



Ea Energianalyse

Samfundsøkonomiske aspekter ved produktion af 2. generations bioethanol



Udarbejdet for Partnerskabet for Biobrændstoffer

Oktober 2009





Indholdsfortegnelse

Resume og konklusioner	1
Usikkerheder	2
Samfundsmæssige aspekter	4
Baggrund.....	4
CO2 reduktioner i transportsektoren.....	5
Samfundsøkonomiske analyser af bioethanolproduktion	6
Skyggepris.....	7
Set-up	8
Forudsætninger for beregninger.....	10
Priser på råvarer	11
Elprisfremskrivninger af CO ₂ -kvoteprisen	11
Investering, drift og vedligehold	11
Halm	11
Damp	11
Enzymer	12
El	13
Vand	13
Salg af melasse til dyrefoder	13
Salg af biobrændsel (lignin) til kraftvarmeværker	13
Salg af Industriel CO ₂	13
Balance mellem udgifter og indtægter	15
Resultater	15
Følsomhedsanalyse	17
Ren CO ₂	19
Biobrændsels-biproduktet	20
Benzin og olie pris	20
Referencer	22
Informerter	23



Resume og konklusioner

Partnerskabet for Biobrændstoffer har bedt Ea Energianalyse om at udarbejde et notat om de samfundsøkonomiske aspekter ved satsning på 2. generations bioethanol. Notatet skal anvendes som et input til en hvidbog om emnet. Opgaven er gennemført som et kort litteraturstudie suppleret med egne beregninger og analyser.

Fokus i analysen er de samfundsøkonomiske aspekter i forbindelse med produktion af 2. generations bioethanol og den samfundsmæssige omkostning ved at reducere CO₂ i transportsektoren ved hjælp af denne teknologi. Analysen er foretaget på baggrund af et fiktivt fuldskala 2. generations bioethanolanlæg, som forudsættes at være i drift i 2015.¹

Analyserne viser, at produktionsprisen for 2. generations bioethanol vil være 3,87 kr./l² med de forudsætninger, der er anvendt i dette notat. Omregnet til benzinækvivalent³ bliver den ækvivalente produktionspris for bioethanol 6,02 kr./l, hvilket skal sammenlignes med en forventet produktionspris for benzin i 2015 på 4,40 kr./l.⁴ Forskellen i produktionsprisen på benzin og 2. generations bioethanol er således 1,62 kr./l.

Reduktionsomkostningen for CO₂ (skyggeprisen) kan herudfra beregnes til 677 kr./ton CO₂. Til sammenligning kan anføres, at den forventede CO₂ kvotepris for 2015 ifølge Energistyrelsens fremskrivninger ligger på 230 kr./ton, hvorfor 2. generations bioethanol således vil være en forholdsvis bekostelig metode til at reducere CO₂ emissioner for transportsektoren. Det skal dog bemærkes at kvoteprisen kun er af begrænset relevans for den ikke-kvoteomfattede sektor, hvor der for Danmark er risiko for væsentligt højere reduktionsomkostninger end kvoteprisen.

Som en konsekvens af EU's VE-direktiv af 23. april 2009 (DIR 2009/28/EC) forpligtes medlemslandene til et bindende mål på 10 % vedvarende energi i

¹ Året 2015 blev valgt til analysen fordi det på den ene side giver lidt tid til udvikling og opskalering af de nuværende demonstrationsprojekter og på den anden side ikke ligger længere væk, end at fuldskala projekter kunne nå at bidrage til opfyldelsen af EU's 2020 mål for vedvarende energi i transportsektoren.

² Med mindre andet er angivet, er alle priser angivet i 2007-priser.

³ Begrebet benzinækvivalent afspejler det forhold, at benzin pr. liter indeholder 1,6 gange så meget energi som bioethanol. Derfor vil en bil kræve ca. 1,6 gange så meget bioethanol for at levere samme ydelse.

⁴ Denne produktionspris er baseret på Energistyrelsens fremskrevne benzinpriser for 2015. Det er værd at bemærke, at Energistyrelsen lander på dette tal ved at gange den forventede oliepris med en faktor 1,33. Derfor vil afvigelser fra den fremskrevne oliepris have direkte konsekvenser for produktionsprisen på benzin (Energistyrelsen, 2007).



transportsektoren i 2020. Derfor bør CO₂ skyggeprisen for 2. generations bioethanol også sammenholdes med alternative transportløsninger, som fx elbiler, biogas og biodiesel. Beregninger af CO₂ skyggepriser for disse alternativer ligger udenfor nærværende analyse, men omkostningerne ved disse alternativer bør tages i betragtning, når de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med 2. generations bioethanol skal vurderes.

Et andet EU direktiv som kan få betydning for udbredelsen af 2. generations bioethanol er Direktivet om brændstofkvalitet (DIR 2009/30/ EF), som pålægger Oliebranchen en 10 % reduktion af CO₂ emissioner i 2020, hvoraf de 6 % er bindende og skal frembringes via biobrændstoffer, raffinaderiteknologi eller gasafbrænding (flaring).

Usikkerheder

Ved beregninger baseret på fremskrevne værdier er der en vis usikkerhed forbundet med de forskellige forudsætninger, der ligger til grund for resultaterne. Det fremgår af vores følsomhedsanalyser i relation til nævnte beregninger, at CO₂ skyggeprisen fx er meget følsom overfor svingninger i olie- og benzinprisen, halmprisen, markedsprisen for salg af biprodukter samt størrelsen af anlægsinvesteringen.

En anden vigtig usikkerhed er effektiviteten af produktionsprocessen, altså andelen af halm, der bliver konverteret til bioethanol.⁵

I beregningen af CO₂ skyggeprisen er anvendt Energistyrelsens CO₂ værdier for benzin og biomasse på henholdsvis 73 kg/GJ og 0 kg/GJ. Såfremt værdien for CO₂ emissioner fra biomasse skønnes til at være højere, vil dette resultere i en højere CO₂ skyggepris for bioethanol.⁶

En af de mest betydningsfulde og usikre faktorer i de beregninger, der ligger til grund for denne analyse, er den fremtidige pris på halm. En forøgelse af halmprisen på 30 % i forhold til Energistyrelsens fremskrivninger giver en 16 % stigning i produktionsomkostningerne for 2. generations bioethanol samt en knap 60 % stigning af CO₂ skyggeprisen, som derved overstiger 1080 kr./ton.

⁵De værdier for effektivitet, vi har anvendt i nærværende analyse (fra Jensen og Thyø 2007), er højere end nyligt indhentede forventninger fra Inbicon i relation til deres demonstration af Ibus-konceptet i Kalundborg. Imidlertid peger andre studier på lige fod med denne analyse på en højere potentiel effektivitet på fremtidige anlæg, særligt hvis det lykkes at opnå succes med konvertering af C5 sukkerstoffet i halmen til bioethanol.

⁶ En værdi på ca. 0 er en rimelig antagelse at gøre i Danmark i og med at langt størstedelen af den danske halm er et overskudsprodukt og CO₂ forbundet med bioethanolprocessen allerede er indregnet i elprisen og dampprisen.



Følsomheden i forhold til halmprisen er vigtig i forhold til en forventet øget efterspørgsel på biomasse de kommende år. Det må anses som sandsynligt, at efterspørgslen på biomasse over hele EU vil stige i takt med, at flere lande begynder at bruge store mængder biomasse i el-, varme- og transportsektoren.

Også udviklingen i olieprisen, og dermed benzinprisen, har stor betydning for bioethanols konkurrenceevne og for CO₂ skyggeprisen. Analysen viser, at såfremt olieprisen ligger under \$90/tønne, vil CO₂ skyggeprisen for 2. generations bioethanol overstige 1000 kr./ton. Hvis olieprisen omvendt overstiger \$155/tønne, bliver CO₂ skyggeprisen negativ. Såfremt olieprisen er \$140/tønne, rammer CO₂ skyggeprisen for 2. generations bioethanol Energi styrelsens forventede CO₂ kvotepris på 230 kr. i 2015. Man skal dog passe på med at konkludere på baggrund af olieprisen alene, da en stigning i olieprisen må formodes også at påvirke fx halmprisen, som udgør en relativt stor del af udgifterne ved produktion af 2. generations bioethanol i eksemplet i nærværende analyse.

På trods af, at markedsprisen for handel med ren CO₂ som industriel gas ifølge centrale aktører i dag er relativt høj (1000-1300 kr./ton)(Kragh 2009 og Pedersen 2009), og på trods af, at Inbicon har udtrykt forventning om et stort marked, har vi i denne analyse valgt *ikke* at regne med, at der i 2015 vil være noget større marked til afsætning af ren CO₂ fra 2. generations bioethanolproduktion. Såfremt 2. generations bioethanolproduktion bliver udbredt over hele EU, må der i 2015 forventes at være særdeles store mængder ren CO₂ i markedet, hvorfor markedsprisen kan forventes at falde drastisk. Skulle det modsatte være tilfældet, og skulle markedsprisen herfor vise sig at være sammenlignelig med den pris som eksempelvis Air Liquide i dag handler ren CO₂ til, nemlig 1000 kr./ton, så bliver produktionsprisen for 2. generations bioethanol bragt ned på 3,11 kr./l (4,84 kr./l benzinækvivalent) og CO₂ skyggeprisen når helt ned på 183 kr./ton.

Salget af biprodukterne biomasse, fodermelasse og ren CO₂ har ligeledes stor betydning for CO₂ skyggeprisen på 2. generations bioethanol. Såfremt den overskydende lignin fra produktionen kan sælges til markedsprisen for halmpiller i stedet for halm, bringes CO₂ skyggeprisen ned på 206 kr./ton, altså lavere end den forventede CO₂ kvotepris på 230 kr. i 2015.⁷

⁷ Inbicon mener at biomasse biproduktet (lignin) ved brug som brændsel i kraftværker udgør et langt bedre brændsel end halm og som minimum bør prissættes til samme værdi som halmpiller.



Årsagen til denne betydelige reduktion skyldes den store prisforskel mellem Energistyrelsens forventede udgifter på halm og halmpiller. Fordi den frem-skrevne prisforskel på halm og halmpiller er langt højere end omkostningerne ved at omdanne halm til halmpiller, er det sandsynligt, at disse to priser vil konvergere i fremtiden. Derfor har vi brugt den mindre værdi i vores grund-scenario.

Samfundsmæssige aspekter

Såfremt produktionen af 2. generations bioethanol viser sig at blive en succes, vil det betyde en forøget efterspørgsel på biomasse. Hvis storskala 2. genera-tions bioethanolproduktion bliver en realitet, vil den nødvendige tilførsel af biomasse til dette formål komme i direkte konkurrence med anvendelsen af biomasse til el- og varmeproduktion. Det kan komme til at betyde, at et kilo halm, som anvendes til bioethanol, øger den samlede CO₂ emission i den Eu-ropæiske transport- og el-sektor i stedet for at mindske den (fx gennem brug af andre virkemidler som CDM), tvinger kraftværkerne til at bruge dyrere bio-brændsler, eller resultater i højere kvotepriser.

Fra et samfundsperspektiv er også energieffektivitet og minimering af tab af energi af afgørende betydning. Derfor er det relevant at se på energibalancen forbundet med 2. generations bioethanolproduktion. Ifølge de anvendte data fra Jensen og Thyø (2007), vil bioethanolanlægget have et årligt energimæs-sigt input på løst anslået 3,0 mio. GJ og et output på 2,1 mio. GJ med et ener-gitab på 30 %. Hvis vi kun ser på energibalancen for bioethanol, bruges der 2,3 mio. GJ halm på at producere 0,93 mio. GJ bioethanol. Endelig skal det be-mærkes, at mængden af energi, der i processen konverteres til bioethanol, er lig mængden af den energi, der går tabt under produktionsprocessen. Der er her tale om væsentlige tab, som bør tages i betragtning, når denne teknologi sammenlignes med andre muligheder for at øge andelen af vedvarende energi i transportsektoren.

Baggrund

Ea Energianalyse er af Partnerskabet for Biobrændstoffer blevet bedt om at levere et uafhængigt dokument om de samfundsøkonomiske aspekter ved satsning på 2. generations bioethanol som et input til hvidbog herom. Opga-ven gennemføres som et kort litteraturstudie suppleret med egne beregnin-ger og analyser. Forud for opgavens udførelse er der i enighed med opdrags-giver foretaget en række afgrænsninger, der tilsammen udgør de grundlæg-gende præmisser for konklusionerne:

- Der fokuseres alene på 2. generation bioethanol



- Det forudsættes, at der *skal* gennemføres CO₂ reducerende tiltag i transportsektoren indenfor en periode, og at 2. generations bioethanol kan yde et af flere bidrag hertil.
- Det forudsættes, at den bindende europæiske målsætning om 10 % vedvarende energi i transportsektoren i 2020 og den danske målsætning om 5,75 % bæredygtige biobrændstoffer som andel af det samlede benzin og dieselsalg i 2012 skal opfyldes. Det forudsættes endvidere at 2. generation bioethanol skal yde et bidrag til opfyldningen af disse mål. Spørgsmålet om, hvor vidt biomassen kan anvendes mere effektivt andre steder (ved fx kraftvarmeproduktion), behandles ikke indenfor dette projekt.
- Det forudsættes, at der udelukkende anvendes dansk biomasse ressourcer

CO₂ reduktioner i transportsektoren

I EU's VE-direktiv af 23. april 2009 (DIR 2009/28/EC) forpligtes medlemslandene til et bindende mål på 10 % vedvarende energi i transportsektoren i 2020. Hvis biobrændstoffer skal bidrage til opfyldelsen af dette mål skal produktionen og anvendelsen af disse følge de i direktivets artikel 17 opsatte bæredygtighedskriterier, der blandt andet sætter nedre grænser for biobrændstoffets drivhusgasfortrængning. Det betyder, at produktion af biobrændstoffer fra direktivets ikrafttræden skal medføre en drivhusgasfortrængning på minimum 35 %. Kravene skærpes til i 2017 at være 50 % for eksisterende produktionsfaciliteter og i 2018 at være 60 % for nye produktionsfaciliteter sat i drift fra 1. januar 2007 og frem. Beregningsmetode til drivhusgasfortrængninger er angivet i direktivets artikel 19.

VE-direktivet sætter således en minimumsgrænse for andelen af VE i transportsystemet. Bioethanol udgør en blandt flere muligheder for at øge VE-andelen i transportsektoren. Biodiesel, biogas og eldrevne køretøjer er eksempler på andre måder at bringe vedvarende energi ind i transportsektoren.

Anvendelsen af anden generations flydende biobrændstoffer i transportsektoren tæller desuden dobbelt i forhold til opnåelsen af andelen på 10 % vedvarende energi i 2020. Dette betyder i praksis, at vælger man at opfylde VE-direktivets 10 % mål alene ved hjælp af 2. generations bioethanol, kan man nøjes med at anvende 5 % 2. generations bioethanol i transportsektoren.

Er fokus på CO₂ fortrængning i transportsektoren kan alternative virkemidler bl.a. omfatte effektivisering af biler (bedre brændstoføkonomi), forbedringer i



vej og trafikinfrastruktur, større brug af offentlig transport og uddannelse i energirigtig kørsel (McKinsey 2009). Disse virkemidler bidrager imidlertid ikke til opfyldelsen af EU's målsætning om 10 % vedvarende energi i transportsektoren i 2020.

Direktivet om brændstofkvalitet (DIR 2009/30/ EF), pålægger Oliebranchen en 10 % reduktion af CO₂ emissioner i 2020, hvoraf de 6 % er bindende og skal frembringes via biobrændstoffer, raffinaderiteknologi eller gasafbrænding (flaring).

Resultatet af nærværende samfundsøkonomiske vurdering af 2. generations bioethanol skal vurderes i forhold til de samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster ved at gennemføre alternative virkemidler til opnåelse af CO₂ fortrængninger. En vurdering af de samfundsmæssige omkostninger ved øvrige CO₂ reducerende tiltag ligger imidlertid udenfor denne analyse.

Samfundsøkonomiske analyser af bioethanolproduktion

Hvad angår den samfundsøkonomiske vurdering, der ligger til grund for dette notat, har vi valgt at følge Energistyrelsens forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet hvad angår fremskrivning af brændselspriser og elpriser. Data for mængder i forbindelse med input og output er i vid udstrækning baseret på Jensen og Thyø's (2007) analyse af Inbicons Ibus-koncept, mens priser og værdier for råvarer og output er baseret på nye data fra relevante kilder. Det skal her bemærkes, at de værdier for effektivitet, vi har anvendt fra Jensen og Thyø (2007), er højere end forventninger fra Inbicon i relation til deres demonstration af Ibus-konceptet i Kalundborg (Larsen 2009). Imidlertid peger andre studier på lige fod med denne analyse på en højere potentiel effektivitet på fremtidige anlæg, særligt hvis det lykkes at opnå succes med konvertering af C5 sukkerstoffet i halmen til bioethanol.

Vi har valgt at foretage en let forsimplet analyse af den samfundsøkonomiske omkostning ved CO₂ fortrængning ved 2. generations bioethanolproduktion. Det vil sige, at vi på baggrund af tilgængelige data har foretaget en vurdering af de økonomiske og energimæssige strømme omkring produktion af 2. generations bioethanol på et fiktivt fuldskala anlæg.

Årsagen til at nærværende analyse karakteriseres som en simpel analyse er, at vi har udelukket en række forhold med betydning for samfundsøkonomien set i et livscyklusperspektiv og udelukkende har fokuseret på selve produktionsprocessen. Således indeholder analysen ikke overvejelser omkring andre luft-



forureningsforhold i forbindelse med produktionen, genanvendelse af anden biomasse og miljøeffekter heraf, effekter på vandmiljø i forbindelse med omsætning af humus eller forhold omkring nedmuldning. Analysen medtager heller ikke kvantificeringer af politiske forhold som fx beskæftigelse, afledt teknologisk udvikling, omkostninger/besparelser på infrastruktur, øget forsyningssikkerhed mv.

Skyggepris

CO₂ skyggeprisen defineres som det beløb, det koster samfundet at spare et ton CO₂. I dette tilfælde fremkommer CO₂ besparelsen ved de lavere emissioner, der er forbundet med brugen af 2. generations bioethanol frem for benzin. Ved beregning af reduktionsomkostningerne pr. ton CO₂ ved brug af bioethanol frem for benzin, beregnes derfor produktionsomkostninger såvel som CO₂ emissioner fra begge alternativer. Efter først at have beregnet produktionsprisen på 2. generations bioethanol er denne sammenlignet med produktionsprisen på den energi-ækvivalente mængde af en liter benzin. Forskellen på disse to værdier ganges efterfølgende med de ekstra CO₂ emissioner, der er forbundet med at bruge en liter benzin i forhold til at bruge den energi-ækvivalente mængde bioethanol, og derved fremkommer CO₂ skyggeprisen, som den fremgår nedenfor.

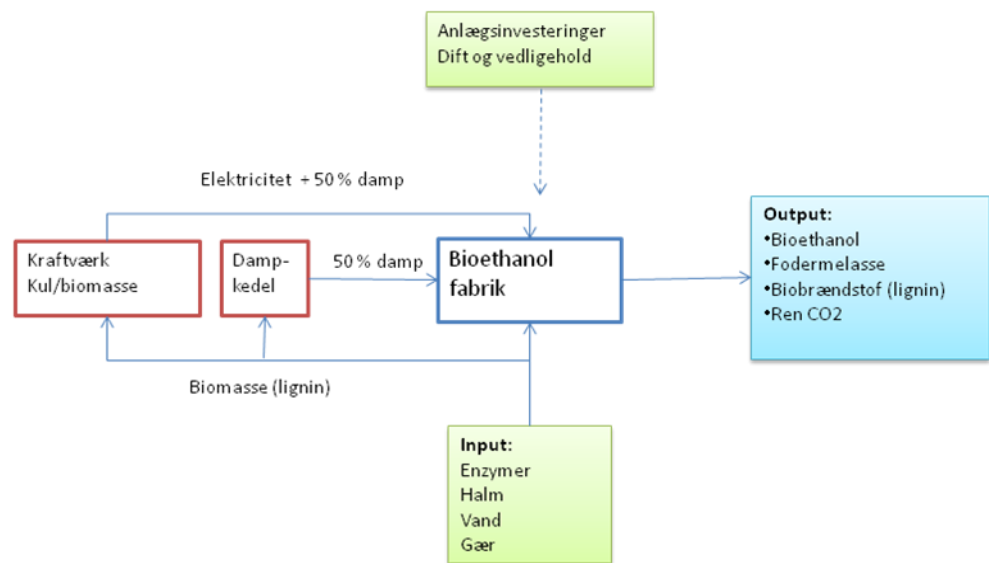
Produktionsomkostningerne for en liter benzin er baseret på Energistyrelsens benzinpris på 133,9 kr./GJ i 2015, hvilket svarer til en pris på 4,40 kr./liter. Hver liter benzin har et CO₂-indhold på 73 kg/GJ, svarende til 2,40 kg CO₂ per liter benzin. For 2. generations bioethanol regnes med en CO₂ emissionsfaktor på 0, og derfor kan skyggeprisen beregnes ved at gange forskellen i produktionsomkostningerne for en til en liter benzin svarende mængde bioethanol, med den nævnte emissionsfaktor på 73 kg/GJ. Denne skyggepris afspejler altså de samfundsmæssige omkostninger til reduktion af CO₂ ved brug af 2. generations bioethanol som erstatning for benzin, og den kan derefter sammenlignes med andre emissionsbegrænsende muligheder og/eller CO₂ kvoteprisen.⁸

⁸ Det bør bemærkes, at i beregningen af CO₂ skyggeprisen for 2. generations bioethanol, er CO₂ besparelser fra brugen af biproduktet fodermelasse ikke inkluderet. CO₂ besparelser fra brugen af biomasse biproduktet er ligeledes ikke inkluderet, fordi det forventes at biomassen i stedet ville have været anvendt i et kraftværk.



Set-up

Vi har som nævnt valgt at operere med en fiktiv fuldskala 2. generations bioethanolfabrik i tilknytning til et kraftværk, fordi en integration mellem disse giver mulighed for en effektiv overførsel af produkter mellem de to faciliteter. Da kraftværket ikke kan antages at være i produktion altid, har vi tilknyttet en biomassekedel, der kan levere en del af den nødvendige damp. Vi har antaget, at bioethanolfabrikken kører ca. 7500 timer om året. Den tilknyttede biomassefyrede dampkedel har en virkningsgrad på 85 %. Det forudsættes, at kraftværket og dampkedlen leverer hver 50 % af den nødvendige damptilførsel til bioethanolfabrikken (se senere forklaring).



Figur 1: Design af den fiktive 2. generations bioethanolfabrik, der ligger til grund for analysen.

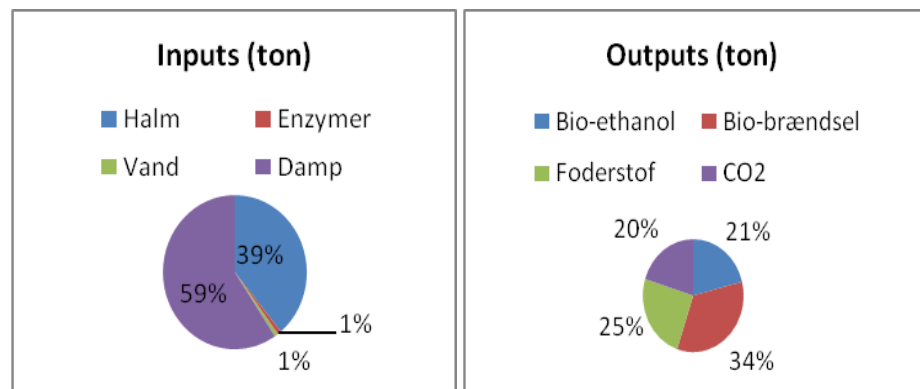
Input til bioethanolfabrikken er således, som det fremgår af figuren, biomasse (halm), enzymer, elektricitet, vand, damp og gær fra kraftværket og damp fra dampkedlen, mens output bliver hovedproduktet bioethanol samt biprodukterne fodermelasse, biobrændstof (lignin) og ren CO₂. Produktionsprocessen er inspireret af Inbicons Ibus-koncept, da de bedst tilgængelige data på nuværende tidspunkt stammer herfra. Der er i Danmark planlagt opførelse af andre demonstrationsanlæg, hvor produktionsprocessen og dermed resultaterne af denne type analyse vil variere fra det valgte.



Input			Output		
Halm	160.000	ton	Bioethanol	34.720	ton
Enzymer ⁹	3.600	ton	Biobrændsel	56.480	ton
Vand	3.136	ton	Foderstof	40.640	ton
Gær ¹⁰	<u>N/A</u>		CO2	<u>33.420</u>	ton
Total Vægt	166.736	ton	Total Vægt	165.260	ton
Damp	244.000	ton	Proces Vand	ca. 245.000	ton

Tabel 1: Mængdemæssigt input og output på den fiktive bioethanolfabrik, der er genstand for analysen.

Ovenstående tabel angiver input og output i mængder. Forholdet mellem mængderne er i vid udstrækning baseret på Jensen og Thyø (2007).



Figur 2: De mest betydningsfulde input og output for den fiktive bioethanolfabrik. Forskellen i størrelsen på de to figurer afspejler at procesvandet ikke er inkluderet.

Nedenfor er groft skitseret energibalancen mellem input og output baseret på de ovenfor angivne mængdeforhold.

Produkt	Input (per år)	
	Mængde	Energi (GJ)
Halm (ton)	160.000	2.320.000
El (MWh)	30.720	110.592
Enzymer (ton) ¹¹	3.600	3.816
Damp (MWh)	176.000	<u>633.600</u>
Total:		3.068.008

⁹ Anslået vægt, men ikke anvendt i beregningerne.

¹⁰ Meget lav værdi, mængden er ikke verificeret.

¹¹ Anslået vægt, men ikke anvendt til at beregne omkostninger. Vi har i stedet anvendt en værdi per liter bioethanol, leveret af Novozymes (Mogensen 2009). Energiindholdet er baseret på en løst antagelse om 10 % tørvægt og en værdi på 10,6 MJ/kg.



Output (per år)		
<u>Produkt</u>	<u>Mængde</u>	<u>Energi (GJ)</u>
Bioethanol (l)	43.949.367	927.024
Foderstof (ton) ¹²	40.640	375.107
Biobrændsel (ton)	56.480	818.960
Total:		2.121.091

Tabel 2: Energibalancen målt i GJ mellem input og output for den fiktive 2. generations bioethanolfabrik, der er genstand for analysen.

Forbehandlingen af halmen er et af de kritiske elementer i produktionsprocessen, som er kendetegnet ved enzymatisk hydrolyse og efterfølgende fermentering. Nedbrydning af lignocellulose (lignin), cellulose (C₆ sukker) og hemicellulose (C₅ sukker) er energikrævende processer med stor betydning for det samlede energiregnskab i produktionsprocessen. Nedbrydningen af lignocelluloses struktur sker i Inbicons Ibus koncept ved dampbehandling og efterfølgende nedvaskning, hvorfor tilførsel af damp udgør et vigtigt input til processen. Den efterfølgende hydrolyse foregår ved tilførsel af enzymer til frigørelse af sukkerstofferne i halmen, hvilket på grund af høje enzympriser har udgjort en betydelig omkostning i processen. Senere års hastige reduktion i enzympriser, har dog mindsket dette problem. Ved den endelige fermentering af sukkerstofferne er i øjeblikket den største udfordring at konvertere både cellulosen (C₆) og hemicellulosen (C₅) til ethanol. Ifølge Inbicons afprøvninger af Ibus konceptet har vist det muligt at opnå økonomisk balance ved udelukkende at konvertere C₆ sukkeret til ethanol og lade C₅ sukkeret indgå i biproduktet melasse, som efterfølgende sælges som dyrefoder (Larsen et al, 2008). Der er dog ingen tvivl om, at udviklingen af metoder til at konvertere begge sukkerstoffer til ethanol vil medføre en afgørende forbedring af økonomien i produktionsprocessen (Tuxen, 2009).

Forudsætninger for beregninger

De beregninger, vi foretager på baggrund af ovenstående set-up, er baseret på en række forudsætninger og antagelser. Rigtigheden af resultaterne i denne analyse afhænger i høj grad af rimeligheden af nedenstående forudsætninger.

¹² Foderstof brændværdi fra Jensen og Thyø, 2007.



Priser på råvarer

Hvad angår priser og prisfremskrivninger på råolie, benzin og halm, har vi anvendt Energistyrelsens "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet" fra maj 2009.

Elprisfremskrivninger af CO₂ kvoteprisen

Til fremskrivning af elprisen til 2015 har vi anvendt den vægtede Nordpool elpris for 2015, som den er angivet i Energistyrelsens "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet" fra maj 2009 (486 kr./MWh). CO₂ kvoteprisen for 2015 er ifølge Energistyrelsens forudsætninger 230 kr./ton.

Investering, drift og vedligehold

Baseret på forskellige kilder, vil anlægsinvesteringerne til en 2. generations bioethanolfabrik som kan producere 35.500 t/år ligge løst anslået mellem 495.000.000 kr. og 590.000.000 kr. (COWI 2007, Jensen & Thyø 2007). Vi har valgt at anvende den gennemsnitlige værdi for disse to estimater, 542.500.000 kr., en levetid på 20 år, en rente på 6 %, og har efterfølgende baseret vore beregninger på et enkelt år, år 2015.

De ovennævnte tal resulterer i årlige kapitaludgifter på 47,3 mio. kr. Desuden er årlige omkostninger til drift og vedligehold anslået til 21,0 mio. kr. (Jensen & Thyø 2007).

Halm

Den vigtigste tilførsel til den i analysen anvendte bioethanolfabrik er halm, og det forventes, at et anlæg på denne størrelse vil kræve tilførsel af 160.000 ton halm årligt. Ifølge Energistyrelsen ligger den anslåede pris for halm i 2015 på 33,2 kr./GJ (481 kr./ton), og prisen for leveret halm på 45,6 kr./GJ (661 kr./ton). Vi har valgt at bruge prisen for leveret halm, hvilket resulterer i årlige udgifter til halmtilførsel på 105,8 mio. kr.

Damp

Den nødvendige damptilførsel til den i analysen anvendte bioethanolfabrik er 176.000 MWh/år, eller 633.600 GJ/år (Jensen & Thyø 2007). Givet den tidligere antagelse om, at det tilknyttede kraftværk ikke vil være i drift hele tiden, har vi antaget, at 50 % af dampen skal leveres af kraftværket, og 50 % fra en 23,5 MW biomassefyret dampkedel, og at denne kedel vil have kapacitet nok til at levere 100 % af den nødvendige damp, når det er påkrævet. En kedel,



der producerer de nødvendige 10-40 bar damp vil have en effektivitet på ca. 85 %, og vil derfor kræve en energitilførsel på 372,706 GJ/år (Energi Styrelsen 2005).¹³

Hvis halmen har en energikapacitet på 14,5 GJ/ton, vil dampkedlen kræve en tilførsel på 25,704 ton halm til en pris af 33,2 kr./GJ til at producere den nødvendige damp, hvilket resulterer i en variabel omkostning på tilførsel af damp fra kedlen på 141 kr./MWh.¹⁴ Dette omfatter dog kun de rene omkostninger for damptilførslen – hertil skal lægges de cirka 70 kr./ MWh i kapitalomkostninger, der er forbundet med investeringen i dampkedlen.¹⁵ Med 210 kr./MWh ved 88,000 MWh/år, resulterer dette i en årlig udgift på 18,5 mio. kr.

Dampomkostningerne fra kraftværket antages at være 97,2 kr./MWh. Dette tal er baseret på en elpris på 486 kr./MWh i 2015, og den antagelse, at et kraftværk vil have en omtrentlig reduktion på 20 % i el-produktionen for hver MWh af dampproduktionen (Energistyrelsen 2005).¹⁶ De 88,000 MWh/år fra kraftværket resulterer i en udgift på 8,5 mio. kr., og samlede årlige dampomkostninger på 27,1 mio. kr.

Enzymer

Prisen på enzymer til 2. generations bioethanol forekommer særdeles usikre og er i hastig udvikling. Vi har i dette notat valgt at anvende Novozymes egne anslåede priser for enzymer, med den (u)sikkerhed det giver.

Ifølge Johan Mogensen fra Novozymes, forventes prisen på enzymer til 2. generations bioethanolproduktion i 2015 at ligge på omkring 0,40 kr. l bioethanol. Med en forventet bioethanol produktion på 34,720 tons (43,9 mio. liter), svarer dette til årlige enzymudgifter på 17,6 mio. kr. (Mogensen 2009).

¹³ Ifølge "Teknologidata for el og varme kraftværker", er 2015- effektiviteten af en biomassekedel 108 %. Den nødvendige damp er imidlertid udtaget ved en højere temperatur, og derfor har vi regnet med en lavere effektivitet på 85 %.

¹⁴ Energi Styrelsens 2015 halm-værdi – Vi har valgt at anvende prisen uden levering, fordi bioethanol anlægget producerer et meget lignende biprodukt.

¹⁵ Baseret på 20 år levetid, 6 % rente, 3000 fuldlasttimer, 23 MW kapacitet, og en kapitalomkostning på ca. 3,0 mio. kr. per MW.

¹⁶ CV for et kul- eller biomassekraftværk er 0,15, og på grund af den højere temperatur og tryk af den påkrævede gennemstrømning, har vi antaget en 20 % nedgang i el-produktionen i forbindelse med udtaget af damp fra kraftværket.



EI

Bioethanolanlægget forventes at kræve 30,720 MWh elektricitet på årsbasis (Jensen & Thyø 2007). Med 2015-elprisen fra Energistyrelsens forudsætninger på 486 kr./MWh, giver det en årlig eludgift på 14,9 mio. kr.

Vand

Det sidste signifikante input er vand, selv om det udgør en forholdsvis lille andel i forhold til dit andre inputs, da den årlige efterspørgsel kun er 3,136 tons. Med en pris på 15 kr./ton resulterer det i en årlig udgift på kun 47,040 kr. (Jensen & Thyø 2007).

Salg af melasse til dyrefoder

Inbicon har oplyst, at de forventer at kunne sælge biproduktet suktermelasse fra bioethanolproduktionen som dyrefoder til samme pris som sukkerroemelasse.

Ifølge Dansk Landbrugs Grovareselskab (DLG), forventes prisen for roemelasse at være mellem 750 og 1050 kr./ton i perioden 2010-2015 (Hansen 2009). Derfor har vi valgt at bruge en pris på 900 kr./ton som vores referencepris for melasse i 2015. Med en forventet årlig produktion på 40,640 ton melasse (Jensen & Thyø 2007), svarer dette til en indtægt fra biproduktet på ca. 36,6 mio. kr. ved salg som dyrefoder.

Salg af biobrændsel (lignin) til kraftvarmeværker

Bioethanolanlægget forventes at producere 56,480 tons biomasse som biprodukt. Som bemærket tidligere, er biobrændselsproduktet af samme karakter som halm og kan udnyttes i kraftvarmeværker, og derfor har vi valgt at bruge Energistyrelsens 2015-pris på halm på 33,2 kr./GJ (481 kr./ton).¹⁷ Med en mængde på 56,600 ton, resulterer resultatet dette i en værdi på 27,2 mio. kr.

Salg af Industriel CO₂

Med hensyn til det sidste biprodukt, ren CO₂, diskuteres det, om denne kan sælges som industrigas. Der er imidlertid ikke tidligere erfaringer hermed i

¹⁷ Det skal bemærkes, at Inbicon har givet udtryk for, at biomasse biproduktet i højere grad ligner det mere værdifulde produkt halmpiller, snarere end halm (Persson 2009). Såfremt, det forholder sig således, vil de 56,600 tons halmpiller sandsynligvis blive solgt, og de 40,308 tons biomasse vil blive erstattet med supplerende køb af halm. Et scenarie, hvor dette er tilfældet, vil blive fremlagt senere.



Danmark. Værdien af ren CO₂, såfremt den er af en kvalitet, der kan anvendes som industriel gas og er certificerbar, ligger ifølge Carlsberg Danmark på ca. 1,33 kr./kg (Pedersen 2009). Air Liquide, et selskab, der handler med industrielle gasser, angiver en løst anslået værdi på cirka 1,000 kr./ton kvalitets CO₂ (Kragh 2009).¹⁸

Der er imidlertid stærke argumenter for at anvende en betydeligt lavere værdi i denne analyse. For det første indkøber fx Carlsberg Danmark i øjeblikket knap 200 ton CO₂ pr måned, hvilket udgør en meget lille del af det forventede output fra bioethanolfabrikken på 33,420 tons om året. Såfremt den høje CO₂ pris på over 1000 kr./ton skal realiseres skal der sikres købere blandt en række andre industrielle brugere af CO₂. Inbicon indikerer imidlertid, at de forventer at der i Danmark er et marked for afsætning af industriel CO₂ på over 100.000 tons og bemærker i denne forbindelse, at man bør betragte et nordeuropæisk marked frem for et isoleret dansk marked (Persson 2009). Imidlertid vil EU's VE-direktiv, som tilskynder udnyttelsen af 2. generations biobrændstoffer i hele Europa sandsynligt føre til en øget produktion af bioethanol og dermed et overskud af CO₂ som biprodukt og dermed stadig reducere værdien drastisk.

En anden usikkerhed vedrører kvaliteten af den CO₂, der produceres i bioethanolanlægget. Carlsberg Danmark betaler fx en høj pris for sin CO₂, fordi det opfylder en meget høj og certificerbar standard. At opgradere CO₂ biproduktet til denne standard kan medføre betydelige udgifter, afhængigt af kvaliteten af CO₂ biproduktet. Inbicon har i forbindelse med denne analyse dog påpeget, at de ifølge leverandører af industriel CO₂ ikke forventer at have problemer med at producere CO₂ i den fornødne kvalitet (Persson 2009).

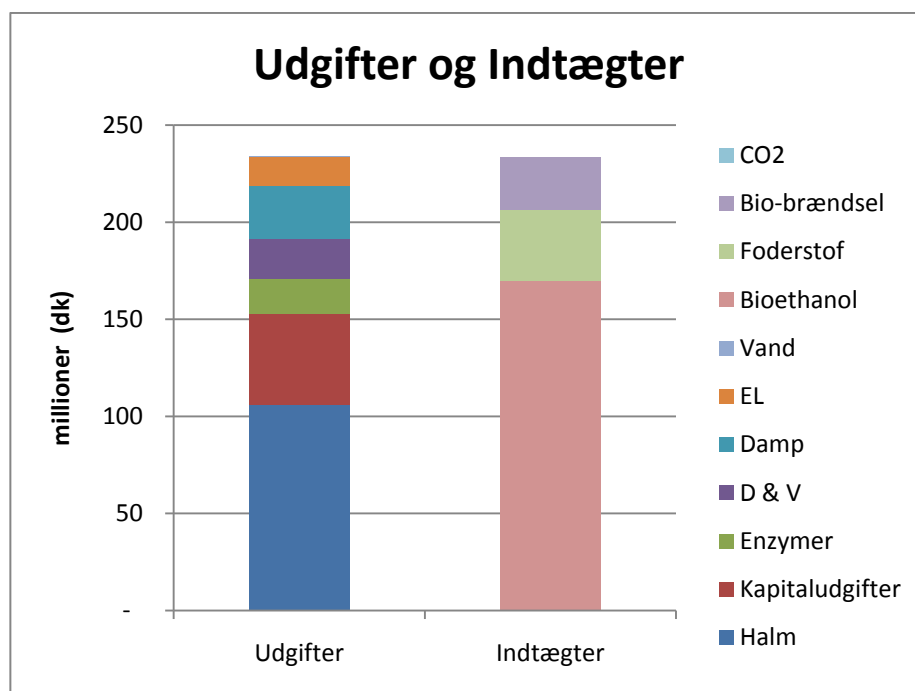
På trods af uoverensstemmelser mellem dette studies og Inbicons forventninger til prisen for industriel CO₂ kan der med rimelighed siges, at der hersker betydelige usikkerheder om mulighederne for afsætning af CO₂ som biprodukt og de priser, der kan forventes ved salg. Derfor har vi i denne analyse valgt at imødegå denne usikkerhed med størst mulig forsigtighed og derfor anvendt en værdi på 0 kr./ton.

¹⁸ Det er dog værd at bemærke, at tidligere forskere har brugt lavere værdier, der spænder fra 0 til 300 kr./ton (Jensen & Thyø 2007).



Balance mellem udgifter og indtægter

Baseret på ovenstående forudsætninger, er i figur 2 illustreret balancen mellem udgifter og indtægter fordelt på de forskellige input og output i den fiktive bioethanolfabrik.



Figur 2: Balance mellem udgifter og indtægter (økonomisk input og output) for den fiktive bioethanolfabrik, der er genstand for denne analyse.

Som det fremgår af figuren, er de mest kritiske udgifter brændselsudgifter (halm) efterfulgt af kapitaludgifter og til en vis grad damp. På indtægtssiden er det værd at bemærke, at salget af de tre biprodukter ved produktionen tilsammen udgør en meget stor del af indtjeningen.

Resultater

Givet ovenstående forudsætninger og antagelser omkring udgifter og indtægter ved 2. generations bioethanolproduktion vil de samlede omkostninger ved at producere 34,720 tons (næsten 44 mio. liter) bioethanol i 2015 være knap 140 mio. kr. Dette svarer til en produktion pris på 3,87 kr./l. Ved en sammenligning af bioethanol og benzin, skal der tages hensyn til de respektive energimæssige værdier af de to brændstoffer. Bioethanol har en brændværdi på 26,7 GJ/ton og en densitet på 0,79 kg/l, hvilket svarer til et energiindhold på 21,1 MJ/l. Benzin har en brændværdi på 43,8 GJ/ton, og en densitet på 0,75 kg/l, hvilket svarer til et energiindhold på 32,9 MJ/l. Det er 1,6 gange større



end for bioethanol, og derfor vil en bil kræve 1,6 gange så meget bioethanol i forhold til benzin for at køre den samme afstand.¹⁹

Set i forhold til benzin er den energi-ækvivalente pris på 2. generations bioethanol 6,02 kr./liter. Da produktionsomkostningerne for benzin i 2015 anslås til at være 4,40 kr./liter, resulterer dette i en ekstrapris på 1,62 kr./liter for bioethanol.

	Millioner kr.
Kapitaludgifter (i alt)	47,3
D & V	21,0
Halm	105,8
Enzymer	17,6
Vand	0,0
Damp	27,1
EL	14,9
Total	233,7
Biobrændsel	27,2
Foderstof	36,6
CO ₂	-
Total	63,8
Netto omkostninger	169,9
Netto omkostninger bioethanol kr./GJ	183,32
Netto omkostninger bioethanol kr./l	3,87
Bioethanol pris i benzinækvivalent (kr./l)	6,02
Benzin pris (kr./l)	4,40
Ekstrapris for bioethanol (kr./l)	1,62
Kr./ton CO₂	677,05

Tabel 3: Nøgleresultater fra analysen af den i analysen beskrevne bioethanolfabrik. Fortrængningsprisen, også kaldet skyggeprisen, for CO₂ er godt 677 kr./ton.

Den energi-ækvivalente volumen af 43,9 mio. liter bioethanol svarer til 28,2 mio. liter benzin. Benzin har et CO₂ indhold på 2,40 kg/liter, hvilket svarer til en CO₂ besparelse på 67,673 tons.²⁰ Dette resulterer i en CO₂ skyggepris på

¹⁹ Det skal bemærkes, at nogle studier har antydnet, at en bilmotor kan udnytte bioethanol mere effektivt og derfor kræver mindre energi. Der er imidlertid endnu ikke draget klare konklusioner på dette punkt.

²⁰ Et CO₂ indhold på 2,43 kg/l er baseret på en benzin densitet på 0,75 kg/l, en benzin brændværdi på 43,8 GJ/ton, og et CO₂ indhold på 73 kg/GJ.



677 kr. /ton (beregnet per liter benzin). Med en CO₂ kvotepris i 2015 på 230 kr./ton baseret på Energistyrelsens forudsætninger, er en CO₂ skyggepris på 677 kr./ton næsten tre gange den forventede kvotepris. Hertil skal dog bemærkes at der er analyser af de forventede CO₂ reduktionsomkostninger i den ikke-kvotefattede sektor på der peger på at reduktionsomkostningerne kan blive væsentligt højere (DØRS, 2009).

Vores centrale skøn, en skyggepris på 677 kr./ton, ligger i øvrigt på linje med tilsvarende analyser (Carlsen et al, 2006)

Følsomhedsanalyse

Givet at et 2. generations bioethanolanlæg af den i analysen skitserede størrelse stadig er af teoretisk natur, gør det samme sig gældende for størrelser og priser på inputs og outputs. Derfor har vi gennemført en simpel følsomhedsanalyse, hvor hver enkelt af nøgletallene øges eller sænkes med 30 % med henblik på at se, hvilken effekt dette vil have på produktionsprisen og CO₂ skyggeprisen. Resultaterne af følsomhedsanalysen fremgår i nedenstående tabel.

	Netto produktionsomkostninger bioethanol		CO ₂ skyggepris		Usikkerhed
	kr./l	% forsk.	kr./ton	% forsk.	
<u>Baseline</u>	<u>3,87</u>		<u>677</u>		
<u>Kapital</u>					
Kapitaludgifter, bioethanolanlæg	4,19	8,3%	887	31,0%	Mel
Drift og vedligehold (kr./år)	4,01	3,6%	770	13,7%	Lav
Halmkedel pris (kr./MW)	3,91	1,0%	704	4,0%	Lav
Renten	4,05	4,7%	796	17,6%	Lav
År	3,72	-3,9%	584	-13,8%	Lav
<u>Priser</u>					
Enzymer pris kr./liter	3,99	3,1%	755	11,5%	Høj
elpris (kr./MWh)	4,03	4,1%	781	15,4%	Mel
Vand pris (kr./ton)	3,87	0,0%	677	0,0%	Lav
Halm Pris (kr./GJ)	4,49	16,0%	1080	59,6%	Mel
Biobrændsel pris (kr./ton)	3,68	-4,9%	557	-17,8%	Høj
Foderstof pris (kr./ton)	3,62	-6,5%	515	-23,9%	Mel
Benzin pris (kr./GJ)			127	-81,3%	Høj

Tabel 4: Følsomhedsanalyse med 30 %.



I følsomhedsanalysen har vi øget hver enkelt faktor med 30 % mens vi har fastholdt de resterende værdier på alle de øvrige faktorer med henblik på at se, hvilke dele af processen, der er mest følsomme overfor ændringer i pris eller effektivitet. Dette er naturligvis udtryk for en simplificering eftersom priserne på de enkelte faktorer er tæt forbundet til hinanden. Hvis fx benzinprisen stiger med 30 % er det sandsynligt at flere af de øvrige in- og outputs også vil opleve en vis stigning. På den anden side, er det stadig en udmærket måde at belyse de mest betydningsfulde facetter i produktionsprocessen.

Hvad angår de investeringsmæssige aspekter afslører analysen, at både brug af en højere rentesats end de i analysen anvendte 6 % såvel som anvendelse af en markant højere kapitalinvestering vil have stor effekt på produktionsomkostningerne for bioethanol. Miljøstyrelsen anbefaler brugen af en rentesats på kun 3 %, og ved et sådant scenarie vil produktionsomkostningerne for 2. generations bioethanol blive reduceret med 7,2 % til 3,59 kr./l (svarende til 5,59 kr./l benzinækvivalent). Dette fører til en 26,7 % reduktion i CO₂ skyggeprisen, som falder til 496 kr./ton.

Hvad angår priser er markedspriser for afsætning af biprodukterne biomasse, fodermelasse og industriel CO₂ af stor vigtighed for resultaterne. Vigtigst er dog indkøbsprisen for halm til produktionsprocessen, hvilket ikke er overraskende taget i betragtning af, at halm udgør 45 % af de samlede udgifter til produktionen.

Ved gennemførelse af en følsomhedsanalyse er et andet element, der skal tages under overvejelse, graden af usikkerhed forbundet med de enkelte værdier. Et godt eksempel er den ovenfornævnte rentesats, der hvis den forhøjes med 30 % ville betyde en ændring på 4,7 % i nettoomkostningerne for bioethanol. Dette er mindre end den ændring, som en 30 % ændring af enzympriserne ville forårsage. Ikke desto mindre er de fremtidige enzympriser behæftet med langt større usikkerhed end rentesatsen, hvorfor værdien af enzymerne bliver genstand for et større fokus i analysen.

Set i dette lys er de mest interessante variable (nævnt med den mindst vigtige først) markedsprisen på biprodukterne fodermelasse og biobrændsel²¹, investeringsomkostninger, halm-input prisen, effektiviteten af produktionsprocessen, benzin og olieprisen og endelig salgsprisen for ren CO₂.

²¹ Usikkerheden forbundet med salgsprisen af biomassen er relateret til denne ovennævnte mulighed for at biomassen ligner halmpiller/ træpiller og derfor kan opnå en værdi der ligger over det dobbelte af halmprisen.



Ren CO₂

Der er meget stor usikkerhed forbundet med mængden af den CO₂, der bliver produceret som biprodukt ved 2. generations bioethanolproduktion, kvaliteten af produktet (såfremt kvaliteten ikke når et vist niveau kan det være omkostningsfuldt at opgradere den) og endelig den pris den kan forventes at kunne sælges til. Når vi har citeret kilder, der nævner priser der spænder fra 1.000 kr./ton til 1.300 kr./ton, er dette forudsat en høj kvalitet af produktet og relativt små mængder (Carlsberg Danmark indkøber i øjeblikket 2400 ton CO₂ årligt: Pedersen 2009). Imidlertid vil den i analysen anvendte bioethanolfabrik have mere end 30.000 ton CO₂ til salg om året. På grund af denne usikkerhed omkring CO₂ biproduktet har vi også gennemført en lille separat analyse med forskellige salgspriser for CO₂ og disses betydning for bioethanolprisen og CO₂ skyggeprisen. Resultaterne af denne analyse fremgår af tabel 6.

CO ₂ Produktionspris	Nettoomkostninger bioethanol	CO ₂ skyggepris
kr./ton	kr./l	kr./ton
0	3,87	677
100	3,79	628
200	3,71	578
300	3,64	529
400	3,56	480
500	3,49	430
600	3,41	381
700	3,33	331
800	3,26	282
900	3,18	233
1000	3,11	183
1100	3,03	134
1200	2,95	84
1300	2,88	35
1400	2,80	-14
1500	2,73	-64

Tabel 5: Følsomhedsberegninger på markedsprisen for CO₂ solgt som industriel gas.

Tabellen viser følsomhedsberegninger på variationer i prisen på CO₂ solgt som industriel gas. I analysen har vi som nævnt anvendt en anslået pris på 0 kr./ton til trods for oplysninger fra hhv. Carlsberg og Air Liquide om en pris på mellem 1000 og 1300 kr./ton. Dette ud fra tidligere nævnte forventning om, at der dels vil være omkostninger forbundet med at omdanne CO₂ biproduktet til en kvalitet, der kan udløse så høj en pris, og dels at markedet for afsæt-



ning af ren CO₂ på sigt vil være begrænset, hvis det forventes at bioethanolproduktion bliver udbredt frem mod 2020.

Biobrændsels-biproduktet

Såfremt biomasse-biproduktet (lignin) er sammenligneligt med halmpiller eller træpiller og kan sælges som dette, vil produktet være i stand til at opnå en langt højere markedspris end den anvendte halmpris på 33,2 kr./GJ. Halmpiller har en anslået pris på 77,8 kr./GJ i 2015 – for træpiller ligger prisen på 70,2 kr./GJ. I dette scenarie vil nettoomkostningen ved 2. generations bioethanolproduktion blive reduceret til 3,14 kr./liter og CO₂ skyggeprisen vil bringes ned på 206 kr./ton.²²

Benzin og olie pris

Ved sammenligning af 2. generations bioethanol med benzin, er prisen på benzin meget vigtig, da et stort sving i olieprisen vil resultere i at bioethanolen bliver meget mere (eller mindre) konkurrencedygtig. Tabel 6 beskriver de underliggende priser på olie i relation til den produktionspris på benzin, der anvendes i denne analyse. Produktionsprisen for benzin, en kurs for danske kroner til US\$ på 5,81, et inflationsindeks fra 2007 til 2015 på 1,243, og en omregningsfaktor for prisen for råolie til benzin på 1,33 er alle værdier baseret på Energistyrelsens forudsætninger (Energistyrelsen, 2007). Energistyrelsens værdier, med undtagelse af olietønne priser, er i 2007 priser (kr.).

For at sætte disse tal i perspektiv, var prisen på Brent råolie US \$79,50 per tønde, og kursen 4,97 kr. /US\$ den 20. oktober 2009. Dette svarer til en produktionspris i 2007-kr. på 3,08 kr./l. Årsagen til forskellen mellem denne værdi, og værdien på \$61,72 i tabellen skyldes, at Energistyrelsen har anvendt en kurs på 5,81, og at værdien på \$79,50 er angivet i-2009 priser. I denne analyse har vi anvendt en produktionspris på benzin i 2015 på 4,40 kr./l. Baseret på Energistyrelsens ovennævnte kurs på 5,81 kr./\$US, svarer det til en 2015 oliepris i 2007-forhold på 90,53 dollar, eller i 2015-priser, US \$ 112,53.

Hvis oliepriserne er højere eller lavere end dette tal, har det stor betydning for CO₂ skyggeprisen. Hvis fx de nominelle oliepriser er mindre end 90 \$/tønne, vil CO₂ skyggeprisen være over 1.000 kr./ton. Hvis priserne til gengæld er højere end 155 \$/tønne, vil CO₂ skyggeprisen være negativ. En anden interessant pris

²² I dette scenarie er input prisen for halm til dampkedlen ligeledes øget fra 33,2 (halmpris) til 45,6 kr./GJ (pris på leveret halm) med henblik på at afspejle at biomassebiproduktet ikke bliver anvendt som brændsel til dampkedlen men at ekstra halm skal transporteres til anlægget.



er 140 \$/tønne (113 \$/tønne i 2007 priser), et tal der er 25 % større end Energistyrelsens forventede pris. Når prisen dette niveau, vil CO₂ skyggeprisen være det samme som Energi Styrelsens anslåede CO₂ kvotepris for 2015 på 230 kr./ton.

På baggrund af de meget høje oliepriser indenfor de seneste år, er det ikke helt urealistisk, at den nominelle pris kunne være en hel del højere end 113 \$/tønne, hvilket ville få CO₂ skyggeprisen for 2. generations bioethanol til at falde betydeligt.

Benzin produktion pris kr./l	Ekstrapris bioethanol i ben- zinækvivalent kr./l	CO ₂ skyggepris kr./ton	Oliepris 2007 US\$/tde	Oliepris 2015 US\$/tde
3,00	3,02	1260	61,72	76,72
3,08	2,94	1227	63,37	78,77
3,50	2,52	1052	72,01	89,51
4,00	2,02	843	82,30	102,30
4,40	1,62	677	90,53	112,53
4,50	1,52	635	92,59	115,08
5,00	1,02	426	102,87	127,87
5,47	0,55	230	112,54	139,89
5,50	0,52	218	113,16	140,66
6,00	0,02	9	123,45	153,45
6,50	-0,48	-199	133,74	166,23
7,00	0,98	-408	144,02	179,02
7,50	-1,48	-616	154,31	191,81
8,00	-1,98	-825	164,60	204,60

Tabel 6: Olieprisens betydning for benzinprisen og følgelig denne analyses produktionsomkostninger og CO₂ skyggepris for 2. generations bioethanol.



Referencer

Carlsen et al 2006: CO2 reduktionsomkostninger ved biodiesel – dansk produceret biodiesel på rasp. Kirsten Carlsen, Marcus Kjellingbro, Martin Frank Mogensen og Morten Kohl, Institut for Miljøvurdering, december 2006.

DIR 2009/28/EF: Europaparlamentets og Rådets direktiv 2009/28/EF af 23. april 2009 om fremme af anvendelsen af energi fra vedvarende energikilder og senere ophævelse af direktiv 2001/77/EF og 2003/30/EF.

DIR 2009/30/EF: Europaparlamentets og Rådets direktiv 2009/30/EF af 23. april 2009 om ændring af direktiv 98/70/EF for så vidt angår specifikationerne for benzin, diesel og gasolie og om indførelse af en mekanisme for overvågning og reduktion af emissionerne af drivhusgasser [...]

DØRS 2009: Økonomi og Miljø 2009, Det Økonomiske Råd, 2009

Energistyrelsen 2005: Technology Data for Electricity and Heat Generating Plants - Energi Styrelsen, Elkraft System, Eltra.

Energistyrelsen 2007: Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren. COWI for Energistyrelsen, december 2007

Jensen og Thyø 2007: 2nd generation bioethanol for transport: the IBUS concept – boundary conditions and environmental assessment. Karsten Hede-gaard Jensen og Kathrine Anker Thyø, master thesis, Department of Manufacturing Engineering and Management, Danmarks Tekniske Universitet, Februar 2007.

Larsen et al 2008: The IBUS Process – Lignocellulosic bioethanol close to a commercial reality. Research article. Jan larsen, Mai østergaard Petersen, Laila Thirup, Hong Wen Li & Frank Krogh Iversen, februar 2008.

McKinsey 2009: Roads toward a low-carbon future: Reducing CO₂ emissions from passenger vehicles in the global road transportation system. McKinsey & Company, march 2009



Informanter

Hansen 2009: Telefonsamtale samt e-mail korrespondance med Kaj Møller Hansen fra DLG, 8.-12. oktober 2009

Kragh 2009: Telefonsamtale med Niels Kragh fra Air Liquide, 12. oktober 2009

Larsen 2009: E-mail korrespondance med Jan Larsen fra Inbicon, 21. oktober 2009.

Mogensen 2009: E-mail korrespondance med Johan Mogensen fra Novozymes, 14. oktober 2009.

Pedersen 2009: E-mail korrespondance med Allan Pedersen fra Carlsberg Danmark, 8. – 19. oktober 2009

Persson 2009: E-mail korrespondance med Michael Persson fra Inbicon 21.-27. oktober 2009

Tuxen 2009: Telefonsamtale med Anders Tuxen fra Novozymes, 9. oktober 2009