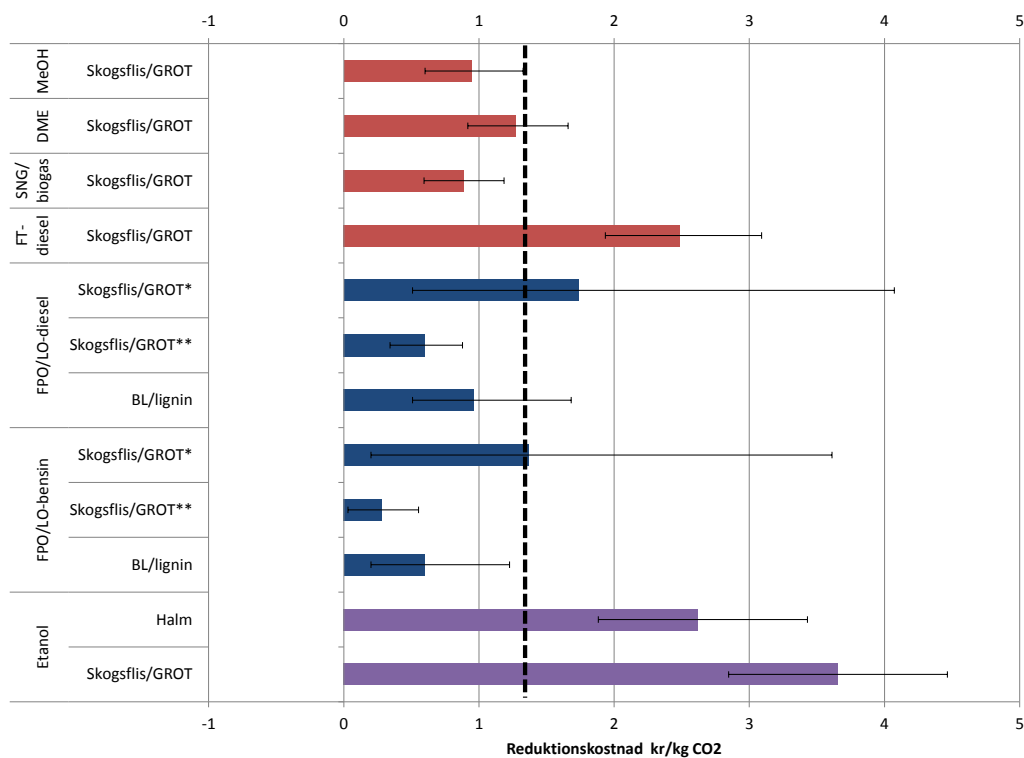
Figur 6. Växthusgasprestanda för olika typer av biodrivmedel, tekniker och råvaror funktion av produktionskostnaden.

3.2 REDUKTIONSKOSTNADER

Figur 7 och Figur 8 visar resulterade CO₂-reduktionskostnader för olika typer av biodrivmedel där växthusgasprestandan beräknas enligt RED. Den streckade linjen i figuren motsvarar medelvärdet av samtliga reduktionskostnader, som är i stort sett samma de biodrivmedel som finns på marknaden idag (Figur 7) och framtida biodrivmedel (Figur 8).



Figur 7. Kostnader för reduktion av CO₂-utsläpp för olika typer av biodrivmedel, tekniker och råvaror som finns på marknaden idag. Streckad linje anger medelvärdet för reduktionskostnaden för redovisade drivmedel.



Figur 8. Kostnader för reduktion av CO₂-utsläpp för olika typer av framtida biodrivmedel, tekniker och råvaror. Streckad linje anger medelvärdet för reduktionskostnaden för redovisade drivmedel (* FPO/LO + HDO, ** Hydropyrolys).

Reduktionskostnaderna för beaktade biodrivmedel ligger i spannet ca -0,2 upp till ca 3,7 kr per kg undviken CO₂. Biogas från restprodukter och avfall kan innebära en negativ kostnad, vilket beror på en produktionskostnad som är lägre än för fossila drivmedel och god växthusgasprestanda. Sockerrörsbaserad etanol resulterar också i låga kostnader.

Den lägsta reduktionskostnaden för avancerade biodrivmedel har bensin och diesel producerat via integrerad hydropyrolys och hydrering (via den så kallade IH²-processen) med 0,3 och 0,6 kr/kg CO₂ för bensin och diesel. Produktionen sker under högt tryck (20-35 bar) med vid relativt låg temperatur (350-450°C) (Marker et al., 2014; Meerman & Larson, 2017). Vätgasen genereras via reformering av icke-kondenserbara gaser som från processen. Det bör dock noteras att teknikmognaden för denna teknik fortfarande är avsevärt lägre än för flertalet andra produktionstekniker, varför osäkerheten i dessa resultat är stor.

Även andra spår baserade på förvätskning av biomassa, genom pyrolys eller depolymerisering av lignin, följt av raffinaderiintegrerad uppgradering till färdigt bränsle har potential att ge god prestanda. Osäkerheterna i reduktionskostnaden är dock mycket stora på grund av låg teknikmognad och effekter av hur vätgasen framställs. Reduktionskostnaden har potential att bli låg om vätgasen produceras via elektrolys med tillförd el räknat som svensk elmix och mycket hög om vätgasen genereras via naturgas.

Resulterade reduktionskostnad för HVO-diesel, i intervallet 1,0 till 2,5 kr/kg CO₂ beror till stor del på råvarans kostnad och växthusgasprestanda, som den beräknas enligt Förnybarhetsdirektivet. Här faller PFAD baserad HVO-diesel bäst ut, medan raps och talloljebaserad HVO resulterar i högre reduktionskostnad. Enligt ett nyligen taget beslut i Sveriges Riksdag kan PFAD komma att klassas om och inte längre räknas som restprodukt vilket ändrar beräkningsregler för växthusgasutsläpp. Inga sådana hänsyn har tagits i vår beräkning som följer nu gällande regler.

Förgasningsbaserade biodrivmedel generellt god reduktionskostnadsprestanda, med undantaget för produktion av FT-diesel, som resulterar i en högre kostnad, främst på grund av lägre drivmedelsutbyte.

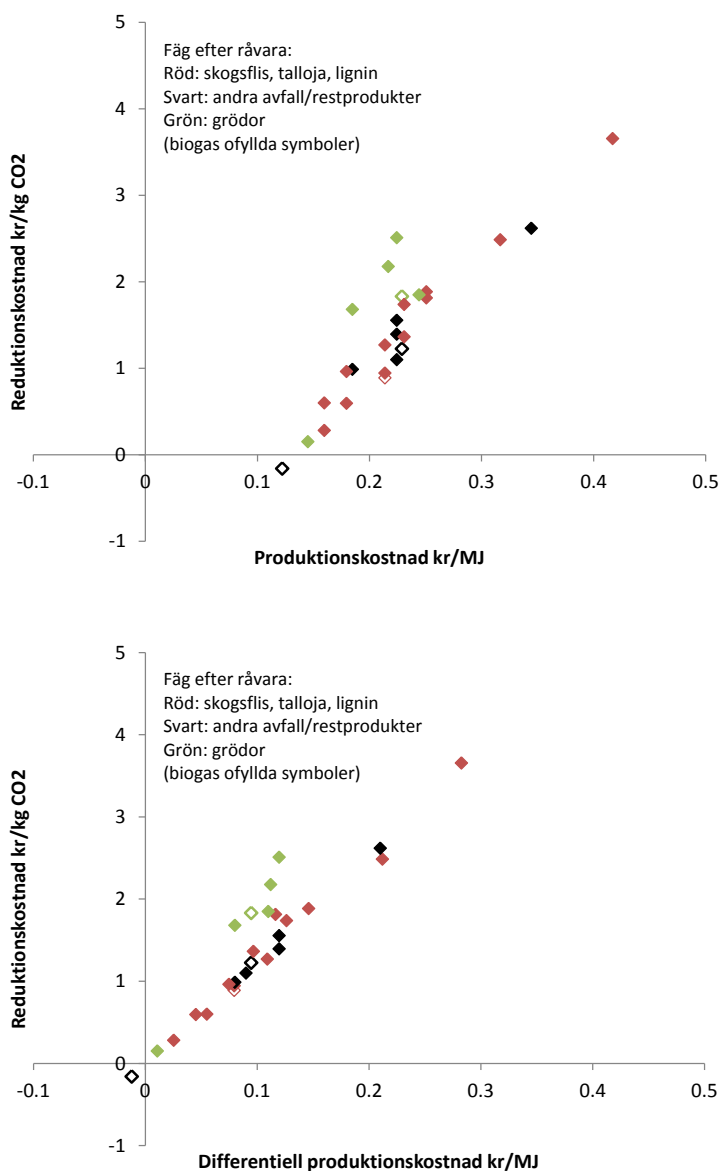
Etanolproduktion via fermentering resulterar relativt sett i höga reduktionskostnader och det gäller särskilt när skogsbränsle används som råvara på grund av lågt produktutbyte. Som tidigare nämnts så har inte infångning och användning (CCU) av CO₂ från några processer tagits hänsyn till i denna studie. Existerande inhemsk etanolproduktion ur spannmål skulle falla ut mer gynnsamt om CCU, som används i denna process, inkluderats. Inte heller etanolproduktion kombinerat med biogasproduktion är inkluderat.

Reduktionskostnader för uppgradering av pyrolysvätska och ligninolja i raffinaderier skulle kunna vara lägre om spillvärmens från HDO-processen fått kreditera undviken användning av eldningsolja i raffinaderiet. Detta är dock inte tillåtet eftersom att inga utsläpp kan allokeras till ånga, då den inte har något lägre värmevärde (Energimyndigheten, 2017b). Inte heller förslaget till uppdaterade Förnybarhetsdirektivet (RED II) förefaller innehålla några ändringar för allokeringsregler när det gäller biodrivmedelsproduktion.

Ett alternativt sätt att illustrera skillnader i reduktionskostnader mellan olika produktionskedjor visas i Figur 9. När reduktionskostnaden studeras som funktion av den rena produktionskostnaden, uppträder ett relativt linjärt samband som bryts främst av ett fåtal punkter (Figur 9 till vänster). Skärningspunkten på x-axeln motsvarar tillverkningskostnaden för det fossila alternativet. Om den

differentiella produktionskostnaden, det vill säga skillnaden mot produktion av fossila bränslen, istället används blir linjen tydligare och går genom origo (Figur 9 till höger). Det syns tydligt att de punkter som avviker från linjen är de som baseras på grödor som råvaror, vilket förklaras av den växthusgasbelastning detta innebär enligt beräkningsmetodiken.

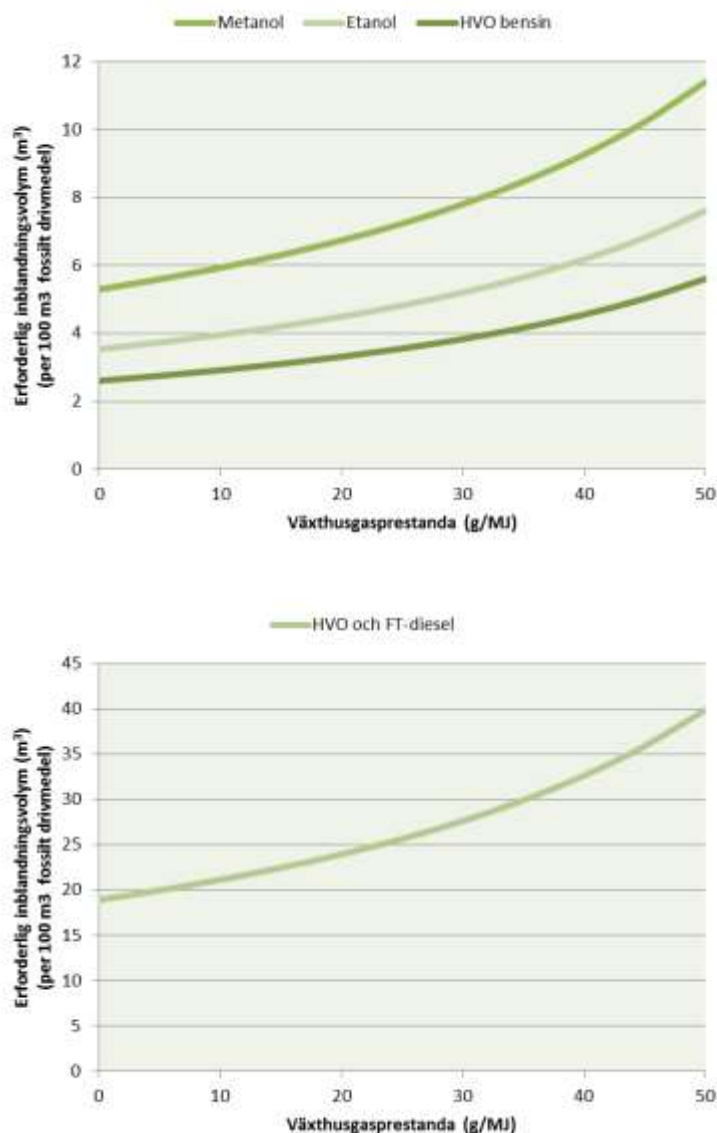
Den slutsats som kan dras ur Figur 9 är att så länge växthusgasprestanda för en produktionskedja är ”god”, typiskt under ca 20-30 g CO₂/MJ så är reduktionskostnaden i stort beroende av den differentiella produktionskostnaden. De punkter som avviker genom högre reduktionskostnader i Figur 9 (höger) har typiskt utsläpp över 40 g CO₂/MJ.



Figur 9. Reduktionskostnad som funktion a produktionskostnad (överst) och differentiell produktionskostnad (underst). Punkter färgade efter typ av råvara.

3.3 ERFORDERLIG BIODRIVMEDELSINBLANDNING

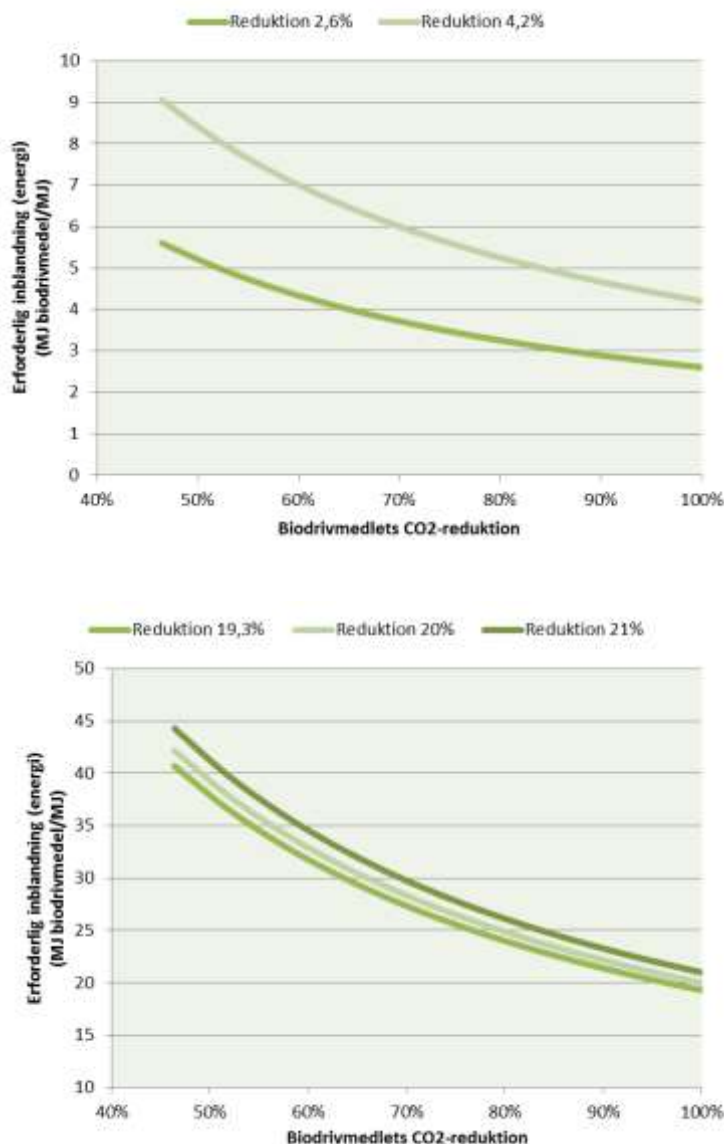
Biodrivmedlets klimatprestanda och energidensitet avgör hur stora volymer som måste blandas in i fossila för att klara reduktionspliktsnivåerna. Figur 10 visar sambandet mellan utvalda biodrivmedels klimatprestanda och erforderlig volymsinblandning för att nå reduktionsnivåerna för bensin och diesel för 2018 (2,6 % för bensin och 19,3 % för diesel).



Figur 10. Samband mellan växthusgasprestanda och erforderlig inblandningsvolym i bensin (överst) och diesel (underst) för att nå reduktionspliktsmålen för 2018 (2,6 % för bensin och 19,3 % för diesel).

Som illustreras i figuren har växthusgasprestandan stor betydelse för hur stor volym biodrivmedel som krävs för att nå reduktionskvoten. Det är uppenbart att för ett biodrivmedel med god växthusgasprestanda krävs betydligt mindre inblandningsvolym för att nå samma CO₂-reduktionsnivå.

Figur 11 visar erforderlig inblandning av biodrivmedel på energibasis som funktion av biodrivmedlets CO₂-reduktion relativt fossil bensin (överst) och fossil diesel (underst) för att nå reduktionsnivåerna för 2018-2020. När inblandningen mäts på energibas blir det ingen skillnad mellan olika drivmedelskomponenter för inblandning, eftersom energidensiteten inte längre är av vikt.



Figur 11. Erforderlig inblandning på energibasis som funktion av biodrivmedlets CO₂-reduktion.

3.4 MÖJLIG INVERKAN AV BIODRIVMEDLETS KVALITET

Även biodrivmedlens kemiska och fysiska kvaliteter kan påverka reduktionskostnaden och bör beaktas. Inblandning av biodrivmedel kan innebära att billigare fossila drivmedelskomponenter kan användas eller, tvärtom, att det ställs högre krav på de fossila komponenterna. Det ekonomiska utfallet för respektive drivmedel och blandning är dock svår att kvantifiera, men nedan redogörs kort för viktiga parametrar och deras möjliga påverkan på dess ekonomiska prestanda. Informationen kommer främst från diskussioner med projektets referensgrupp.

Inblandning i fossil diesel

FT-diesel och de flesta HVO kvaliteterna har en lägre densitet än fossil diesel, vilket begränsar hur mycket HVO som kan blandas in inom kraven för nuvarande bränslestandard. RME har dock högre densitet, vilket till viss grad potentiellt kan stötta inblandningen av HVO eller FT-diesel. HVO har

oftast också höga cetantal, lågt aromatinnehåll och innehåller varken svavel eller syre. Köldtålig-
heten varierar kraftigt beroende på hur den produceras. Samtliga av dessa faktorer kan ha implikat-
ioner för resulterande CO₂-reduktionskostnad för inblandning av biobaserade dieselkomponenter i
fossil diesel.

Att blanda in RME i fossil diesel har en positiv effekt på bränsleblandningens smörj- och slitage-
skyddande egenskaper, vilket innebär att kostnaderna för smörjförbättrande tillsatser minskar. Den
ekonomiska påverkan bedöms vara mycket liten då tillsatskostnaden normalt ligger på öre-nivå per
liter drivmedel.

Inblandning av RME har dock en negativ påverkan på dieselbränslets åldringsegenskaper (oxidat-
ion) samt på elastomerer (packningar, slangar etc.). Av denna anledning specificerar den svenska
och europeiska dieselstandarderna maximalt 7 procents inblandning. Köldtåligheten hos RME är
också betydligt sämre än för fossil diesel och redan vid lägre inblandningsgrader krävs ytterligare
åtgärder för att säkerställa drivmedlets kvalitet. Dessa faktorer kan försämra den ekonomiska pre-
standan hos blandningen och därmed dess CO₂-reduktionskostnad.

Inblandning i fossil bensin

Inblandning av etanol och ETBE i bensin resulterar i ett högre oktantal. Detta ökar möjligheten att
blanda in andra, mer lågoktaniga, biokomponenter, vilket skulle kunna reducera CO₂-reduktions-
kostnaden för blandningen. Etanolens inblandning ökar också blandningens ångtryck, vilket måste
beaktas eftersom att bensindelen produceras med ett lägre ångtryck. De två sistnämnda faktorerna
kan resultera i en högre CO₂-reduktionskostnad för blandningen.

När det gäller inblandning av metanol, så tillåter dagens standard max 3 procent inblandning. Meta-
nolen kräver användning av så kallade *co-solvents* för att drivmedelsblandningen skall förbli stabil
och därmed en merkostnad och en förmodad negativ inverkan på CO₂-reduktionskostnaden.

HVO-bensin har generellt ett lägre oktantal, vilket kräver en ökad inblandning av andra hög-
oktaniga komponenter alternativt en fortsatt process av HVO-bensinen till högre oktantal. Även
detta skulle ha innebära en ökad CO₂-reduktionskostnad.

4 SLUTSATSER

I och med den föreslagna reduktionsplikten bestäms värdet hos ett biodrivmedel som används för låginblandning av en bränsledistributör främst av dess växthusgasprestanda och, i mindre grad, av de kvalitetsegenskaper den har som kan påverka krav på den fossila komponenten i blandningen. Därmed avgörs en produktionsvägs ekonomiska prestanda inte bara av dess produktionskostnad, utan också produktens växthusgasprestanda. Huvudsyftet med detta projekt var att illustrera hur växthusgasprestandan hos olika biodrivmedel relateras till deras marknadsvärde vid inblandning i bensin och diesel inom ramen för det nya reduktionspliktsystemet och att jämföra kostnaderna för CO₂-reduktion för olika typer av biodrivmedel.

Biodrivmedel som kombinerar låg produktionskostnad med god växthusgasprestanda resulterar givetvis i lägst CO₂-reduktionskostnad. I fallet med biogas från rötning av avfall blir kostnaden till och med negativ. Sockerrörsbaserad etanol faller också väl ut med en låg reduktionskostnad. De drivmedel som finns på marknaden idag och som resulterar i de högsta reduktionskostnaderna är rapsbaserade. För HVO från olika råvaror erhålls ett intervall av reduktionskostnader som till största del beror på råvarans kostnad och växthusgasbelastning, där billiga råvaror som klassas restprodukter ger HVO med lägst reduktionskostnad.

Biodrivmedel under utveckling, så kallade avancerade biodrivmedel, har potential att i många fall nå lägre reduktionskostnader än vad dagens produktionskedjor har. Detta gäller främst biodrivmedel producerat via termokemisk omvandling, såsom pyrolysis följt av raffinaderiintegrerad uppgradering samt förgasningsbaserad teknik. I det senare fallet är produktion av FT-diesel ett undantag som ger sämre prestanda. I de fall där vätgas erfordras för uppgradering av olika typer av bioolja från pyrolysis eller lignindepolymerisering föreligger stora osäkerheter bland annat beroende på vätgasens ursprung och låg teknisk mognad.

Även biodrivmedlens kemiska och fysiska kvaliteter kan påverka reduktionskostnaden och bör tas i beaktande. Inblandning av biodrivmedel kan exempelvis innebära att andra typer av fossila drivmedelskomponenter eller tillsatser, dyrare eller billigare, kan eller måste användas för att uppfylla nuvarande bränslestandarder.

REFERENSER

- Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., & Nyström, I. (2013). *Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel*.
- Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., & Nyström, I. (2016). *Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel – i sammandrag*. Retrieved from http://www.f3centre.se/sites/default/files/fff_sammandrag_sv.pdf
- Energimyndigheten. (2017a). *Drivmedel 2016 Mängder komponenter och ursprung rapporterade enligt drivmedelslagen och hållbarhetslagen* (ER 2017:12).
- Energimyndigheten. (2017b). Personlig kommunikation med Noak Westerberg.
- Energimyndigheten. (2017c). Övervakningsrapport avseende skattebefrielse för flytande biodrivmedel under 2016. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- European Commission. (2016). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Brussels: European Commission.
- European Commission. (2017). *Building up the future - Cost of Biofuel* (Sustainable Transport Forum). Brussels.
- European Parliament. (2009). Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009. *Official Journal of the European Union*, 140(16), 16–62. https://doi.org/10.3000/17252555.L_2009.140.eng
- European Parliament. (2015). Directive 2015/652 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, 107(May 2003), 26–67.
- IRENA. (2016). *Innovation Outlook Advanced Liquid Biofuels*. Abu Dhabi. Retrieved from http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Innovation_Outlook_Advanced_Liquid_Biofuels_2016.pdf
- JRC. (2014). *WELL-TO-TANK Report Version 4.a*. Ispra: European Commission Joint Research Centre. <https://doi.org/10.2790/95629>
- Marker, T. L., Felix, L. G., Linck, M. B., Roberts, M. J., Ortiz-toral, P., & Wangerow, J. (2014). Integrated Hydropyrolysis and Hydroconversion (IH 2) for the Direct Production of Gasoline and Diesel Fuels or Blending Components from Biomass, Part 2 : Continuous Testing. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(3), 762–768. <https://doi.org/10.1002/ep>
- Marknadsdata. (2016a). Marknadspriser palmolja. Retrieved from <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=palm-oil&months=12>
- Marknadsdata. (2016b). Marknadspriser rapsolja. Retrieved from <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rapeseed-oil&months=12>
- Marknadsdata. (2017a). Marknadspriser PFAD. Retrieved from <http://www.palmoilanalytics.com/price/2>

Marknadsdata. (2017b). Marknadpriser TME och UCOME. Retrieved from <https://www.greena.com/en/market-analysis/>

Meerman, J. C., & Larson, E. D. (2017). Negative-carbon drop-in transport fuels produced via catalytic hydrolysis of woody biomass with CO₂ capture and storage. *Sustainable Energy & Fuels*, *1*, 866–881. <https://doi.org/10.1039/c7se00013h>

Preem. (2017). Personlig kommunikation med Åsa Håkansson.

Regeringen. (2017). Lagrådsremiss Reduktion av växthusgasutsläpp genom inblandning av biodrivmedel i bensin och dieselbränslen. Stockholm.

RISE Jordbruk och Livsmedel. (2017). Personlig med kommunikation med Nils Jonsson.





SVENSKT KUNSKAPSCENTRUM
FÖR FÖRNYBARA DRIVMEDEL



www.f3centre.se