



SAMFUNDSØKONOMISK WELL-TO-WHEEL-ANALYSE AF BIOBRÆNDSTOFFER

Analysemetoden eksemplificeret ved produktionen og brugen af
rapsdiesel (RME)

Faglig rapport fra DMU nr. 796

2010



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



[Tom side]

SAMFUNDSØKONOMISK WELL-TO-WHEEL-ANALYSE AF BIOBRÆNDSTOFFER

Analysemetoden eksemplificeret ved produktionen og brugen af rapsdiesel (RME)

Faglig rapport fra DMU nr. 796 2010

Flemming Møller
Erik Slentø



Datablad

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 796

Titel: Samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af biobrændstoffer
Undertitel: Analysemetoden eksemplificeret ved produktionen og brugen af rapsdiesel (RME)

Forfattere: Flemming Møller; Erik Slentø
Afdeling: Afdeling for Systemanalyse

Udgiver: Danmarks Miljøundersøgelser©
Aarhus Universitet
URL: <http://www.dmu.dk>

Udgivelsesår: Oktober 2010
Redaktion afsluttet: August 2010
Faglig kommentering: Camilla Hay, Ea Energianalyse a/s; Anders E. Larsen, Ea Energianalyse a/s.

Finansiel støtte: Forsknings- og Innovationsstyrelsen, Det Strategiske Forskningsråd, Programkomiteen for Bæredygtig Energi og Miljø.

Bedes citeret: Møller, F. & Slentø, E. 2010: Samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af biobrændstoffer. Analysemetoden eksemplificeret ved produktionen og brugen af rapsdiesel (RME). Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 75 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 796. <http://www.dmu.dk/Pub/FR796.pdf>

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: I rapporten præsenteres det metodiske grundlag for gennemførelse af en såkaldt samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse (WtW). Denne kan karakteriseres som en kombineret livscyklusanalyse (LCA) og velfærdsøkonomisk cost benefit analyse (CBA). Den LCA-inspirerede del af analysen omfatter både en energibalance og en emissionsopgørelse, idet der dog i overensstemmelse med velfærdsøkonomisk tankegang lægges vægt på at opgøre energiforbrugs- og emissionsændringer ved en ændret allokering af samfundets knappe ressourcer. Den rene CBA-del af WtW'en omfatter en beregning af den velfærdsøkonomiske fordelagtighed ved ændringen. Den opstillede samfundsøkonomiske WtW-metode illustreres med beregning af velfærdsøkonomiske konsekvenser, energibalance og emissionskonsekvenser af at producere og forbruge 100.000 tons rapsdiesel (RME) om året i Danmark.

Emneord: Well-to-wheel-analyse, Livscyklusanalyse, Cost benefit analyse, Energitilbagebalance, Emissionsopgørelse, Rapsdiesel, RME, Samfundsøkonomi, Velfærdsøkonomi.

Layout: Ann-Katrine Holme Christoffersen

ISBN: 978-87-7073-193-5
ISSN (elektronisk): 1600-0048

Sideantal: 75

Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside <http://www.dmu.dk/Pub/FR796.pdf>

Supplerende oplysninger:

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 6

Indledning 7

1 DEL I Metode - Definition og karakteristik af den samfundsøkonomiske well-to-wheel-analyse 8

- 1.1 Den velfærdsøkonomiske delanalyse 9
- 1.2 Energibalancen 11
- 1.3 Emissionsopgørelsen 12
- 1.4 Den geografiske afgrænsning af delanalyserne 12

2 Elementerne i den samfundsøkonomiske well-to-wheel-analyse af produktionen og brugen af rapsdiesel (RME) 15

- 2.1 Den velfærdsøkonomiske delanalyse 15
- 2.2 Energibalancen 25
- 2.3 Emissionsopgørelsen 29

3 DEL II EMPIRI - Velfærdsøkonomisk analyse af produktionen og brugen af rapsdiesel (RME) 32

- 3.1 Kørsel på RME i stedet for fossil diesel 32
- 3.2 Produktion af raps og mistet produktion af hvede - ændret arealanvendelse 37
- 3.3 Transport af raps til RME-produktionsanlægget og ændret transport af hvede 46
- 3.4 Produktion af RME 49
- 3.5 Transport af RME til tankstationer og undgået transport af fossil diesel hertil 54
- 3.6 Samlet resultat af den velfærdsøkonomiske analyse 56

4 Energibalance for produktionen og brugen af rapsdiesel (RME) 59

- 4.1 Direkte og indirekte energiforbrug ved dyrkning af raps 59
- 4.2 Direkte energiforbrug ved transport af raps til RME produktionsanlægget og rapshalm til kraftværket 61
- 4.3 Direkte og indirekte energiforbrug ved produktion af RME 62
- 4.4 Direkte energiforbrug ved transport af RME til tankstationerne, rapskage til producenterne og glycerin til kraftværket 64
- 4.5 Samlet energibalance 65

5 Emissioner ved brugen og produktionen af rapsdiesel (RME) 67

- 5.1 Den snævre emissionsopgørelse 67

Appendiks 5.1 Emissionskoefficienter for forbruget og produktionen af forskellige produkter 72

Litteratur 73

[Tom side]

Forord

Denne rapport er finansieret inden for forskningsprojektet "Renewable Energy for the Transport Sector Using Biofuel as Energy Carriers" (RE-BECa) som har modtaget støtte fra Programkomiteen vedrørende Energi og Miljø under det Strategiske Forskningsråd. Projektperioden er 2007-2010.

Rapporten er reviewet af Camilla Hay og Anders E. Larsen fra Ea Energianalyse. Vi er dem begge taknemmelige for konstruktive kommentarer og forslag til faglige præciseringer i rapporten. Ansvar for de faglige og metodiske valg samt eventuelle fejl er dog helt og holdent vort eget.

Sammenfatning

I rapporten præsenteres det metodiske grundlag for gennemførelse af en såkaldt samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse (WtW). Denne kan karakteriseres som en kombineret livscyklusanalyse (LCA) og velfærdsøkonomisk cost benefit analyse (CBA). Den LCA-inspirerede del af analysen omfatter både en energibalance og en emissionsopgørelse, idet der dog i overensstemmelse med velfærdsøkonomisk tankegang lægges vægt på at opgøre energiforbrugs- og emissionsændringer ved en ændret allokering af samfundets knappe ressourcer. Den rene CBA-del af WtW'en omfatter en beregning af den velfærdsøkonomiske fordelagtighed ved ændringen. Den opstillede samfundsøkonomiske WtW-metode illustreres med beregning af velfærdsøkonomiske konsekvenser, energibalance og emissionskonsekvenser af at producere og forbruge 100.000 tons rapsdiesel (RME) om året i Danmark.

Indledning

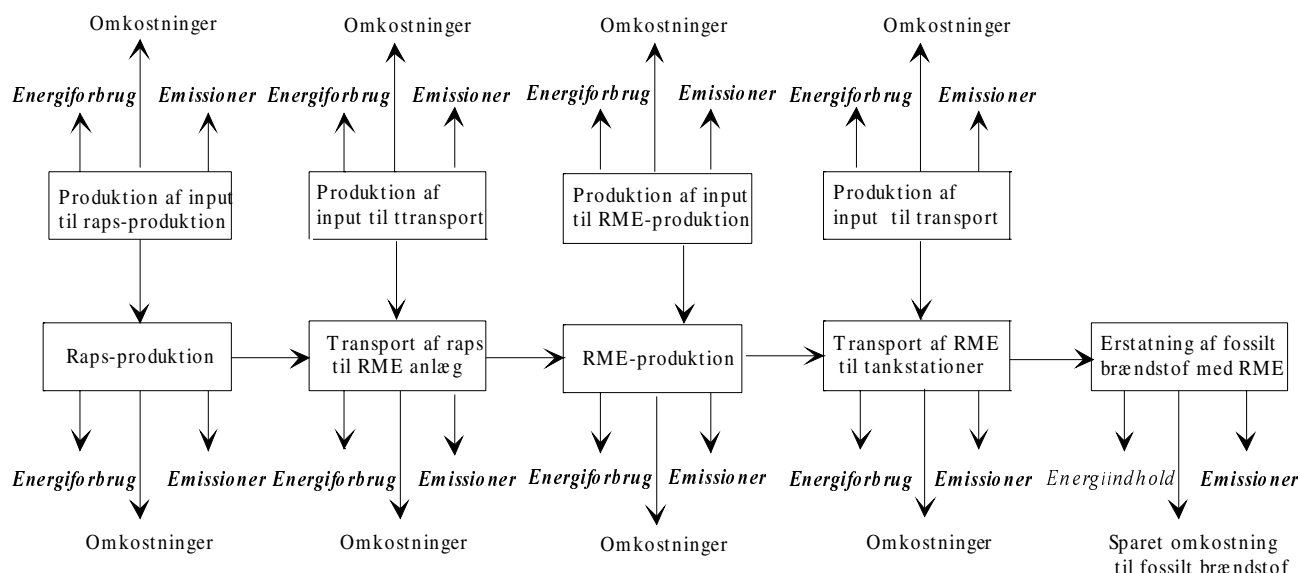
I denne rapport præsenteres det metodiske grundlag for gennemførelse af en såkaldt samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse (WtW). Denne kan karakteriseres som en kombineret livscyklusanalyse (LCA) og velfærdsøkonomisk cost benefit analyse (CBA). Den LCA-inspirerede del af analysen omfatter både en energibalance og en emissionsopgørelse, idet der dog i overensstemmelse med velfærdsøkonomisk tankegang lægges vægt på at opgøre energiforbrugs- og emissionsændringer ved en ændret allokering af samfundets knappe ressourcer. Den rene CBA-del af WtW'en omfatter en beregning af den velfærdsøkonomiske fordelagtighed ved ændringen.

I rapportens Del I præsenteres det metodiske grundlag for opstillingen af såvel energibalance som emissionsopgørelse og velfærdsøkonomisk analyse. I Del II illustreres anvendelsen af metoden ved en empirisk WtW-analyse af produktionen og brugen af rapsdiesel (RME).

Der lægges i den empiriske analyse vægt på nøje at forklare de enkelte trin i de gennemførte beregninger. Herved kommer rapporten til at fremstå som en dokumentation for disse. Den skal derfor også ses i sammenhæng med rapporten " Samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af biobrændstoffer - scenarieberegninger for RME samt 1. og 2. generations bioethanol", jf. Slentø et al. (2010). Den foreliggende metode-rapport tjener således også som metodisk dokumentation for de heri gennemførte scenarieanalyser.

1 DEL I Metode - Definition og karakteristik af den samfundsøkonomiske well-to-wheel-analyse

Den samfundsøkonomiske well-to-wheel-analyse (WtW) kan defineres som en kombineret livscyklusanalyse (LCA) og velfærdsøkonomisk cost benefit analyse (CBA). Den kombinerede analyse beskriver principielt konsekvenserne af alle direkte og indirekte aktiviteter forbundet med produktionen og brugen af en vare. Som eksempel er der i figur 1.1 vist de forskellige produktions- og forbrugsaktiviteter i relation til rapsdiesel (RME). Det ses, at aktiviteterne omfatter hele forløbet fra RME udvindes i "brønden" til det benyttes som drivmiddel af transportmidlets "hjul".



Figur 1.1 Illustration af well-to-wheel-teknologisporet for RME der leder til energiforbrug, emissioner samt velfærdsøkonomiske omkostninger og gevinster.

I en traditionel WtW-analyse koncentrerer beskrivelsen af konsekvenserne først og fremmest om energibalancen - dvs. forholdet mellem brændstoffets energiindhold og den mængde energi, der anvendes ved fremstillingen af brændstoffet - og emissionerne af miljøskadelige stoffer fra de forskellige produktions- og forbrugsaktiviteter. Der er tale om bruttoopgørelser af energiforbrug og emissioner. Der ses bort fra, at det betragtede teknologispør muligvis erstatter et andet spor, hvorved nettoeffekten på samfundets energiforbrug og emissioner bliver anderledes end den beskrevne bruttoeffekt.

Konsekvenserne af at fremstille og benytte et biobrændstof er nemlig normalt resultatet af en ændring i allokeringen af samfundets knappe ressourcer. Ressourcerne omfatter produktionsfaktorerne realkapital (anlæg, bygninger og maskiner), arbejdskraft og "jord" (arealer og natur) samt råstoffer. Konsekvenserne i en såkaldt velfærdsøkonomisk analyse opgøres derfor i forhold til en alternativ anvendelse af ressourcerne. Der er tale om en nettoopgørelse af konsekvenserne af f.eks. at producere og

forbruge RME. Analysen fokuserer på konsekvenserne af en ændret ressourceanvendelse. Produktionen og forbruget af brændstoffet indebærer således, at knappe ressourcer trækkes bort fra anden anvendelse, hvorved mistes en række alternative forbrugsmuligheder (omkostninger), og en række hidtidige miljøbelastninger undgås. Til gengæld skabes der gennem ressourceanvendelsen til brændstofproduktionen og -forbruget en række forbrugsmuligheder (gevinster) og miljøbelastninger.

Den samfundsøkonomiske WtW-analyse, som skrives og anvendes i denne rapport forsøger at kombinere den traditionelle WtW-analyses bruttotilgang med den velfærdsøkonomiske analyses nettotilgang. Analysen består af tre dele:

- Velfærdsøkonomisk analyse.
- Energibalance.
- Emissionsopgørelse.

Den velfærdsøkonomiske analyse beskriver ressourceomallokeringens konsekvenser for velfærden i samfundet. Velfærden omfatter forbruget af såvel markedsomsatte som ikke-markedsomsatte goder, hvor de sidstnævnte bl.a. indbefatter miljøkvalitetsrelaterede goder såsom rekreative muligheder og sundhed.

Energibalancen beskriver det direkte og indirekte energiforbrug ved produktionen af biobrændslet samt den energimængde, der opnås herved. Det indirekte energiforbrug er knyttet til produktionen af råvarer, som benyttes i produktionsprocessen. Hensigten med at opstille energibalancen er at opgøre energieffektiviteten i det samlede produktions- og forbrugsforløb. Energieffektiviteten måles som forholdet mellem den anvendte og opnåede energimængde.

Emissionsopgørelsen er knyttet til det direkte og indirekte ressourceforbrug ved produktionen og forbruget af biobrændslet. Den kan dog også omfatte de undgåede emissioner, ved at ressourcer trækkes bort fra anden anvendelse. Hensigten med emissionsopgørelsen er først og fremmest at beskrive de totale miljøbelastningskonsekvenser af et givet produktions- og forbrugsforløb. Hvis også de undgåede emissioner inddrages i analysen, kommer denne til at svare til den velfærdsøkonomiske analyses beskrivelse af emissionsændringerne ved at omallokere ressourcerne.

De tre delanalyser er bygget op omkring den samme totalbeskrivelse af produktions- og forbrugsforløbet - jf. figur 1.1. I tabel 1.1 er det nærmere specificeret, hvilke konsekvenser der indgår i den samfundsøkonomiske WtW-analyses tre delopgørelser. Tabellen skal læses således, at de med + angivne konsekvenser indregnes med en positiv værdi i delanalysen, mens konsekvenserne med ÷ indregnes med en negativ værdi.

1.1 Den velfærdsøkonomiske delanalyse

Den velfærdsøkonomiske delanalyse omfatter først og fremmest en opgørelse af værdien af gevinster og omkostninger knyttet til produktionen og forbruget af markedsomsatte goder. I anden kolonne af tabel 1.1 angiver et + ved værdien af biobrændstof, at denne indregnes som en ge-

vinst i analysen. Et ÷ ved værdien af realkapital-, arbejdskraft- og arealforbrug angiver, at disse værdier indgår som omkostninger. Det samme gælder værdien af det direkte forbrug af energi og andre producerede input.

Tabel 1.1 Hovedkonsekvenserne i en velfærdsøkonomisk well-to-wheel-analyse.

Konsekvenser af omallokeringen af ressourcer	Velfærdsøkonomi	Energibalance	Emissioner
Produktion og forbrug	+	+	+
- værdi biobrændstof (= sparet udgift til import fossilt brændstof)	÷		(÷)
- genereret energimængde	+		
- emissioner biobrændstof			
- emissioner fossilt brændstof			
Realkapitalforbrug	÷	(÷)	(+)
- værdi (mistet alternativt forbrug)	(÷)		(÷)
- energiforbrug ved produktion af realkapital	(÷)		
- emissioner ved produktion af realkapital	(+)		
- undgåede emissioner			
Arbejdskraftforbrug	÷		(÷)
- værdi (mistet alternativt forbrug)	(+)		
- undgåede emissioner			
Arealforbrug	÷		(÷)
- værdi (mistet alternativt forbrug)	(+)		
- undgåede emissioner			
Energiforbrug	÷		+
- værdi af energiforbrug (mistet alternativt forbrug)	÷	÷	+
- direkte energiforbrug	(÷)	÷	(÷)
- energiforbrug ved produktion af energi	(+)		
- emissioner fra direkte energiforbrug			
- emissioner ved produktion af energi			
- undgåede emissioner			
Direkte forbrug af andre producerede input	÷		+
- værdi (mistet alternativt forbrug)	(÷)	÷	+
- energiforbrug ved produktion af input	÷		(÷)
- emissioner ved forbrug af input	(÷)		
- emissioner ved produktion af input	(+)		
- undgåede emissioner			
Anden miljøbelastning end emissioner	÷		
- anden direkte og indirekte miljøbelastning	(+)		
- undgået miljøbelastning			

Note: De med + angivne konsekvenser indregnes med en positiv værdi i delanalysen, mens konsekvenserne med ÷ indregnes med en negativ værdi. () omkring en positiv eller negativ konsekvens angiver, at denne enten er indregnet under en anden konsekvens, eller at konsekvensen ikke altid medregnes i praksis.

Når der ved energiforbrug ved produktion af realkapital, energi og andre producerede input er anført et (÷), betyder det, at energiforbruget selvsagt udgør en omkostning, men at denne fremstillingsomkostning er medregnet i omkostningen ved at bruge realkapitalen, energien og de andre producerede input.

Den velfærdsøkonomiske analyse omfatter også en opgørelse af de skabte og undgåede emissioner. Disse påvirker en række forhold såsom sundhed, produktionsfaktorernes produktivitet og rekreative muligheder, der har værdi for befolkningen. Ud over opgørelsen af selve emissionskonsekvenserne omfatter den velfærdsøkonomiske analyse derfor

også en værdisætning heraf. Generelt vil øgede emissioner indebære et tab for samfundet og reducerede emissioner en gevinst.

Når der derfor ved 'emissioner biobrændstof' og 'emissioner fossilt brændstof' hhv. er anført et $\div$ og et $+$ betyder det, at emissionerne fra forbruget af biobrændstof skaber yderligere emissioner med negative velfærdsøkonomiske konsekvenser, mens man ved at reducere forbruget af fossilt brændstof reducerer de samlede emissioner og dermed opnår en velfærdsøkonomisk gevinst.

Som det fremgår af tabel 1.1 omfatter den velfærdsøkonomiske delanalyse også alle de direkte emissioner fra hele produktionsprocessen af biobrændstof - angivet med et $\div$ som udtryk for, at de har en negativ værdi. Hertil kommer indirekte emissioner ved produktion af energi og andet produceret input, som anvendes i produktionsprocessen. Disse emissioner forøger også de samlede emissioner. De er dog kun angivet med ($\div$), da det ikke altid er praktisk muligt at indarbejde dem i analysen.

I produktionsprocessen og ved produktion af input hertil anvendes knappe ressourcer - realkapital, arbejdskraft og arealer - som trækkes bort fra anden anvendelse. Herved undgås hidtidige emissioner, hvilket i tabel 1.1 er angivet med (+), da denne konsekvens har en positiv værdi for samfundet. Det er imidlertid ikke altid praktisk muligt at inddrage de undgåede emissioner i analysen.

Den velfærdsøkonomiske delanalyse omfatter endelig en opgørelse af de øvrige direkte og indirekte miljøbelastningskonsekvenser. Opgørelsen gennemføres på fuldstændig samme måde som for emissionerne, og reduceret belastning værdisættes som en gevinst og forøget belastning som en omkostning.

Sammenfattende omfatter den velfærdsøkonomiske delanalyse altså en opgørelse og værdisætning af samtlige skabte og undgåede velfærdsrelevante konsekvenser af at anvende knappe ressourcer på produktion af biobrændstof til at erstatte fossilt brændstof. Resultatet af analysen angiver den velfærdsændring, som den ændrede ressourceallokering forventes at påføre samfundet.

1.2 Energibalancen

I tabel 1.1 er der også angivet de overordnede elementer i den samlede energibalance for produktion og anvendelse af biobrændstof. På den ene side er der den genererede energimængde angivet med $+$. Det er denne energimængde, som nyttiggøres som drivmiddel for køretøjer.

For at skabe den genererede energimængde skal der på den anden side anvendes energi. Dette energiforbrug angives med $\div$ i tabellen. Det omfatter både det direkte energiforbrug i selve produktionsprocessen og det indirekte energiforbrug ved at producere energi og andet produceret input, som anvendes i produktionsprocessen. Energiforbruget til produktion af realkapital er i tabellen angivet med ($\div$), da det ofte ikke er praktisk muligt at opgøre dette.

Den samlede energibalance viser altså forholdet mellem den genererede og den forbrugte energimængde opgjort i en energienhed - f.eks. Joule. Balancen kan både udtrykkes som forskellen mellem genereret og forbrugt mængde opgjort i absolutte tal og som et forholdstal. Det er ikke muligt ud fra energibalancen at afgøre, om produktionen og forbruget af et biobrændstof er en god ide. Dette kan først afgøres ved sammenligning med energibalancerne for andre allokeringer af de knappe ressourcer - jf. afsnit 2.2, hvor denne problemstilling behandles nærmere.

1.3 Emissionsopgørelsen

Som det fremgår af tabel 1.1 omfatter emissionsopgørelsen stort set emissionerne fra de samme aktiviteter, som beskrives i den velfærdsøkonomiske analyse. Det er dog ikke almindeligt i samme omfang som i denne, at indarbejde undgåede emissioner i emissionsopgørelsen.

Denne omfatter først og fremmest køretøjernes emissioner ved at anvende biobrændstof. Herudover opgøres samtlige direkte og indirekte emissioner ved at producere biobrændstoffet. De indirekte emissioner er knyttet til produktionen af den energi og de producerede inputs, som benyttes i produktionsprocessen. Det er dog sjældent, at emissionerne ved produktionen af den nødvendige realkapital indgår i emissionsopgørelsen.

Opgørelsen kan udbygges til at omfatte de undgåede emissioner fra den hidtidige anvendelse af samfundets knappe ressourcer. Dvs. først og fremmest de undgåede emissioner fra den hidtidige anvendelse af fossilt brændstof og de hidtidige emissioner fra den landbrugsproduktion - arealanvendelse - som nu erstattes af dyrkningen af biobrændselsafgrøden. Emissionsopgørelsen kan også omfatte de øvrige undgåede emissioner ved at trække realkapital og arbejdskraft bort fra anden anvendelse, men dette er ikke normalt. Samlet set kommer emissionsopgørelsen derfor ofte til at overvurdere ændringen i det samlede emissionsomfang.

1.4 Den geografiske afgrænsning af delanalyserne

Principielt bør alle tre delanalyser have den samme geografiske afgrænsning af de relevante konsekvenser - nemlig en global afgrænsning.

Den velfærdsøkonomiske analyse tilsigter at opgøre de velfærds-mæssige konsekvenser af en ændret ressourceallokering for alle berørte personer, uanset hvor i verden de bor. Det kan have interesse for beslutningstagere, hvorledes konsekvenserne bliver fordelt på nationer; men overordnet set er en given velfærdsændring lige betydningsfuld, uanset hvem der oplever den.

Med hensyn til energibalancen har den nærmest kun mening, hvis der anlægges en global afgrænsning. Hensigten er at bidrage til en så effektiv udnyttelse af jordens begrænsede energiressource som muligt, og derfor bør balancen ideelt afspejle samtlige energitab og -gevinster ved at producere og anvende energi på en angiven måde. Den geografiske placering af gevinsterne og tabene i den samlede energi-flow er normalt af mindre interesse.

Endelig bør emissionsopgørelsen også være global, fordi emissionerne kan skade miljø, natur og mennesker uanset, hvor de finder sted. I dette tilfælde er den geografiske placering af emissionerne imidlertid helt afgørende - bortset fra drivhusgasemissionerne - idet konsekvenserne af miljøbelastningen i høj grad afhænger af, hvor den finder sted. Naturens tålegrænser varierer meget mellem naturtyper, og skaderne på mennesker afhænger selvsagt af, hvor mange der udsættes for emissionerne.

1.4.1 Geografisk afgrænsning af den velfærdsøkonomiske delanalyse

I praksis må man imidlertid ofte afvige fra den ideelle globale afgrænsning af analyserne. Den velfærdsøkonomiske omfatter først og fremmest de indenlandske velfærdskonsekvenser - produktion, ressourceforbrug og konsekvenser for miljø og natur - af en ændret indenlandsk ressourceallokering. De velfærdsræssige konsekvenser for udlandet beskrives også i nogen grad indirekte, fordi værdien af de importerede og eksporterede varer afspejler velfærdsændringer i udlandet. Når Danmark importerer en udenlandsk vare, afspejler dens værdi de omkostninger eller det velfærdstab, udlandet påføres ved at benytte ressourcer - kapital, arbejdskraft, energi og andre råvarer - til at producere varen. Til gengæld opnår udlandet en velfærdsgevinst ved at erhverve valuta til køb af andre varer.

Til gengæld beskrives de emissionsræssige konsekvenser for udlandet normalt kun i et begrænset omfang, idet det ofte kun er omfanget af de indenlandske grænseoverskridende emissioner, som beskrives. Emissionskonsekvenserne for udlandet af at producere og eksportere varer til Danmark er sjældent omfattet af den velfærdsøkonomiske analyse. Det skyldes primært praktiske problemer med at opgøre og værdisætte konsekvenserne. Man kender således normalt ikke de allokeringsræssige konsekvenser for udlandet af at importere varer herfra. Det er både muligt, at udlandet producerer flere af den pågældende vare og reducerer eksporten af varen til andre lande. I det første tilfælde, kan man muligvis beskrive de direkte emissionsræssige konsekvenser af at producere varen; men vi ved ikke, hvilke emissioner der undgås ved at trække ressourcer bort fra anden anvendelse. I det andet tilfælde sker der ikke umiddelbart nogle emissionsræssige ændringer i det eksporterende land; men da et tredje land nu erhverver mindre af den pågældende vare, sker der formentlig en omallokering af ressourcerne her. Det er imidlertid meget vanskeligt at skønne over dennes omfang og karakter og dermed også over dens emissionskonsekvenser. Selv hvis man antager, at der kan opnås kendskab til emissionsændringerne i udlandet, vil man stå tilbage med det meget vanskelige problem at skulle værdisætte ændringerne. Man kan ikke benytte indenlandske beregningspriser, og der foreligger ikke nødvendigvis brugbare udenlandske værdisætningsresultater.

1.4.2 Den geografiske afgrænsning af energibalancen

Energibalancen har samme globale afgrænsning som den velfærdsøkonomiske analyses ressourcemæssige konsekvensbeskrivelse. Energibalancen omfatter således principielt samtlige direkte og indirekte energigvinster og -tab ved den betragtede ressourceomallokering. Disse er også omfattet af den velfærdsøkonomiske analyses værdisætning af ressourceforbrugene. Værdien af det direkte og indirekte anvendte energi-

forbrug indgår f.eks. i prisen på både indenlandsk producerede og importerede varer.

De to analyser adskiller sig imidlertid fra hinanden i beskrivelsen af de faktiske reale konsekvenser af at producere et energiprodukt som f.eks. et biobrændstof. I energibalancen beskrives, hvad man kunne kalde en "lineær" produktionsproces, hvor samtlige direkte og indirekte energiforbrug, der fører frem til det færdige energiprodukt, opgøres. Disse energiforbrug kan imidlertid ikke fortolkes som ændringer i samfundenes samlede energiforbrug, idet hele processen kan indebære, at der trækkes ressourcer og herunder energiforbrug bort fra anden anvendelse. Det er denne adfærdsbetingede omallokering af ressourcer og dermed også ændring i det samlede energiforbrug, som den velfærdsøkonomiske analyse tilsigter at beskrive.

Det er altså vigtigt at være opmærksom på, at energistrømmene i en energibalance ikke må fortolkes som ændringer i samfundets faktiske energiforbrug, men udelukkende beskriver energi-flowet i en samlet produktions- eller forbrugsproces. Den velfærdsøkonomiske analyse tilsigter derimod som udgangspunkt mod at beskrive faktiske ændringer i energiproduktionen og -forbruget.

1.4.3 Den geografiske afgrænsning af emissionsopgørelsen

Emissionsopgørelsen er ligesom de to andre delanalyser principielt globalt afgrænset. De praktiske muligheder for at leve op til denne hensigt afhænger imidlertid af, om man vælger at knytte opgørelsen an til den velfærdsøkonomiske analyse eller til energibalancen.

Hvis man vælger den førstnævnte mulighed, svarer emissionsopgørelsen til den, der indarbejdes i den velfærdsøkonomiske analyse - jf. afsnit 1.4.1. Dvs. man kommer til at stå over for de samme praktiske problemer med at afdække de faktiske emissionskonsekvenser som følge af resourceomallokeringen i såvel indland som udland.

Vælger man derimod at knytte emissionsopgørelsen til energibalancen, undgår man disse problemer. Til gengæld bliver det alene de direkte emissioner fra resourceanvendelsen under hvert led i den omtalte "lineære" produktionsproces som beskrives, og ikke de egentlige emissionsændringer. For at kunne beskrive disse, må man som nævnt have styr på samtlige resourceomallokeringer.

Når emissionsopgørelsen knyttes til energibalancen sker der undertiden en yderligere afgrænsning af opgørelsens omfang, idet den afgrænses til alene at omfatte energirelaterede emissioner. Dette hænger selvfølgelig sammen med, at energibalancen udelukkende koncentrerer om energiforbrug og -skabelse, hvorfor de øvrige emissionsskabende resourceforbrug ikke foreligger oplyst. En sådan afgrænsning af hvilke emissioner der indgår i emissionsopgørelsen, nedsætter selvfølgelig dens informative værdi.

2 Elementerne i den samfundsøkonomiske well-to-wheel-analyse af produktionen og brugen af rapsdiesel (RME)

Som omtalt i afsnit 1 omfatter den samfundsøkonomiske WtW-analyse tre delanalyser - den velfærdsøkonomiske analyse, energibalancen og emissionsopgørelsen. De tre analyser har alle det samme udgangspunkt - nemlig i dette tilfælde den samlede produktionsproces for biodiesel baseret på raps. Denne produktionsproces repræsenterer en omallokering af samfundets knappe ressourcer, og det er konsekvenserne heraf, som de tre delanalyser sigter mod at beskrive. Som omtalt i afsnit 1 har analyserne blot forskelligt fokus - nemlig på de hhv. velfærds-, energi- og emissionsmæssige konsekvenser. Disse er selvsagt indbyrdes afhængige, hvorfor man kan sige, at delanalyserne beskriver forskellige sider af samme sag, og der er da også et betydeligt overlap mellem analyserne.

I det følgende skal det nærmere beskrives, hvilke konsekvenser i de enkelte produktions- og forbrugsled der er omfattet af hver delanalyse. I analyserne antages det, at der hidtil er dyrket foderhvede på de arealer, hvor der nu skal dyrkes raps. Produktions- og forbrugsledene er:

- Kørsel på RME i stedet for fossil diesel.
- Produktion af raps og mistet produktion af hvede - ændret arealanvendelse.
- Transport af raps til produktionsanlægget og undgået transport af hvede.
- Produktionen af RME.
- Transport af RME til tankstationer og undgået transport af fossil diesel.

Hertil kommer, at man i den velfærdsøkonomiske delanalyse også beskriver konsekvenserne for en række velfærdsrelaterede forhold ved at det samlede emissions- og miljøbelastningsomfang er ændret samt eventuelt tab af naturværdier som følge af den ændrede arealanvendelse.

I tabel 2.1 er sammenfattet, hvilke konsekvenser, der under de forskellige produktions- og forbrugsled, er omfattet af de forskellige delanalyser. Opdelingen af tabellens forspalte og anvendelsen af +’er og ÷’er under den enkelte delanalyse forklaret i de følgende afsnit.

2.1 Den velfærdsøkonomiske delanalyse

I det følgende gennemgås principperne for gennemførelsen af den velfærdsøkonomiske delanalyse for produktionen og anvendelsen af biodiesel baseret på raps (RME). Overordnet set omfatter analysen opstillingen af dette regnestykke:

+ Gevinst	- værdi af sparede produktionsomkostninger eller importudgifter til fossil diesel
÷ Omkostninger	- værdi af mistet hvedeproduktion - værdi af anvendte ressourcer fratrukket værdi af frigivne ressourcer
÷ Værdi af emissions- og andre miljøbelastningseffekter	- værdi af ændringer i personers levevilkår som følge af ændret luft- og vandkvalitet - f.eks. sundhed
÷ Tab af naturværdier	- værdi af mistede naturværdier som følge af ændret arealanvendelse
I alt velfærdsøkonomisk nettogevinst	

Tabel 2.1 Konsekvenserne i en samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af produktionen og forbruget af RME fordelt på de enkelte produktions- og forbrugsled.

Konsekvenser af omallokeringen af ressourcer	Velfærdsøkonomi	Energibalance	Emissioner
Kørsel på RME i stedet for fossil diesel	+	+	+
- sparede produktions- og importomkostninger til fossil diesel	÷		
- energiindhold i RME	+		
- emissioner fra RME-forbrug			
- undgåede emissioner fra forbrug af fossil diesel			
Produktion af raps og mistet produktion af hvede - ændret arealanvendelse	værdisættes ikke	÷	+
- produceret rapsmængde	÷		+/-
- mistet produktion af hvede og halm - omkostning	÷		
- forbrug af ressourcer til rapsproduktion - omkostning	+		
- sparet forbrug af ressourcer til hvedeproduktion - gevinst	(÷)		
- direkte og indirekte energiforbrug til rapsproduktion	(+)		
- sparet direkte og indirekte energiforbrug til hvedeproduktion	÷		
- direkte og indirekte emissioner fra rapsproduktion - omkostning	+		
- undgået direkte og indirekte emission fra hvedeproduktion - gevinst	+/-		
- emissionsændring ved rapshalm erstat. hvedehalm som brændsel	+/-		
- ændring i anden direkte og indirekte miljøbelastning	+/-		
- ændring i landskabsværdier			
Transport af raps til produktionsanlægget og ændret transport af hvede	÷	÷	+
- forbrug af ressourcer til transport af raps - omkostninger	+		
- sparet forbrug af ressourcer til transport af hvede - gevinst	(÷)		
- direkte og indirekte energiforbrug til transport af raps	(+)		
- sparet direkte og indirekte energiforbrug til transport af hvede	÷		
- direkte og indirekte emissioner ved transport af raps	+		
- undgået direkte og indirekte emissioner fra transport af hvede			
Produktion af RME	÷	÷	+
- forbrug af ressourcer	(÷)		÷
- direkte og indirekte energiforbrug	+		
- produktion af rapskage (dyrefoder der erstatter sojaskrå)	+		
- produktion af glycerin (brændsel der erstatter kul)	÷		
- direkte og indirekte emissioner fra ressourceforbrug	+		
- undgået emissioner ved at glycerin erstatter kul som brændsel	+/-		
- undgået direkte og indirekte emissioner ved at trække ressourcer bort fra anden anvendelse			
- ændring i øvrig direkte og indirekte miljøbelastning			
Transport af RME til tankstationer og undgået transport af fossil diesel til tankstation	÷	÷	+
- forbrug af ressourcer til transport af RME - omkostninger	+		
- sparet forbrug af ressourcer til transport af fossil diesel - gevinst	(÷)		
- direkte og indirekte energiforbrug til transport af RME	(+)		
- sparet direkte og indirekte energiforbrug til transport af fossil diesel	÷		
- direkte og indirekte emissioner ved transport af RME	+		
- undgået direkte og indirekte emissioner fra transport af fossil diesel			

Note: I 2. kolonne vedr. velfærdsøkonomi er de positive og negative konsekvenser for energiforbruget angivet i parentes (). Hermed angives, at energiforbrugsændringer i den velfærdsøkonomiske analyse indgår som en del af ressourceforbrugsændringerne.

Den velfærdsøkonomiske nettogevinst beregnes år for år over den anlagte tidshorisont for vurderingen. I det følgende beskrives de enkelte led i beregningen af nettogevinsten.

2.1.1 Kørsel på RME i stedet for fossil diesel

Den centrale gevinst fra et dansk nationalt synspunkt ved at anvende dansk produceret RME i stedet for fossil diesel er, at der spares valuta-

udgifter til import af fossil diesel. I tabel 2.1 er gevinsten angivet med +. Den sparede valutaudgift (eller opnåede valutaindtægt) er en gevinst for samfundet, fordi man herved enten undgår at skulle indtjene valuta ved eksport af goder, der repræsenterer velfærd for danske borgere, eller fordi man for valutabesparelsen kan importere andre velfærdsskabende goder i stedet for.

Denne måde at anskue gevinsten ved at anvende RME er den mest nærliggende. Det danske samfund er imidlertid producent af råolie og raffinerer den også. Derfor kan gevinsten også anskues på andre måder. Man kan antage, at den fossile diesel hidtil er kommet fra danske kilder. Når forbruget erstattes af RME kan den fossile diesel i stedet eksporteres. Gevinsten vil herefter være en øget valutaindtægt fra eksport af fossil diesel. Et resultat der imidlertid fuldstændig svarer til antagelsen om en reduceret valutaudgift til import af diesel. I DEL II antages det i emissionsopgørelsen, at fossil diesel kommer fra danske kilder, hvorfor emissioner fra udvindingen og raffineringen af råolien indgår i opgørelsen.

Der er dog også en anden mulig tilgang. Hvis den fossile diesel stadig antages at komme fra danske olieklender, så vil det reducerede forbrug kunne omsættes i en lavere udvindingstakt. Hvorvidt gevinsten for det danske samfund ved at sænke udvindingstakten adskiller sig fra gevinsten ved en øjeblikkelig øget eksport eller reduceret import, kan ikke umiddelbart afgøres. Det afhænger af udviklingen i såvel oliepris som udvindingsomkostninger. Denne tilgang afhænger selvfølgelig af, at det i praksis er muligt at ændre udvindingstakten. Tilgangen er ikke forfulgt videre.

Overgangen fra at anvende fossil diesel til at anvende RME som drivmiddel i køretøjer har også emissionsmæssige konsekvenser. Emissionerne fra RME-forbruget repræsenterer en velfærdsøkonomisk omkostning angivet med et ÷ i tabel 2.1. De undgåede emissioner fra den fossile diesel repræsenterer omvendt en velfærdsøkonomisk gevinst og er angivet med +. Den væsentligste konsekvens af overgangen fra fossil diesel til RME er den heraf følgende reduktion af CO₂-emissionerne. Afbrændingen af fossil diesel giver anledning til CO₂-emissioner, mens RME anses for CO₂-neutralt. I hvor høj grad emissionsændringerne i øvrigt repræsenterer et velfærdsøkonomisk tab eller en gevinst, afhænger af emissionsændringernes påvirkning af levevilkårene. Heraf er de eventuelle sundhedseffekter formentlig de væsentligste, når der som her er tale om ændringer i luftforureningen. Værdien af sundhedseffekterne omtales i afsnit 2.1.6.

2.1.2 Produktion af raps og mistet produktion af hvede – ændret arealanvendelse

Det centrale input i fremstillingen af RME er selvsagt raps. Denne antages her frembragt ved at øge den danske rapsproduktion, hvilket fører til en ændret arealanvendelse i landbruget. Rapsen antages således dyrket på arealer, der hidtil er anvendt til foderhvedeproduktion.

Der kan gøres mange andre antagelser om fremskaffelsen af rapsen. Man kan f.eks. antage, at den bliver importeret. I så fald er det ikke nødvendigt at gennemføre omkostningsberegningerne, som beskrives i det føl-

gende. De velfærdsøkonomiske omkostninger ved at importere raps kan direkte fastsættes som valutaudgiften hertil.

Hvis antagelsen om en øget rapsproduktion imidlertid fastholdes, kan man også antage, at den erstatter dyrkningen af mange andre afgrøder end lige netop foderhvede. Disse alternative antagelser berører imidlertid ikke den måde, hvorpå omkostningerne ved at fremskaffe raps som input til RME-produktionen beregnes. Størrelsen af de velfærdsøkonomiske omkostninger afhænger af antagelsen om, hvorledes arealanvendelsen påvirkes; men princippet for beregningen af omkostningerne er det samme.

Som det fremgår af tabel 2.1 er værdien af rapsen underordnet for beregningerne. Den pris landmanden sælger rapsen til med henblik på videre forarbejdning er selvfølgelig bestemmende for, hvilken indtjening landmanden opnår, og hvilke omkostninger RME-producenten påføres. Men dette er et spørgsmål om, hvorledes gevinster og omkostninger fordeles på personer og virksomheder i Danmark. Det vedrører ikke det samlede velfærdsøkonomiske regnestykke af gevinster og omkostninger ved at producere og anvende RME. Den væsentligste gevinst er som omtalt i afsnit 2.1.1 den sparede valutaudgift til fossil diesel. Omkostningerne omfatter de mistede indtægter fra den hidtidige hvedeproduktion, konsekvenserne for ressourceforbruget i landbruget ved at omlægge produktionen fra hvede til raps og værdien af eventuelle miljøeffekter af denne omlægning.

I tabel 2.1 er disse overordnede effekter værdisat med hhv. $\div$ (mistet produktion af hvede er en velfærdsøkonomisk omkostning) $\div$ for omkostningen ved ressourceforbruget til rapsproduktion, $+$ for den omkostningsmæssige gevinst ved at spare ressourceforbrug til hvedeproduktion og tilsvarende $\div$ eller $+$, afhængigt af om rapsproduktionen belaster miljøet mere eller mindre end hvedeproduktionen. Værdien af det direkte og indirekte energiforbrug ved rapsproduktion og det sparede energiforbrug til hvedeproduktion er sat i parentes - hhv. $(\div)$ og $(+)$ - fordi værdien heraf indgår i opgørelsen af ressourceforbrugsomkostningerne.

Den mistede produktion af hvede værdisættes med verdensmarkedsprisen på hvede. Der er tale om et internationalt handlet gode, og man kan antage, at den reducerede hvedeproduktion erstattes af importeret hvede. Omkostningen for samfundet er valutaudgiften til denne import. Normalt anvendes dele af halmen fra hvedeproduktionen som brændsel på kraftværker, kraftvarmeværker eller halmfyr. Når der ikke længere produceres hvede, mistes denne brændselskilde. For at opretholde den samlede energiproduktion i samfundet, er det nødvendigt at erstatte halmen med en anden form for brændsel. Dette repræsenterer en omkostning for samfundet svarende til værdien i verdensmarkedspriser ved at indkøbe erstatningsbrændslet.

Det ændrede forbrug af ressourcer omfatter både produktionsfaktorerne realkapital (bygninger og maskiner) og arbejdskraft samt producerede inputs såsom energi, handelsgødning, kemikalier etc. Ved den ændrede arealanvendelse fritstilles ressourcer, som hidtil er anvendt i hvedeproduktionen. Til gengæld anvendes nu ressourcer til dyrkning af raps. Nettoresultatet af denne ændring i ressourceforbruget vil som nævnt være

en sparet omkostning - angivet med + - hvis der tale om et mindre forbrug af en ressource, og en meromkostning - angivet med ÷ - hvis der er tale om et merforbrug.

Den årlige omkostning til realkapital beregnes ved at annuisere realkapitalens anskaffelsespris med den velfærdsøkonomiske diskonteringsrate over kapitalens forventede levetid. Det øvrige ressourceforbrug, arbejdskraft og producerede input er årlige forbrug, som værdisættes ud fra deres markedspriser. Værdisætningen af ressourcerne følger principperne i Møller et al. (2000) og omtales nærmere i DEL II.

Den velfærdsøkonomiske analyse omfatter en opgørelse af det direkte energiforbrug i landbruget, og forbruget værdisættes med udgangspunkt i de forventede verdensmarkedspriser på energiprodukter. Det indirekte energiforbrug til produktion af input til landbrugsproduktionen opgøres derimod ikke, som det er tilfældet i energibalancen, eksplícit i den velfærdsøkonomiske analyse. Dette er ikke nødvendigt, fordi værdien af det indirekte energiforbrug er omfattet af de producerede inputs markedspriser, som benyttes ved værdisætningen.

Det ændrede ressourceforbrug har konsekvenser for de direkte og indirekte emissioner til såvel luft som jord og vand. Det samme er tilfældet med den øvrige direkte og indirekte belastning af miljøet. Opgørelsen af emissions- og belastningsændringernes omfang som følge af ændringerne i ressourceforbruget er en integreret del af den velfærdsøkonomiske analyse; men den velfærdsøkonomiske værdi heraf afhænger fuldstændig af emissions- og belastningsændringernes konsekvenser for en række levevilkårsrelevante forhold. Disse kan være belastning af drikkevandsressourcer (påføre samfundet omkostninger ved at skulle rense vandet eller udnytte alternative vandressourcer), eutrofiering af vandløb og søer (skade dyre- og planteliv med negative følger for befolkningens rekreative muligheder) og luftforurening (kan have sundhedsmæssige konsekvenser). Når der i tabel 2.1 er angivet ÷ ved øget belastning af miljøet og + ved reduceret belastning, er det altså ikke belastningsændringerne i sig selv der værdisættes, men de levevilkårsrelevante konsekvenser heraf. Ændringen i arealanvendelsen kan også have natur- og landskabsmæssige konsekvenser. Disse værdisættes også så vidt muligt i den velfærdsøkonomiske analyse.

Endelig indgår principielt også miljøkonsekvenserne af nettoændringer i arbejdskraftforbruget i den velfærdsøkonomiske analyse. Pointen er, at arbejdskraft normalt antages at være en begrænset ressource og når den benyttes til produktion af raps, så trækkes den nødvendigvis bort fra anden anvendelse. Omvendt fritstilles arbejdskraft, når produktionen af hvede som antaget reduceres. Slutresultatet er en ændring i nettoarbejdskraftforbruget ved at producere raps. I visse tilfælde med høj generel arbejdsløshed eller lokal arbejdsløshed kan man antage, at projektet i en periode har en reel beskæftigelseseffekt. I så fald trækkes arbejdskraften ikke bort fra anden anvendelse, og der undgås ikke emissioner.

Ændringen kan enten være en stigning eller et fald i landbrugets arbejdskraftforbrug, og dette vil hhv. føre til, at anden produktion reduceres eller stiger. Dette vil have emissionseffekter og andre miljøbelastningskonsekvenser. I det første tilfælde undgås hidtidige miljøkonsekvenser; mens disse i det andet tilfælde forøges. Emissionskonsekven-

serne af det undgåede eller forøgede arbejdskraftforbrug i anden anvendelse kan beregnes ved hjælp af nationalregnskabets input-output system, jf. Møller et al. (2000) afsnit 2.3. De øvrige miljøbelastningskonsekvenser vil det være vanskeligt at opgøre, da de ikke er en del af input-output-systemet. Det vil også være vanskeligt at værdisætte emissionskonsekvenser, da disse ikke kan fordeles geografisk, og det derfor er vanskeligt at vurdere, hvilke konsekvenser for personers levevilkår emissionsændringerne vil få.

2.1.3 Transport af raps til produktionsanlægget og ændret transport af hvede

Det næste led i produktionsprocessen af RME er transporten af raps til RME-produktionsanlægget. Denne transport giver anledning til et ressourceforbrug og emissionskonsekvenser, som indgår i den velfærdsøkonomiske analyse på fuldstændig samme måde som de tilsvarende konsekvenser ved at dyrke rapsen.

Der skal i denne forbindelse også tages højde for, at den reducerede hvedeproduktion formentlig påvirker transportbehovet for hvede. Hvorledes dette behov påvirkes afhænger i høj grad af, hvad den hidtidige hvedeproduktion er blevet benyttet til, og hvorledes den reducerede produktion antages erstattet. Hvis hveden hidtil er blevet transporteret til foderstofkompagnier, så undgår man denne transport. Til gengæld er der så behov for at transportere importeret erstatningshvede til kompagnierne, og herfra til de landmænd som skal benytte foderet.

Man kan imidlertid også gøre andre antagelser om den hidtidige anvendelse af hveden. Hvis den f.eks. antages at være blevet eksporteret, undgår man nu transporten til udskibningshavnen. Eller hvis den hidtil er blevet transporteret til møller med henblik på formaling til hvedemel, så undgår man denne transport. Til gengæld skal man så transportere importeret hvede til møllerne for at opretholde melproduktionen.

Uanset hvilke antagelser man gør om transportkonsekvenserne, er det de ressource- og emissionsmæssige konsekvenser heraf man skal værdisætte.

2.1.4 Produktion af RME

Omsætningen af raps til RME er måske det væsentligste led i produktionsprocessen vurderet ud fra de ressourcemæssige konsekvenser. Alle ressourcer der benyttes på RME-produktionsanlægget repræsenterer en omkostning for samfundet, idet der er tale om knappe ressourcer som trækkes bort fra anden anvendelse. Herved mister samfundet velfærds-skabende forbrugsmuligheder. Værdisætningen af de forskellige former for ressourceforbrug sker i overensstemmelse med principperne i Møller et al. (2009).

Det er væsentligt i denne sammenhæng at realkapitalomkostningen både afspejler omkostningerne ved køb af arealer til anlægget, opførelsen af de nødvendige bygninger for anlægget og anskaffelsen af det nødvendige produktionsudstyr. Der er altså ikke tale om at opgøre investeringsudgiften ved at ombygge et eksisterende anlæg til produktion af RME, men om at opgøre den samlede investeringsudgift til etableringen af et

helt nyt produktionsanlæg. Det er denne investeringsudgift, som udgør en central del af de samlede samfundsmaessige omkostninger ved at etablere en RME-produktionsproces. Den årlige realkapitalomkostning beregnes, ligesom ved realkapitalforbruget i landbruget, ved at annuise investeringsudgiften med den velfærdsøkonomiske diskonteringsrate over anlæggenes forventede levetid.

Produktionen af RME resulterer i to biprodukter: rapskage og glycerin. Rapskagen kan anvendes som dyrefoder og erstatter i så fald typisk sojaskrå. Værdien af rapskageproduktionen er derfor en velfærdsøkonomisk gevinst for samfundet - angivet med + i tabel 2.1 - og værdien heraf kan fastsættes som den sparede valutaudgift til import af sojaskrå. Glycerinen kan anvendes som brændsel på kraftværker, hvor den erstatter kul. Værdien af glycerinproduktionen kan derfor fastsættes som den sparede valutaudgift til import af kul.

Ligesom i de øvrige produktionsled, har den ændrede anvendelse af samfundets ressourcer konsekvenser for emissionsomfanget og den øvrige belastning af miljøet. Konsekvenserne omfatter på den ene side de direkte konsekvenser af selve produktionsprocessen og de indirekte konsekvenser af at producere input hertil, og på den anden side de undgåede konsekvenser ved direkte og indirekte at trække arbejdskraft bort fra anden anvendelse. I tabel 2.1 er værdien af den øgede miljøbelastning angivet med ÷ - en velfærdsøkonomisk omkostning - og den reducerede belastning med et + - en velfærdsøkonomisk gevinst. Værdien bestemmes principielt ud fra belastningsændringernes påvirkning af levevilkårene.

2.1.5 Transport af RME til tankstationer og undgået transport af fossil diesel til tankstation

Transporten af RME til tankstationerne giver anledning til samme type af ressource- og emissionsmæssige konsekvenser, som transporten af raps til RME-produktionsanlægget. Samtidig undgås ressourceforbrug og emissionskonsekvenser ved transport af fossil diesel til tankstationerne. Der kan dog være øgede omkostninger forbundet med lagring og blanding. Man kan muligvis antage, at de skabte og undgåede konsekvenser går nogenlunde lige op, hvorfor man kan se bort fra dette led i den samlede velfærdsøkonomiske analyse. Dette undersøges i Del II.

2.1.6 Værdi af ændringer i emissionsomfanget og øvrige miljøbelastningskonsekvenser

Den samlede produktionsproces har som skildret i de foregående afsnit en række emissions- og miljøbelastningskonsekvenser. Disse bør så vidt muligt opgøres og præsenteres; men deres velfærdsøkonomiske betydning ligger i deres påvirkning af befolkningens levevilkår. Dette gælder principielt også for den i denne sammenhæng helt centrale konsekvens for CO₂-emissionerne. Da det imidlertid ikke er muligt at beskrive konsekvenserne for befolkningen af ændrede klimatiske forhold, og langt mindre at værdisætte disse ændringer, må denne værdisætningstilgang opgives for så vidt angår CO₂-emissionerne. Disse værdisættes i stedet ved brug af en såkaldt skyggepris, som afspejler samfundets marginale omkostninger ved at opfylde den aktuelle målsætning for reduktion af CO₂-emissionerne - jf. afsnit 3.1.2.

Værdisætningen af de øvrige konsekvenser for luftemissionerne forudsætter, at disses videre spredning i miljøet kan beskrives, og at man har kendskab til sammenhængene mellem ændringerne i koncentrationen af forskellige stoffer i miljøet og ændringerne i risikoen for f.eks. at pådrage sig forskellige sygdomme og for at dø. Beskrivelsen af luftemissionernes videre spredning i miljøet sker ved hjælp af såkaldte luftspredningsmodeller, og sammenhængen mellem koncentrationen af forskellige stoffer og sygdomsrisikoen udtrykkes i såkaldte dose-response-funktioner.

Den velfærdsøkonomiske værdisætning af sundhedseffekterne vedrører ændringerne i risikoen for at pådrage sig forskellige sygdomme og ændringen i risikoen for at dø. Hvorledes værdisætningen mere præcist bør gennemføres skal ikke diskuteres her - der henvises til Møller (2009). Værdisætningen skal imidlertid afspejle den marginale nytte af de ændrede risici. Som indikator herpå benyttes den marginale betalingsvillighed for at opnå/undgå ændringerne.

Værdisætningen af de øvrige miljøbelastningskonsekvenser følger samme fremgangsmåde som værdisætningen af luftforureningskonsekvenserne. Hvis belastningsændringerne har karakter af ændrede udledninger af miljøfarlige stoffer, er det nødvendigt først at beskrive, hvorledes stofferne spredes i naturen og miljøet, samt hvilke koncentrationsændringer der bliver resultatet heraf. Koncentrationsændringerne har konsekvenser for en række levevilkårsrelevante forhold, og beskrivelsen af den mere præcise sammenhæng mellem koncentrationsændringer og levevilkår forudsætter kendskab til dose-response-funktioner herfor. Hvis belastningsændringerne har karakter af fysisk belastning - f.eks. støj, færdsel i naturen eller ødelæggelse af fortidsminder - er ændringen i de levevilkårsrelevante forhold ofte en direkte funktion af belastningsændringen.

De levevilkårsrelevante forhold hvis ændringer skal beskrives og værdisættes, omfatter:

- Naturens produktivitet som produktionsfaktor.
- Støj og lugtgener.
- Rekreative muligheder i naturen.
- Kulturelle værdier.
- Herlighedsværdier og andre æstetiske værdier.
- Ikke-brugsværdier.

Med naturens produktivitet som produktionsfaktor tænkes der først og fremmest på udbyttet i de primære erhverv landbrug, skovbrug og fiskeri. Tilførslen af miljøfremmede stoffer til miljøet påvirker disse erhvervs produktivitet - f.eks. har koncentrationen af ozon konsekvenser for kornudbyttet og syreregn hæmmer skovenes vækst. Værdisætningen vedrører direkte disse udbyttetab.

En del af naturens produktivitet omfatter også muligheden for at udvinde rent drikkevand. I det omfang miljøbelastningen påvirker disse muligheder er det denne ændring, som skal værdisættes.

Ændringer i støj- eller lugtniveauet repræsenterer belastningsændringer som direkte indebærer ændrede levevilkår. Værdisætningen kan derfor direkte rettes mod belastningsændringerne udtrykt i decibel. Normalt vil

en given ændring i støjniveauet fra et lavt støjniveau blive tillagt større negativ værdi end den samme ændring fra et højt støjniveau.

De rekreative muligheder i naturen omfatter en lang række aktivitetsmuligheder såsom jagt og fiskeri, ornitologi, botanisering, vandring, badning, mountainbike-kørsel osv. osv. De påvirkes alle på forskellig måde af forskellige former for belastning af miljøet. Miljøfremmede stoffer kan både påvirke bade- og fiskemuligheder, ligesom de kan have konsekvenser for floraen og faunaen på land. Disse kan også påvirkes af ændret arealanvendelse; en ændring i den fysiske belastning af naturen. Det er ændringerne i mulighederne for de enkelt rekreative aktiviteter, som skal værdisættes.

Besøg ved kulturelle mindesmærker repræsenterer også en rekreativ mulighed. Konsekvenser for mindesmærkernes tilstand, bevaringsstatus, tilgængelighed osv. kan derfor for så vidt angår værdien for de besøgende værdisættes på samme måde som ændringer i andre rekreative muligheder. Hertil kommer imidlertid, at kulturelle mindesmærker som en del af vores kulturarv kan have en værdi i sig selv, ud over det man kalder brugsværdien af mindesmærket. Denne yderligere værdi benævnes mindesmærkets ikke-brugsværdi. Det er væsentligt, at ændringer heri også er omfattet af værdisætningen.

Herlighedsværdier og æstetiske værdier har primært karakter af brugsværdi, idet de især skaber velfærd for betragterne. Disse værdier omfatter f.eks. landskabelige værdier, som påvirkes af arealanvendelsen. Et varieret landskab med mose, eng og skov er måske til større glæde for betragterne end et monotont opdyrket kulturlandskab. Tilsvarende nedsetter opstillingen af vindmøller sikkert i mange tilfælde herlighedsværdien ved et landskab. Det er konsekvenser som disse som værdisætningen af ændringer i herlighedsværdier og æstetiske værdier bør rettes mod.

Det blev omtalt, at kulturelle mindesmærker kan have ikke-brugsværdi. Denne værdikategori kan formentlig også tillægges andre miljø- og naturgoder. Det er ikke utænkeligt, at visse dyre- eller plantearter, som f.eks. storken, blot ved selve deres eksistens har en værdi for befolkningen, og dette uanset om personerne faktisk forventer at opleve de pågældende arter. Det samme kan gælde visse naturtyper som f.eks. heden. I den udstrækning sådanne goders eksistensmæssige status påvirkes, bør værdien heraf være omfattet af værdisætningen.

Undertiden tillægges ændringer i biodiversiteten en selvstændig værdi. Dette skyldes, at biodiversiteten er central for naturens bidrag til velfærdsskabelsen i samfundet. Dette gælder både naturen som produktionsfaktor og som leverandør af rekreative goder. Hertil kommer muligvis også et element af ikke-brugsværdi. Det fremgår imidlertid af denne begrundelse for biodiversitetens værdi, at den i vid udstrækning danner grundlag for og er indeholdt i de forskellige naturværdier, som er omtalt ovenfor. Derfor bør man passe på med at værdisætte ændringer i biodiversitet, da der hermed er meget stor risiko for at foretage dobbeltregning.

2.2 Energibalancen

Hensigten med energibalancen er som omtalt i kapitel 1 at belyse forholdet mellem energiindholdet i det endelige produkt - i dette tilfælde RME - og mængden af energi, der direkte og indirekte er anvendt på at frembringe det endelige produkt. Man kan principielt afgrænse balancen på mindst tre forskellige måder:

- + Samlet energiindhold i RME
- ÷ Anvendt fossil energi i produktionsprocessen

I Snæver energibalance

- ÷ Energiindhold i anvendt raps (naturens fornybare bidrag)

II Bredere energibalance

- ÷ Indirekte energigevinster ved ændret ressourceanvendelse
- + Indirekte energitab ved ændret ressourceallokering

III Total energibalance (ændring i samfundets energiforbrug)

Den snævre energibalance fokuserer alene på, hvor meget fossil energi der direkte og indirekte skal tilføres den produktionsproces, hvorunder rapssæd omdannes til RME. Balancen udtrykker, hvor mange energienheder der skal tilføres ud over naturens fornybare energibidrag (samspillet mellem solenergi, fotosyntese og jord) for at frembringe en energienhed af RME, der kan anvendes i biler.

Den bredere energibalance inddrager også naturens bidrag i balancen. Herved belyses hvor meget energi der alt i alt skal tilføres for at frembringe én energienhed RME. Man kan også sige, at den bredere energibalance viser, hvor meget energi der går tabt for at opnå den ene energienhed biodiesel.

Endelig er hensigten med den totale energibalance principielt at beskrive, hvorledes det samlede energiregnskab for samfundet påvirkes af, at der anvendes knappe ressourcer på produktionen af RME. Når arbejdskraft trækkes bort fra anden anvendelse, og produktionen af visse goder herved reduceres (et velfærdstab, jf. afsnit 2.1.2) giver det også anledning til en reduktion af energiforbruget. Omvendt er der tale om et energitab for samfundet, når hvede- og halmproduktionen som følge af den ændrede arealanvendelse reduceres. Den totale energibalance opstilles i realiteten med samme afgrænsning af de relevante energieffekter som den velfærdsøkonomiske analyse.

I det følgende koncentrerer fremstillingen i første omgang om den snævre energibalance. Det beskrives hvilke direkte og indirekte forbrug af fossil energi der indgår i de forskellige dele af RME-produktionsprocessen - jf. afsnit 2.2.1. Det diskuteres herefter i afsnit 2.2.2, hvilke yderligere energikonsekvenser der skal beskrives for at opstille den totale energibalance.

2.2.1 Snæver energibalance

Det fremgår af tabel 2.1, at energibalancen på den ene side omfatter energiindholdet i den producerede RME og på den anden side det direkte og indirekte energiforbrug ved at producere biodieselen og transportere den frem til tankstationerne. Den snævre energibalance omfatter altså følgende elementer:

- + Samlet energiindhold i RME
- ÷ Anvendt energi ved dyrkning af raps
- ÷ Anvendt energi ved transport af raps til produktionsanlægget
- ÷ Anvendt energi ved produktion af RME
- + Sparet energi til produktion af de produkter, som RME-produktionens biprodukter erstatter
- ÷ Anvendt energi ved transport af RME til tankstationerne

Snæver energibalance

Den opnåede energimængde - energiindholdet i den producerede RME - er angivet med + i tabellen, mens de forbrugte energimængder under produktionsprocessen er angivet med ÷. I det følgende gøres der nærmere rede for de enkelte elementer i energibalancen.

Samlet energiindhold i RME

Energibalancen opstilles for produktionen af en given mængde RME - f.eks. 1.000 liter. Denne mængde har et bestemt energiindhold udtrykt i f.eks. energienheden joule (J).

Produktionen af den givne mængde RME kræver indsats af bestemte mængder af en række råvarer eller producerede inputs. Disse mængder kan udtrykkes som koefficienter - dvs. mængde input per 1.000 liter biodiesel eller per J energiindhold i biodieselen. Til produktionen af inputs er der medgået forskellige energimængder, og input-koefficienter kan derfor udtrykkes som anvendt mængde energi J per produceret mængde energi J - altså som ubenævnte koefficienter.

Anvendt energi ved dyrkning af raps

Den anvendte energi omfatter på den ene side den energi, som direkte benyttes i produktionsprocessen. Dvs. brændstofforbruget ved anvendelsen af maskiner samt elforbruget til tørring af afgrøden og til eventuel vanding af afgrøden.

Hertil kommer det indirekte energiforbrug ved fremstillingen af syntetisk gødning - kvælstof (N), fosfor (P) og kalium (K) - samt kalk (CaO) og forskellige pesticider. Det indirekte energiforbrug omfatter forbruget af brændsler og el i de pågældende produktionsprocesser, men principielt også ved produktionen af input hertil osv. Normalt medregnes energiforbruget ved fremstillingen af maskiner ikke i den snævre energibalance.

Dyrkningen af raps har endelig en såkaldt forfrugt-effekt. Dette skyldes, at raps binder luftens N i let omsættelig form i rødderne. Herved bliver behovet for gødskning af den efterfølgende afgrøde reduceret, og der

spares energi til produktion af syntetisk gødning. En eventuel forfrugt-effekt bør indgå i energibalancen som en reduktion af den samlede anvendte energimængde.

Anvendt energi ved transport af raps til produktionsanlægget

For at bringe den høstede raps til RME-produktionsanlægget anvendes brændstof til de nødvendige køretøjer. Den forbrugte brændstofmængde og dermed mængde energi afhænger af køretøjets art og antagelsen, om hvor langt der er fra landbrugsbedrifterne til produktionsanlægget. Eventuel tom tilbagekørsel medregnes i energibalancen; men normalt indgår energiforbruget ved fremstillingen af køretøjerne ikke i den snævre energibalance.

Anvendt energi ved produktion af RME

Selve produktionen af RME fra raps kræver både direkte og indirekte energiforbrug. Det direkte energiforbrug omfatter i Danmark naturgas til produktion af varme og elektricitet til at drive de forskellige maskiner, som anvendes i udvindingsprocessen. Det indirekte energiforbrug medgår til produktionen af de fornødne inputs i form af metanol, katalysatorer osv. Ligesom ved rapsdyrkningen omfatter det indirekte energiforbrug forbruget af brændsler og el i de pågældende produktionsprocesser og principielt også ved produktionen af input hertil osv.

Udvindingen af RME fra raps afkaster som omtalt to biprodukter - nemlig rapskage og glycerin. Disse biprodukter kan erstatte den hidtidige produktion af disse eller lignende produkter, hvorved der spares energi. Denne energibesparelse kan fratrækkes energibalancens samlede direkte og indirekte energiforbrug ved RME-produktionen.

Denne fremgangsmåde benævnes substitutionsmetoden. RME-produktionens biprodukter antages at substituere den hidtidige produktion og dermed energiforbruget i forbindelse med denne. En alternativ fremgangsmåde benævnes allokeringemetoden. I følge denne allokeres det samlede energiforbrug ved produktion af RME og biprodukter i forhold til de forskellige produkters priser eller energiindhold.

Anvendt energi ved transport af RME til tankstationerne

Energiforbruget ved transport af RME til tankstationerne opgøres efter samme retningslinier som energiforbruget ved transporten af raps til RME-produktionsanlægget.

2.2.2 Den bredere og den totale energibalance

Den snævre energibalance omfatter ud over det genererede energiindhold i RME alene forbruget af fossil energi ved fremstillingen heraf. Ved opstillingen af den bredere energibalance indgår også forbruget af bioenergi i balancen. Endelig omfatter den totale energibalance i princippet samtlige energimæssige konsekvenser af den ændrede ressourceallokering.

Den bredere energibalance

Til dyrkningen af raps skal der selvsagt anvendes såsæd. Denne repræsenterer et, om end beskedent, energiindhold der indgår som energiforbrug i energibalancen.

Den raps, hvoraf RME udvindes, repræsenterer også et energiindhold, som efter fratræk af såsædens energiindhold ligeledes indgår som forbrug i energibalancen.

Den totale energibalance

I den totale energibalance indarbejdes så vidt muligt alle energimæssige konsekvenser af den ændrede ressourceallokering. Denne omfatter først og fremmest en ændret arealanvendelse, hvor rapsdyrkning erstatter hvededyrkning. Herved indebærer rapsdyrkingen ud over det direkte og indirekte energiforbrug, som beskrives i den snævre energibalance, også at energiforbruget til hvededyrkning reduceres. Denne energibesparelse er omfattet af den totale energibalance.

Ved opgørelsen af den totale energibalance inddrages også konsekvenserne for samfundets samlede energiforbrug, af at rapsdyrkingen på den ene side trækker produktionsfaktorer bort fra anden anvendelse - både gennem det direkte arbejdskraftforbrug på bedriften og gennem forbruget af arbejdskraft ved produktionen af input til rapsdyrkingen. På den anden side frigives der også gennem den ændrede arealanvendelse produktionsfaktorer fra den hidtidige hvedeproduktion. Nettoeffekten af disse to modsatrettede konsekvenser for produktionsfaktorforsbruget påvirker samfundets samlede produktionsaktivitet og dermed energiforbrug. Denne effekt er omfattet af den totale energibalance.

Gennem den ændrede arealanvendelse mistes ikke alene den hidtidige hvedeproduktion, men også produktionen af halm. Halmen repræsenterer et energiindhold, som hidtil i et vist omfang er nyttiggjort ved produktion af el og varme. Denne energimængde mistes og berører samfundets totale energibalance negativt.

Produktionen og anvendelsen af RME har som omtalt også transportmæssige konsekvenser. I den snævre energibalance indgår energiforbruget ved at transportere raps til RME-produktionsanlægget og RME til tankstationerne. Hertil kommer imidlertid, at den reducerede hvedeproduktion også har transportmæssige konsekvenser, ligesom der ikke længere er behov for at transportere fossil diesel til tankstationerne. Hvorvidt disse transportkonsekvensers samlet set indebærer en stigning eller et fald i samfundets brændselsforbrug kan ikke umiddelbart afgøres.

De angivne transporteffekter kan også have betydning for arbejdskraftforbruget. Om der samlet set vil være tale om at trække arbejdskraft bort fra anden anvendelse eller at frigive arbejdskraft, er dog ikke umiddelbart til at afgøre. Afhængigt af om der er tale om det ene eller det andet, vil det hhv. reducere og forøge energibalancens samlede energiforbrug.

Endelig indebærer produktionen af RME fra raps, at der direkte og indirekte trækkes arbejdskraft bort fra anden anvendelse - direkte ved at der ansættes personer på virksomheden, og indirekte ved at der anvendes arbejdskraft til at producere input til RME-produktionen. Hermed reduceres anden produktionsaktivitet i samfundet, og der frigives energi. Dette reducerer den totale energibalances samlede energiforbrug.

I denne rapport opstilles der i Del II alene en snæver energibalance for RME; i Slentø et al. (2010) opstilles der en udvidet balance, hvor der ind-

arbejdes så mange af elementerne fra den totale energibalance, som det er praktisk muligt.

2.3 Emissionsopgørelsen

Emissionsopgørelsen i den samfundsøkonomiske WtW-analyse er principielt bygget op og afgrænset på samme måde som energibalancen. Dette skyldes, at emissionerne i vid udstrækning er knyttet til energiforbruget; men selvfølgelig omfatter emissionsopgørelsen også andre emissioner end de energirelaterede. Man kan parallelt til energibalancen opstille en såvel snæver emissionsopgørelse som en total opgørelse. Det er den totale opgørelse, som danner grundlaget for opgørelsen og værdisætningen af miljøkonsekvenserne i den velfærdsøkonomiske analyse. I det følgende uddybes det nærmere, hvilke typer af emissioner der er omfattet af emissionsopgørelsen i tilknytning til RME-produktionen, og hvilke emissionskonsekvenser der hhv. er omfattet af den snævre og den totale emissionsopgørelse.

2.3.1 Emissionerne

Emissionsopgørelsen omfatter først og fremmest de energirelaterede emissioner til luftpartiklerne CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , SO_2 , NMVOC, CO , NH_3 og partikler PM_{tsp} . Disse emissioner er i sagens natur snævert knyttet til energibalancen, idet de dog ud over de samlede forbrugte energimængder også afhænger af arten af den forbrugte energi og forbrændingsmetoden.

Foruden de energirelaterede emissioner omfatter emissionsopgørelsen også de særligt landbrugsrelaterede emissioner til luft N_2O og NH_3 , der begge er resultatet af gødningsforbruget. Dette har imidlertid også konsekvenser for udvaskningen af N og P, hvilke også er omfattet af emissionsopgørelsen.

Disse emissioner vurderes at være de vigtigste forbundet med produktionen af RME; men det kan ikke udelukkes, at også andre typer af emissioner kan have velfærdsmæssig betydning. Der tænkes her især på emissioner i forbindelse med produktionen og udbringningen af syntetisk gødning og pesticider samt ved produktionen af kemikalieinput til udvindingen af RME fra raps. Disse emissioner bør principielt også være omfattet af emissionsopgørelsen.

2.3.2 Den snævre emissionsopgørelse

Den snævre emissionsopgørelse afgrænses med hensyn til de energirelaterede emissioner på nogenlunde samme måde som den snævre energibalance. Den eneste forskel er, at emissionsopgørelsen er afgrænset geografisk til kun at omfatte emissionerne på dansk område. Det betyder f.eks., at de handelsgødningsrelaterede emissioner alene omfatter emissioner fra marken, hvor gødningen anvendes, og ikke emissioner i udlandet i forbindelse med produktionen af gødningen.

Emissionsopgørelsen omfatter først og fremmest emissionerne fra køretøjerne, der benytter RME. Disse emissioner repræsenterer en stigning i den samlede luftforurening.

Til dyrkning af rapsen anvendes der brændstof til maskinerne samt el til tørring af afgrøden og til eventuel vanding af afgrøden. Hertil kommer det indirekte energiforbrug ved fremstillingen af dansk produceret CaO. Det indirekte energiforbrug omfatter forbruget af brændsler og el i den pågældende produktionsproces. Det er de direkte og indirekte emissioner fra disse produktionsaktiviteters forskellige typer energiforbrug, der indgår i emissionsopgørelsen.

Anvendelse af husdyrgødning og syntetisk gødning indebærer direkte emissioner af lattergas N_2O og ammoniak NH_3 , som også er omfattet af emissionsopgørelsen. Hertil kommer udvaskningen af N og P. De indirekte emissioner knyttet til produktionen af syntetisk gødning og pesticider indgår ikke i den snævre emissionsopgørelse, da produktionen antages at finde sted i udlandet.

Rapshalmen antages at blive anvendt på et kraftværk, hvor den erstatter kul og hvedehalm. Herved sker der en ændring i emissionerne herfra, idet emissionerne fra de hidtil anvendte fossile brændsler erstattes af emissionerne fra forbrændingen af halmen.

For at bringe den høstede raps til RME-produktionsanlægget anvendes en vis brændstofmængde. Denne er bestemmende for emissionerne fra denne del af den samlede produktionsproces.

Emissionerne fra produktionen af RME er knyttet til det direkte og indirekte energiforbrug herved. Det direkte energiforbrug omfatter naturgas til produktion af varme og elektricitet til at drive de forskellige maskiner, som anvendes i konverteringsprocessen. Derimod indgår emissionerne fra det indirekte energiforbrug, som medgår til produktionen af de fornødne inputs i form af metanol, katalysatorer og eventuelt opløsningsmidlet hexane, ikke i den snævre emissionsopgørelse. Dette skyldes, at produktionen antages at finde sted i udlandet.

Som nævnt afkaster produktionen af RME også to biprodukter - nemlig rapskage og glycerin. Rapskagen kan erstatte den hidtidige produktion af sojaskrå; men da produktionen heraf finder sted i udlandet, indgår de undgåede emissioner fra sojaskråproduktionen ikke i den snævre emissionsopgørelse. Glycerin antages at kunne erstatte kul som brændsel på kraftværker. Forskellen i emissionerne fra forbrænding af kul og glycerin indgår i emissionsopgørelsen.

Brændstofforbruget og emissionerne ved transport af RME til tankstationerne opgøres efter samme retningslinjer som energiforbruget og emissionerne ved transporten af raps til biodieselfabrikken.

2.3.3 Den totale emissionsopgørelse

Den totale emissionsopgørelse omfatter ligesom den totale energibalance emissionskonsekvenserne af samtlige ressourceallokeringseffekter af at producere RME. Til den snævre emissionsopgørelse lægges derfor følgende emissionseffekter:

- Reducerede emissioner fra den hidtidige brug af fossil diesel i køretøjerne.

- Reducerede emissioner fra dyrkningen af hvede - både energi- og gødningsrelaterede.
- Ændrede emissioner som følge af nettokonsekvenserne for samfundets arbejdskraftforbrug ved at erstatte hvededyrkning med majsdyrkning.
- Emissionskonsekvenser af ændret transportbehov for hvede.
- Reducerede emissioner ved at RME-udvindingen direkte og indirekte trækker arbejdskraft bort fra anden anvendelse.
- Reducerede emissioner ved reducerede behov for transport af fossil diesel til tankstationerne.

Den totale emissionsopgørelse indgår som en væsentlig del af grundlaget for den velfærdsøkonomiske analyses vurdering af velfærdskonsekvenserne af den ændrede miljøbelastning ved at producere og anvende RME. Emissionsændringerne giver således anledning til ændringer i en række levevilkårsrelevante forhold såsom sundhed, produktionsfaktorproduktiviteten i de primære erhverv, rekreative muligheder etc.

I denne rapport opstilles der i Del II alene en snæver emissionsopgørelse for RME; men i Slentø et al. (2010) opstilles der en udvidet opgørelse, hvor der indarbejdes så mange af elementerne fra den totale emissionsopgørelse, som det er praktisk muligt.

3 DEL II EMPIRI - Velfærdsøkonomisk analyse af produktionen og brugen af rapsdiesel (RME)

Den følgende velfærdsøkonomiske analyse omfatter de ressource- og miljømæssige konsekvenser af at producere og forbruge 100.000 tons rapsdiesel (RME) der erstatter den hidtidige import og brug af 92.180 tons fossil diesel, idet de to brændstoffer har forskelligt energiindhold. Som det fremgår af Tabel 2.1 kan konsekvenserne henføres til følgende aktiviteter:

- Kørsel på RME i stedet for fossil diesel.
- Produktion af raps og mistet produktion af hvede – ændret arealanvendelse.
- Transport af raps til produktionsanlægget og ændret transport af hvede.
- Produktion af RME.
- Transport af RME til tankstationer og undgået transport af fossil diesel hertil.

Disse aktiviteter giver anledning til en omallokering af samfundets knappe ressourcer, hvilken - for det første - har direkte konsekvenser for befolkningens forbrug af markedsomsatte goder og velfærd, og for det andet, for belastningen af miljøet og naturen. Belastningsændringerne påvirker udbudet af en række ikke-markedsomsatte goder, som også har central betydning for befolkningens velfærd. Det drejer sig først og fremmest om konsekvenserne af ændrede CO₂-emissioner. Men hertil kommer, at den ændrede arealanvendelse både kan have konsekvenser for næringsstofbelastningen og landskabets karakter og dermed i begge tilfælde for en række naturværdier, samt at ændringerne i de øvrige luftemissioner måske har konsekvenser for befolkningens sundhed.

I de følgende afsnit omtales de forskellige aktivitetsændringer nærmere. De ressource- og miljømæssige konsekvenser beskrives, og de hermed forbundne velfærdsændringer beregnes ved at værdisætte konsekvenserne med beregningspriser, der afspejler befolkningens marginale nytte af konsekvenserne. Principperne for konsekvensopgørelsen og værdisætningen følger anbefalingerne i Møller et al. (2000).

3.1 Kørsel på RME i stedet for fossil diesel

3.1.1 Spare import af fossil diesel

De indenlands producerede 100.000 tons RME om året erstatter det hidtidige forbrug af 92.180 tons fossil diesel. Et reduceret indenlandsk forbrug af fossil diesel kan således enten føre til reduceret import eller øget eksport. I den velfærdsøkonomiske analyse har dieselen derfor under alle omstændigheder en værdi for samfundet, der svarer til verdensmarkedsprisen, som antages at dække alle udvindings- og raffineringssomkostninger. Derimod har det betydning, om dieselen er produceret i

Danmark ved beregning af produktionsenergi og relaterede emissioner, fordi analyserammen for emissioner er begrænset til Danmark - jf. afsnit 5. Det antages her, at dieselen, som det er tilfældet i dag, er indenlandsk produceret.

Ved fastsættelsen af den sparede fossile dieselolies værdi tages der udgangspunkt i en verdensmarkedspris på råolie i 2006 på 65 USD per tønde. Dette svarer til ca. 69 USD per tønde udtrykt i 2008-prisniveau. (Der opregnes med en stigning i BNP-deflatoren fra 2006 til 2008 på 6,3 %, jf. Energistyrelsen (2009). Dollarkursen i 2006 var 5,95 kr. per USD, hvorfor de USD 69 per tønde svarer til en pris på 411 kr. per tønde. Når brændværdien for råolie er 5,84 GJ per tønde, kan den antagne råoliepris også udtrykkes som 70 kr. per GJ. Med Energistyrelsens antagelse om, at importprisen cif. på diesel kan beregnes ved at forhøje råolieprisen med 25 %, fås en dieselpriis på 88 kr. per GJ, jf. Energistyrelsen (2009). Med en brændværdi for diesel på 42,7 GJ per ton fås en dieselpriis på 3.756 kr. per ton. Ved at erstatte 92.180 tons fossil diesel med 100.000 tons RME spares der således en valutaudgift på

$92.180 \text{ tons} \cdot 3.756 \text{ kr. per tons} = 346 \text{ mio. kr. om året.}$ Når nettoafgiftsfaktoren er fastsat til 1,17 kan værdien af den årlige velfærdsøkonomiske gevinst ved at reducere importen eller øge eksporten af fossil diesel beregnes til $346 \cdot 1,17 \text{ mio. kr.} = 405 \text{ mio. kr.}$

Den velfærdsøkonomiske gevinst på 405 mio. kr. ved at erstatte fossil diesel med RME afspejler værdien for samfundet af den valutamæssige gevinst ved enten af kunne reducere importen eller øge eksporten af fossil diesel. Værdien af valutagevinsten svarer til værdien af det forbrug, som kan erhverves herfor.

Ved beregningen af den velfærdsøkonomiske gevinst er der set bort fra eventuelle ændringer i de indenlandske distributionsomkostninger. Disse ændringer belyses i afsnit 3.5.

3.1.2 Ændring i emissioner ved kørsel på diesel iblandet RME frem for ren fossil diesel

De 100.000 tons RME antages at blive iblandet fossil diesel, således at den færdige blanding består af 5,75 energiprocent RME. Emissionsopgørelsen i tabel 3.1 angiver derfor ændringen i emissionerne ved at anvende dieselolie iblandet RME i stedet for ren fossil diesel. Opgørelsen er beregnet ud fra den i 2010 eksisterende fordeling af dieselbilparken og med den i dette år krævede motorteknologi.

Erstatningen af fossil diesel med RME har begrænsede emissionsmæssige konsekvenser. Emissionerne af drivhusgasser ændrer sig imidlertid væsentligt, idet RME betragtes som et CO₂-neutralt brændstof. CO₂-emissionerne fra forbrændingen af RME kan derfor trækkes ud af drivhusgasregnskabet, der også inkluderer ændringerne i CH₄- og N₂O-emissionerne. Emissionsopgørelsen omfatter i øvrigt ændringen i emissionerne af NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃ og partikler PM (Particulate Matter). Disse stoffer kan have sundhedsmæssige konsekvenser, men formentlig ikke ved de marginalt små ændringer, som iblandingen af RME medfører.

Reduktionen i CO₂-emissionerne på 291.000 tons kan som nævnt primært henføres til, at RME kan betragtes som et CO₂-neutralt brændstof. Når RME forbrændes, udledes der ganske vist nogenlunde den samme mængde CO₂, som ved forbrændingen af fossil diesel. Til gengæld optages CO₂'en nu af de rapsplanter, som danner grundlag for RME-produktionen. Den hidtidige hvedeproduktion har også været CO₂-neutral, således at den endelige CO₂-effekt af arealoplægningen kan knyttes til det reducerede forbrug af fossil diesel.

Tabel 3.1 Årlige emissionsændringer fra dieselmotorer og den velfærdsøkonomiske værdi heraf ved at blande fossil diesel med 100.000 tons RME svarende til en energiprocen på 5,75 %.

	Fossil diesel tons	RME tons	Emissions- ændring tons	Enhedspris ¹	Velfærdsøkonomisk værdi mio. kr.
CO ₂	4.852.000	4.561.000	- 291.000	100 kr. pr. ton	- 29
CH ₄	207	197	- 10	2.100 kr. pr. ton	- 0
N ₂ O	190	190	0	31.000 kr. pr. ton	
NO _x	29.438	29.637	199	50 kr. pr. kg	10
SO ₂	31	29	- 2	100 kr. pr. kg.	- 0
NM VOC	1.421	1.406	- 15		
CO	6.539	6.504	- 35		
NH ₃	24	24	0		
Partikler	1.234	1.187	- 47		
I alt					- 19

Note ¹) Enhedspriserne er i 2007-prisniveau og er baseret på Energistyrelsen (2009). Enhedsprisen på CO₂ er fastsat som en CO₂-kvotepris på 85 kr. per ton forhøjet med nettoafgiftsfaktoren på 1,17. Enhedspriserne for CH₄ og N₂O er fastsat ved at multiplicere enhedsprisen for CO₂ med de pågældende stoffers CO₂-ækvivalentfaktor. Enhedspriserne på NO_x og SO₂ er fastsat som et gennemsnit af enhedspriserne for emissioner i bymæssig og ikke-bymæssig bebyggelse. Anm: Emissionsændringerne er beregnet af Morten Winther.

CO₂-emissionerne kan ikke værdisættes på grundlag af deres konsekvenser for befolkningens velfærdsbestemmende levevilkår. Dette skyldes, at disse emissioner har konsekvenser for det globale klima, og at det ikke er praktisk muligt hverken at opføre klimaeffekterne eller den velfærds-mæssige værdi heraf. Til gengæld er der opstillet en national målsætning for CO₂-emissionerne. Den marginale velfærdsøkonomiske omkostning ved at opfylde målsætningen kaldes CO₂-skyggeprisen. Denne kan benyttes som beregningspris i velfærdsøkonomiske analyser, idet en stigning i emissionerne for at overholde CO₂-målsætningen, vil medføre yderligere omkostninger for samfundet svarende skyggeprisen og omvendt, hvis CO₂-emissionerne begrænses.

CO₂-målsætningen kan for de kvotebelagte sektorer - f.eks. energisektoren - marginalt opfyldes gennem køb af CO₂-kvoter. Sektorerne vil derfor aldrig påføre sig selv omkostninger til CO₂-reduktioner, der overstiger kvoteprisen. Denne pris multipliceret med nettoafgiftsfaktoren repræsenterer derfor den marginale velfærdsøkonomiske omkostning - skyggeprisen - for disse sektors opfyldelse CO₂-målsætningen.

De ikke-kvotebelagte sektorer - f.eks. trafiksektoren - kan ikke bidrage til opfyldelsen af samfundets CO₂-målsætning ved køb af CO₂-kvoter. Denne sektor må først og fremmest bidrage til målsætningens opfyldelse

gennem egentlige CO₂-reducerende foranstaltninger; men sektorerne kan også opfylde deres CO₂-målsætning gennem såkaldt joint implementation i udlandet. Denne mulighed står også åben for den kvotebelagte sektor. Derfor vil der muligvis være en tendens til, at den marginale omkostning ved joint implementation, og dermed også den marginale omkostning for CO₂-reduktion for den ikke-kvotebelagte sektor, vil være lig med kvoteprisen.

På grundlag af denne argumentation har vi valgt at benytte kvoteprisen som CO₂-skyggepris for emissionsreduktioner i såvel den kvotebelagte som den ikke-kvotebelagte sektor. Da den aktuelle CO₂-kvotepris er 85 kr. per ton, jf. Energistyrelsen (2009) - og netto-afgiftsfaktoren er 1,17, kan CO₂-skyggerprisen herefter beregnes til $85 \text{ kr. per ton} \cdot 1,17 = 100 \text{ kr. per ton}$. Emissionsændringen på -291.000 tons om året repræsenterer altså en årlig velfærdsøkonomisk gevinst på 29 mio. kr. - jf. tabel 3.1.

Argumentationen for at antage en ens CO₂-skyggepris for de kvote- og ikke-kvotebelagte sektorer kan selvfølgelig diskuteres - især når Danmark også har en selvstændig målsætning for andelen af vedvarende energi. Vi vurderer imidlertid, at grundlaget for at fastsætte en specifik CO₂-skyggepris for den ikke-kvotebelagte sektor er for spinkelt. I Slentø et al. (2010) gennemføres der i stedet en følsomhedsanalyse med en væsentlig højere CO₂-skyggepris, hvilket skal afspejle, at en stor del af CO₂-reduktionerne sker inden for den ikke-kvotebelagte sektor, og at de marginale omkostninger ved de fordelagtigste alternative reduktionsforanstaltninger inden for denne sektor, antageligt er højere end den aktuelle kvotepris.

Den velfærdsøkonomiske værdi af ændringerne i emissionerne af de to andre drivhusgasser, CH₄ og N₂O, beregnes på samme måde som værdien af CO₂-ændringerne, idet skyggepriserne for disse to stoffer fås ved at multiplicere CO₂-skyggeprisen på 100 kr. per ton med de to stoffers CO₂-ækvivalent faktorer på hhv. 21 og 310. Emissionsændringerne er imidlertid så beskedne, at værdien heraf er ubetydelig.

De velfærdsøkonomiske konsekvenser af de øvrige emissionsændringer er generelt meget geografisk relateret. Konsekvenserne afhænger af, hvor de miljøfremmede stoffer udledes, fordi dette er bestemmende for, hvor stofferne spredes i miljøet og naturen og dermed for, hvilke konsekvenser den resulterende eksponering har for personers levevilkår. I Energistyrelsen (2009) er der imidlertid fastsat såkaldte enhedspriser for SO₂- og NO_x-emissioner, som for hver emissionstype angiver den velfærdsøkonomiske værdi heraf. Enhedspriserne antages at være repræsentative for de velfærdsøkonomiske konsekvenser af de to emissionstyper - en slags gennemsnitlig værdi. For NO_x er enhedsprisen beregnet til 50 kr. per ton, mens der for SO₂ er fastsat en enhedspris for bymæssig og ikke-bymæssig bebyggelse på hhv. 120 kr. per ton og 80 kr. per ton. Hvis Energistyrelsens enhedspriser benyttes som beregningspriser, opnås de i tabel 3.1 angivne velfærdsøkonomiske værdier. De årlige NO_x-emissioner stiger med 199 tons, hvilket repræsenterer en velfærdsøkonomisk omkostning på 10 mio. kr. Der sker kun et meget beskedent fald i SO₂-emissionerne. Den angivne enhedspris herfor på 100 kr. per ton er fastsat som et simpelt gennemsnit af prisen for bymæssig og ikke-

bymæssig bebyggelse. Med denne enhedspris er den samfundsmæssige gevinst ved den reducerede SO₂-emission ubetydelig.

Emissionerne af NMVOC og NH₃ reduceres med hhv. 15 tons og 35 tons om året, mens NH₃-emissionerne er uændrede. Der foreligger ikke enhedspriser for ændringer i emissionerne af disse stoffer, hvorfor det ikke er muligt at beregne en eventuel velfærdsøkonomisk gevinst ved de angivne emissionsreduktioner.

Endelig reduceres emissionerne af partikler PM med 47 tons om året. Partikelemissionerne er sundhedsskadelige, idet de aldersbetingede sandsynligheder for at dø normalt antages at ændres med 5 %, når partikelkoncentrationen ændres med 10 mikrogram per m³. Den angivne reduktion i partikelemissionerne repræsenterer altså en potentiel velfærdsøkonomisk gevinst. Det er imidlertid særdeles vanskeligt at opgøre den velfærdsøkonomiske værdi heraf. Dette kræver for det første, at emissionsændringerne kan stedsfæstes, således at de kan omsættes til ligeledes stedsfæstede koncentrationsændringer ved brug af luftspredningsmodeller. Når koncentrationsændringerne er stedsfæstede, er det herefter muligt at bestemme, hvor mange personer der udsættes herfor. Den angivne sammenhæng mellem partikelkoncentration og relativ dødsrisiko kan nu benyttes til at beregne, hvorledes de berørte personers overlevelseskurver påvirkes af koncentrationsændringerne. Kender man endelig den såkaldte værdi af et leveår VOLY (Value of a Life Year) kan værdien af velfærdsændringen beregnes på forskellig måde, jf. Møller (2009). I denne rapport er det dog valgt ikke at værdisætte ændringen i partikelemissionerne.

Samlet set er den velfærdsøkonomiske værdi af de værdisatte emissionsændringer beregnet til en velfærdsøkonomisk gevinst på 19 mio. kr. om året. Hertil kommer gevinsten ved reduktionen i emissionerne af de tre ikke-værdisatte stoffer. Emissionsreduktionerne er imidlertid meget beskedne, hvorfor gevinsterne herfra må anses for ubetydelige.

3.1.3 Reducerede emissioner ved raffinering af råolie til fossil diesel

Med produktionen af 100.000 tons RME til det danske marked nedsættes forbruget af fossil diesel med 92.180 tons. Dette resulterer i sig selv i en velfærdsøkonomisk gevinst på 405 mio. kr. - jf. afsnit 3.1.1. Hertil kommer imidlertid en yderligere gevinst, ved at de hidtidige emissioner fra raffineringen af råolie til diesel bliver reduceret, når behovet for raffinering bliver mindre. Raffineringen finder sted i Danmark, hvorfor emissionsændringerne herfra bør være omfattet af den velfærdsøkonomiske analyse.

Det reducerede forbrug af fossil diesel påvirker reelt også behovet for udvinding af råolie. Da denne bl.a. finder sted i den danske del af Nordsøen, taler dette for, at også de reducerede emissioner for olieudvinding bør indarbejdes i den velfærdsøkonomiske analyse. Her er det dog antaget, at olieudvindingstakten forbliver upåvirket af RME-produktionen. Råolien eksporteres blot til andre lande. Hertil kommer, at olieudvindingen i den danske del af Nordsøen formentlig også kun fortsætter i nogle få år endnu. En eventuel emissionseffekt herfra kan derfor under alle omstændigheder kun være relevant i nogle få år.

I tabel 3.2 er der angivet emissionsfaktorer for raffinering af råolie til diesel. Faktorerne angiver emissionerne i g per produceret MJ fossil diesel. Produktionen af diesel reduceres med 92.180 tons, hvilket med en brændværdi for diesel på 46,7 GJ per ton svarer til de 3.940 mio. MJ, som er angivet i tabellen. Denne energimængde kan herefter multipliceres med emissionsfaktorerne, hvorved de i tabel 3.2 angivne emissionsændringer fremkommer.

Tabel 3.2 Reduktionen af årlige emissioner og den velfærdsøkonomiske gevinst herved som følge af reduceret raffinering af råolie til fossil diesel.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂	NMVOC	CO	NH ₃	PM	I alt
Emissionsfaktorer g pr. MJ produceret fossil diesel										
Fossil diesel (kun opstrøm)	3,477	0,008	0,000	0,007	0,010	0,005	0,005	0,000	0,001	
Emissioner, ton										
Fossil diesel, 3.940 mio. MJ	13.686,5	32,1	0,4	27,5	38,1	18,5	18,5	0,0	4,9	
Velfærdsøkonomisk værdi										
Enhedspris, kr. pr. ton	100	2.100	31.000	50.000	80.000	-	-	-	-	
Værdi, mio. kr.	1,37	0,07	0,01	1,38	3,05	-	-	-	-	5,88

Det ses, at reduktionen i raffineringen af råolie til diesel indebærer et fald i emissionerne af alle angivne luftarter. Med de forudsatte enhedspriser herpå - jf. forklaringen i afsnit 3.1.2 - repræsenterer emissionsreduktionerne en samlet velfærdsøkonomisk gevinst på knapt 6 mio. kr.

3.2 Produktion af raps og mistet produktion af hvede - ændret arealanvendelse

For årligt at producere 100.000 tons RME skal der anvendes 261.400 tons rapsfrø. Dette kræver, at der inddrages et landbrugsareal på 78.500 ha til dyrkningen af rapsen. Der antages et udbytte på 3.330 kg per ha. Alternativt kan man antage, at rapsen bliver importeret; men i denne analyse forudsættes det, at rapsen er indenlandsk produceret. Det antages endvidere, at der hidtil er blevet dyrket foderhvede på det inddragede areal. Hvedeproduktionen har årligt været på 597.500 tons, idet der antages et udbytte på 7.613 kg per ha.

De velfærdsøkonomiske konsekvenser af at øge produktionen af raps er altså, at der for det første mistes en årlig produktion på 597.500 tons foderhvede. Denne skal nu i stedet importeres. For det andet indebærer den reducerede hvedeproduktion, at den årlige halmproduktion på 330.900 tons falder bort. Halmudbyttet antages at være 4.216 kg per ha. Af den samlede halmproduktion på 330.900 tons antages 26 %, svarende til 86.000 tons, hidtil at være blevet anvendt som brændsel på kraftvarmeværker. Den tabte produktion af hvedehalm mere end erstattes imidlertid af en øget produktion af rapshalm svarende til 225.700 tons. For det tredje sker der en ændring i ressourceanvendelsen, idet der frigives ressourcer fra den hidtidige hvedeproduktion; men til gengæld skal der anvendes ressourcer i rapsproduktionen. Endelig har den ændrede ressourceanvendelse også emissions- og naturmæssige konsekvenser.

Konsekvenserne af den ændrede arealanvendelse og omallokering af ressourcerne er sammenfattet i tabel 3.3. Konsekvensopgørelsen er base-

ret på budgetkalkuler fra Landscentret Planteproduktion - Landscentret Planteproduktion (2008).

Ved opgørelsen af udbytter og ressourceforbrug er det forudsat, at 70 % af arealet har en jordbonitet på JB 5 - 6, og at jordboniteten på 30 % af arealet er JB 1 og 3. Vedrørende den sidstnævnte del af arealet antages det, at 50 % bliver vandet, mens resten ikke vandes. Der er taget udgangspunkt i budgetkalkuler for 2008, og udbytter og ressourceforbrug for de angivne jordboniteter er herefter i overensstemmelse med de angivne antagelser sammenvejet i forholdet 70 %, 15 % og 1 %.

I budgetkalkulerne er maskin- og arbejdskraftomkostningerne angivet med et samlet kronebeløb per ha. Landscentret har imidlertid kunnet oplyse (personlig meddelelse) at de samlede omkostninger typisk fordeler sig med 43 % til forrentning og afskrivninger på maskiner, 27 % til arbejdskraft, 20 % til vedligeholdelse af maskiner og 10 % til brændstof. De samlede maskin- og arbejdsomkostninger er derfor som udgangspunkt fordelt i overensstemmelse med denne procentfordeling. Landscentret har også kunnet oplyse den forudsatte timepris for arbejdskraft og literprisen på brændstof således, at det i tabel 3.3 angivne timeforbrug og forbrug af diesel har kunnet beregnes.

Med hensyn til forrentningen og afskrivningen af maskinerne er der foretaget en yderligere korrektion. I budgetkalkulen er det forudsat, at maskininvesteringer bogholderimæssigt afskrives og forrentes med hhv. 12 % og 5 % om året. Den årlige afskrivningsprocent på 12 % svarer til en levetid på 8 år. I velfærdsøkonomiske analyser antages landbrugsmaskiner imidlertid at have en økonomisk levetid på 10 år, og den velfærdsøkonomiske diskonteringsrate antages at være 4 %. Det velfærdsøkonomiske maskinforbrug i tabel 3.3 er herefter beregnet på følgende måde: Budgetkalkulens årlige beløb for forrentning og afskrivning er først blevet divideret med kapitalindvindingsfaktoren for en 8-årig periode og en rente på 5 %. Hermed opnås værdien af den samlede maskininvestering. Denne er herefter omregnet til en årlig velfærdsøkonomisk omkostning ved multiplikation med kapitalindvindingsfaktoren for en 10-årig periode og en rente på 4 %.

3.2.1 Økonomiske konsekvenser

Det ses af tabellen, at de økonomiske konsekvenser af at erstatte hvedeproduktion med rapsproduktion på et areal på 78.493 ha først og fremmest er det omtalte tab af hvede- og hvedehalmproduktion på hhv. 597.500 tons og 86.000 tons. Til gengæld opnås en rapsproduktion på 261.400 tons og en rapshalmproduktion på 225.700 tons. Endvidere har raps en såkaldt forfrugtsværdi svarende til 2.120 tons N. Der opsamles N i rapsplantens rødder, og herved kan tilførslen af N-gødning reduceres i forbindelse med dyrkningen af den næste afgrøde på marken.

Forbruget af udsæd ændres selvsagt også, idet der spares 13.300 tons hvedekorn og i stedet skal benyttes 370 tons rapsfrø. Med hensyn til det øvrige ressourceforbrug indebærer den ændrede arealanvendelse, at arbejdskraftforbruget reduceres fra 497.000 timer til 413.000 timer. Forbruget af organisk N-gødning forbliver uændret, mens forbruget af de forskellige syntetiske gødningstyper N, P og K stiger fra hhv. 9.215 tons, 1.500 tons og 5.495 tons til 10.100 tons, 2.000 tons og 7.065 tons. Behovet

for kalkning er uændret, mens rapsproduktionen i modsætning til hvedeproduktionen kræver en svovltilsætning på 2.745 kg.

Produktionen af raps kræver også i modsætning til hvedeproduktionen årlige udgifter til analyser på 21 mio. kr., og omkostningerne til planteværn stiger fra 45 mio. kr. til 52 mio. kr. Brændstofforbruget i forbindelse med markarbejdet reduceres derimod fra 7.160.000 liter diesel. til 5.945.000 liter diesel, og vedligeholdelsesomkostningerne for maskinerne reduceres fra 64 mio. kr. til 53 mio. kr. Det årlige maskinforbrug (forbrug af realkapital) reduceres fra 139 mio. kr. til 115 mio. kr.

Endelig sker der en reduktion i ressourceforbruget til markvanding. Budgetkalkulen fra Landscentret Planteproduktion (2008) angiver, at ressourceforbruget må påregnes at beløbe sig til hhv. 21 mio. kr. og 20 mio. kr. for hvede- og rapsproduktion, dvs. værdien af den årlige ressourcebesparelse kan beregnes til 1 mio. kr.

Tabel 3.3 Produktions-, ressource- og emissionsmæssige konsekvenser af i stedet for hvede at dyrke raps på et areal på 78.500 ha. Positive ændringsværdier angiver øget produktion, ressourceforbrug og emission, mens negative ændringsværdier angiver reduceret produktion, ressourceforbrug og emission.

	Hvedeproduktion	Rapsproduktion	Netto-ændring
Produkter			
Hvedeproduktion, tons	597.500		- 597.500
Hvedehalmproduktion, tons	86.000		- 86.000
Rapsfrø produktion, tons		261.400	261.400
Rapshalmproduktion, tons		225.700	225.700
Forfrugtsværdi raps (sparet N-gødning), tons		2.120	2.120
Ressourceforbrug			
Udsæd raps, tons		370	370
Udsæd hvede, tons	13.300		- 13.300
Arbejdskraft, timer	497.000	413.000	- 84.000
N-gødning (organisk), tons	2.940	2.940	0
N-gødning (syntetisk), tons	9.215	10.100	885
P-gødning, tons	1.500	2.000	500
K-gødning, tons	5.495	7.065	1.570
Kalkning, tons	62.795	62.795	0
Svovltilsætning, kg		2.745	2.745
Analyser, mio. kr.		21	21
Planteværn, mio. kr.	45	52	7
Brændstofforbrug, 1.000 liter diesel	7.160	5.945	- 1.215
Vedligeholdelse maskiner, mio. kr.	64	53	-11
Maskinforbrug, mio. kr.	139	115	-24
Markvanding, mio. kr.	21	20	-1
Emissioner (markoper. og undg. kulforbrænding)			
CO ₂ , tons	- 97.000	- 298.000	-201.000
CH ₄ , tons	3	0	- 3
N ₂ O, tons	2	3	1
NO _x , tons	242	277	35
SO ₂ , tons	14	28	14
NMVOC, tons	8	5	- 3
CO, tons	108	211	103
NH ₃ , tons	0	0	0
Partikler PM, tons	6	7	1
Emissioner (gødning)			
N-udvaskning, tons	5.102	6.044	942
P-udvaskning, tons			0
N ₂ O, tons	231	248	17
NH ₃ , tons	501	521	20

Kilde: Landscentret Planteproduktion (2005 – 2009) og egne beregninger – jf. teksten.

3.2.2 Emissioner

Emissionerne i tabel 3.3 omfatter for det første de energirelaterede emissioner som følge af ændret dieselforbrug i forbindelse med markoperationer og fortrængning af kulrelaterede emissioner ved at biproduktet hvedehalm afløses af rapshalm som kraftværksbrændsel. Hertil kommer de gødningsrelaterede emissioner, ved at der sker en ændring i forbruget

af syntetisk gødning. Emissionsændringerne vedrører alene udvaskningen af N og P fra marken samt fordampningen af N₂O og NH₃ herfra. Ændringen i emissionerne fra produktionen af den syntetiske gødning er ikke omfattet af opgørelsen.

Tabel 3.4 Energirelaterede emissionskonsekvenser af at dyrke raps frem for hvede på et 78.490 ha stort areal og lade rapshalmen erstatte hvedehalm og kul som brændsel på kraftværker.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂	NMVOC	CO	NH ₃	PM
Emissionsfaktorer									
Emissionsfaktor g pr. MJ diesel (inkl. opstrøm)	77,48	0,01	0,00	0,75	0,01	0,03	0,15	0,00	0,02
Emissionsfaktor g pr. MJ elektricitet (inkl. opstrøm)	185,28	0,01	0,00	0,19	0,08	0,00	0,04	0,00	0,01
Emissionsfaktor g pr. MJ halm (inkl. opstrøm)	102,00	0,0005	0,0014	0,131	0,0471	0,0008	0,063	0,00	0,004
Emissionsfaktor g pr. MJ kul (ekskl. opstrøm)	95,00	0,0015	0,0008	0,098	0,04	0,0015	0,01	0,00	0,003
Emissioner	tons	kg	Kg	kg	kg	kg	Kg		Kg
Landbrugsmaskiner									
- 43.581.600 MJ diesel	- 3.377	- 632	- 146	- 32.570	- 442	- 1.523	- 6.578	-14	- 837
Vanding									
- 2.937.400 MJ elektricitet	- 544	- 16	- 6	-569	- 232	- 11	- 112	-7	- 15
Fortrængt kulforbrænding									
+ 2.072.230 GJ halm		1.036	2.901	271.462	97.602	1.658	130.550	0	8.227
- 2.072.230 GJ kul	- 196.862	-3.108	-1.658	-203.078	-82.889	-3.108	-20.722	0	-6.217
I alt	- 200.783	- 2.720	1.091	35.245	14.038	-2.984	103.139	-21	1.158

I tabel 3.4 er angivet de detaljerede beregninger for de energirelaterede emissioner fra landbruget som følge af hhv. maskinernes reducerede dieselforbrug, vandingsmaskinernes reducerede elforbrug og rapshalmens erstatning af hvedehalm og kul som brændsel på kraftværkerne. I tabellen er også angivet de forudsatte emissionsfaktorer, samt de ændrede energiforbrug som ligger til grund for emissionsberegningerne.

Som angivet i tabel 3.3 reduceres landbrugsmaskinernes forbrug af diesel med 1.215.000 liter. Når dieselens vægtfylde er 0,84 kg per liter, og dens brændværdi er 42,7 MJ per kg, svarer de 1.215.000 liter diesel til 43.581.600 MJ diesel. Ved brug af de i tabellen angivne emissionsfaktorer kan emissionsreduktionerne for de forskellige luftarter herefter beregnes.

Overgangen fra hvede- til rapsproduktion indebærer som omtalt en ressourcebesparelse til markvanding. En del af ressourcebesparelsen udgøres af en reduktion i elektricitetsforbruget. Landscentret Planteproduktion (2008) angiver, der skal anvendes hhv. 105 mm og 90 mm vand til hvede og rapsproduktion. Når der som omtalt antages at skulle vandes på 15 % af det benyttede areal på 78.500 ha, fås et fald i vandforbruget på $(0,105 - 0,090) \cdot 78.500 \cdot 10^4 \cdot 0,15 \text{ m}^3 = 1.766.250 \text{ m}^3$. Elforbruget angives til at være 0,44 kWh per m³. Dette forbrug forhøjes skønsmæssigt med 5 % til 0,46 kWh per m³, idet der også skal bruges energi til udbringning og flytning af vandingsanlæggene. Reduktionen i energiforbruget kan herefter beregnes til 816.000 kWh, hvilket svarer til de angivne 2.937.400 MJ - der går 3,6 MJ per kWh. Denne energibesparelse danner, sammen med de i tabel 3.4 angivne emissionskoefficienter for elproduktion, grundlag for beregningen af de i tabellen angivne emissionsreduktioner.

Overgangen fra hvedeproduktion til rapsproduktion indebærer et tab af hvedehalm, der anvendes som brændsel, på 86.000 tons, jf. tabel 3.3. Denne hvedehalm repræsenterer et energitab på 1.287.283 GJ, idet halmens brændværdi er 14,9 GJ per ton. Til gengæld kan nu 225.700 tons rapshalm anvendes som brændsel. Med den samme brændværdi for rapshalmen som for hvedehalmen repræsenterer de 225.700 tons rapshalm en energigevinst på 3.359.513 GJ. Den energimæssige nettogevinst ved den forudsatte erstatning af hvedehalm med rapshalm, kan herefter beregnes til 2.072.230 GJ. Hvis det antages, at energigevinsten omsættes i fortrængning af kul som brændsel, kan emissionsreduktionerne i tabel 3.4 beregnes ved brug af de i tabellen angivne emissionsfaktorer for hhv. halm og kul.

Samlet set reduceres de energirelaterede CO₂-emissioner med 201.000 tons, hvilket primært skyldes, at halm som brændsel er CO₂-neutralt; men selvfølgelig bidrager de reducerede emissioner fra diesel- og elforbruget også til resultatet. Emissionerne af CH₄ og NMVOC falder også samlet set med 3 tons hver. De øvrige energirelaterede emissioner stiger imidlertid - N₂O med 1 ton, NO_x med 35 tons, SO₂ med 14 tons, CO med 103 tons og partikler PM med 1 ton. Dette skyldes, at halmafbrænding giver anledning til større emissioner af disse stoffer end kul. Stigningen i emissionerne herfra overstiger emissionsreduktionerne fra det reducerede diesel- og elforbrug.

Den gødningsrelaterede udvaskning af N stiger ligesom emissionerne til luft af N₂O og NH₃ som følge af det øgede forbrug af syntetisk gødning - jf. tabel 3.3. Stigningen i udvaskningen af N på 942 tons er beregnet ud fra den observerede gennemsnitlige udvaskning fra hvede- og rapsmarker på hhv. 65 kg per ha og 77 kg per ha. samt arealanvendelsen på 78.500 ha. Den gennemsnitlige udvaskning er oplyst af er baseret på oplysninger fra DMU's landovervågning, jf. Slentø et al. (2010). Ifølge samme kilde sker der ingen ændring i udvaskningen af P ved at overgå fra hvede- til rapsproduktion.

Ændringen i emissionerne af NH₃ og N₂O på hhv. 20 tons og 17 tons er beregnet ud fra oplysningerne i tabel 3.3 om anvendelsen organisk og syntetisk N-gødning ved produktion af hvede og raps.

NH₃-emissionerne fra organisk N-gødning beregnes på grundlag af en emissionskoefficient på 0,0996 ton NH₃ per ton N, der gælder for den i Danmark gennemsnitlige sammensætning på fast og flydende gødning. For syntetisk N-gødning er den tilsvarende koefficient ifølge Plantedirektoratets og Dansk Jordbrugsforsknings normtal 0,0225 ton NH₃ per ton N for den i Danmark gennemsnitligt anvendte sammensætning af handelsgødningstyper - jf. Slentø et al. (2010).

N₂O-emissionerne beregnes ud fra den tilførte mængde N-gødning - organisk såvel som syntetisk - fratrukket den mængde N, som er indeholdt i de samlede NH₃-emissioner. Når molvægten for N og H er hhv. 14 og 1, kan N-indholdet i NH₃-emissionerne beregnes ved at multiplicere disse med 14/17. Den resterende N-tilførsel giver herefter anledning til N₂O-emissioner bestemt ved emissionskoefficienten 0,0196 ton N₂O per ton N. Beregningen gennemføres altså på følgende måde:

$$\text{tons N}_2\text{O} = (\text{tons N tilført} - \text{beregnet tons NH}_3 \text{ emission} \cdot \frac{14}{17}) \cdot 0,0196$$

3.2.3 Naturkonsekvenser

Det har ikke været muligt at beskrive eventuelle naturkonsekvenser som følge af overgangen fra hvede- til rapsproduktion. Der kan både være tale om konsekvenser for floraen og faunaen og for de landskabelige værdier. I det aktuelle tilfælde hvor raps erstatter hvede, er det dog ikke oplagt, at disse konsekvenser har noget større omfang.

I andre tilfælde - f.eks. produktion af energipil i å-dale - kan man dog ikke se bort fra, at naturkonsekvenserne kan være betydelige. Det kan imidlertid være vanskeligt at kvantificere konsekvenserne for flora og fauna, og det er ikke oplagt, hvorledes ændringer i de landskabelige værdier skal beskrives. Dette begrænser mulighederne for at fastsætte den velfærdsøkonomiske værdi af naturkonsekvenserne, og selvom de foreligger velbeskrevet, udestår problemet med at værdisætte konsekvenserne fortsat. De foreliggende direkte og indirekte værdisætningsmetoder er nemlig rettet mod værdisætning af specifikke ændringer i naturværdierne, og resultaterne kan derfor kun visse tilfælde overføres fra én vurderingssituation til en anden.

3.2.4 Velfærdsøkonomisk beregning

Konsekvensbeskrivelsen i tabel 3.3 danner grundlag for velfærdsøkonomiske beregninger, hvor der til de mængdemæssige ændringer knyttes beregningspriser, som udtrykker befolkningens marginale nytte af de forskellige konsekvenser. De velfærdsøkonomiske beregninger er sammenfattet i tabel 3.5.

Det fremgår af tabellen, at der isoleret set vil være et velfærdsøkonomisk tab på 740 mio. kr. om året ved at dyrke raps frem for hvede på et areal på 78.490 ha. Tabet fremkommer først og fremmest som et resultat af værdien af den mistede hvedeproduktion. Hertil kommer en beskedent stigning i værdien af ressourceforbruget ved overgå fra hvede til rapsproduktion. Til gengæld reduceres tabet en smule gennem værdien af CO₂-gevinsten ved at erstatte kul med rapshalm på kraftværkerne. Det store samlede tab skyldes, at beregningen heraf ikke omfatter værdien af rapsproduktionen. Denne er udeladt af beregningen, fordi værdien heraf er omfattet af den velfærdsøkonomiske gevinst på 405 mio. kr. ved at erstatte fossil diesel med RME - jf. afsnit 3.1.1. I det følgende beskrives de velfærdsøkonomiske beregninger nærmere.

Hvede

Den mistede hvedeproduktion på 597.500 tons værdisættes på grundlag af en forventet verdensmarkedspris på 1,14 kr. per kg, der forhøjes til beregningsprisniveau med nettoafgiftsfaktoren NAF = 1,17 - jf. Møller et al. (2000). Den forventede verdensmarkedspris er fastsat som et simpelt gennemsnit af den forudsatte hvedepris i budgetkalkulerne fra Landcentret Planteproduktion for de seneste tre år. Denne prisforudsætning er selvsagt af meget stor betydning for resultatet af den samlede velfærdsøkonomiske analyse. Som udgangspunkt er den mistede hvedes værdi beregnet til ca. 800 mio. kr., hvorfor en ændring i hvedepriisen på blot 10 % indebærer en ændring i hvedens værdi på 80 mio. kr.

Tabel 3.5 Velfærdsøkonomiske konsekvenser af i stedet for hvede at dyrke raps på et areal på 78.490 ha - ekskl. værdien af rapsen som er værdisat gennem værdien af RME.

	Mængdemæssig nettoændring (jf. tabel 3.3)	Køberpris fratrukket refunderbare afgifter	Beregningspris (inkl. 17 % NAF)	Velfærdsøkonomisk værdi mio. kr.
Produkter				
Hvedeproduktion	- 597.500 tons	1,14 kr. pr. kg	1,14 kr. pr. kg · 1,17	- 797
Hvedehalmproduktion	- 86.000 tons	0,40 kr. pr. kg	0,40 kr. pr. kg · 1,17	- 40
Rapsfrøproduktion	261.400 tons			
Rapshalmproduktion	225.700 tons	0,400 kr. pr. kg	0,40 kr. pr. kg · 1,17	106
Forfrugtsværdi (N-bespar.)	2.120 tons	6,97 kr. pr. kg	6,97 kr. pr. kg · 1,17	17
I alt				- 714
Ressourceforbrug				
Udsæd raps	370 tons	104,07 kr. pr. kg	104,07 kr. pr. kg · 1,17	45
Udsæd hvede	- 13.300 tons	2,61 kr. pr. kg	2,61 kr. pr. kg · 1,17	- 41
Arbejdskraft	- 84.000 timer	175 kr. pr. time	175 kr. pr. time · 1,17	- 17
N-gødning (organisk)	0 tons			
N-gødning (syntetisk)	885 tons	6,97 kr. pr. kg	6,97 kr. pr. kg · 1,17	7
P-gødning	502 tons	13,77 kr. pr. kg	13,77 kr. pr. kg · 1,17	8
K-gødning	1.570 tons	5,5 kr. pr. kg	5,5 kr. pr. kg · 1,17	10
Kalkning	0 tons			
Svovltilsætning	2.747 tons	2,50 kr. pr. kg	2,50 kr. pr. kg · 1,17	8
Analyser	21 mio. kr.		21 mio. kr. · 1,17	24
Planteværn	7 mio. kr.		7 mio. kr. · 1,17	8
Brændstofforbrug (diesel)	- 1.215.000 liter	4,48 kr. pr. liter	4,48 kr. pr. liter · 1,17	- 6
Vedligeholdelse maskiner	- 11 mio. kr.		- 11 mio. kr. · 1,17	- 13
Maskinforbrug	- 24 mio. kr.		- 24 mio. kr. · 1,17	- 27
Markvanding	- 1 mio. kr.		- 1 mio. kr. · 1,17	- 1
I alt				5
Emissioner (markoper. og undg. kulforbrænding)				
CO ₂	- 201.000 tons		100 kr. pr. ton	- 20
CH ₄	- 3 tons		2.100 kr. pr. ton	- 1
N ₂ O	1 tons		31.000 kr. pr. ton	0
NO _x	35 tons		50 kr. pr. kg	2
SO ₂	14 tons		80 kr. pr. kg	1
NMVOC	- 3 tons			
CO	103 tons			
NH ₃	0 tons			
Partikler PM	1 tons			
I alt				- 18
Emissioner (gødning)				
N-udvaskning	942 tons		40.000 kr. pr. ton	38
P-udvaskning	0 tons			
N ₂ O	17 tons		31.000 kr. pr. ton	1
NH ₃	20 tons			
I alt				39
I alt velfærdsøkonomiske tab (- 714 mio. kr. - 5 mio. kr. + 18 mio. kr. - 39 mio. kr. = - 740 mio. kr.)				- 740

Hvede- og rapshalm

Den mistede mængde hvedehalm og vundne mængde rapshalm, der forudsættes anvendt som brændsler på kraftværker, er begge værdisat ud fra en indenlandsk halmpris på 0,40 kr. per kg, der er forhøjet med NAF. Denne halmpris på hvede er forudsat i Landscentret Plantepro-

duktion (2009), og det forudsættes, at rapshalm kan afsættes til samme pris. I Energistyrelsen (2009) angives en tilsvarende pris inkl. distributivonstillæg for halm. Med de forudsatte halmmængder indebærer substitutionen af hvedehalm med rapshalm som brændsel en velfærdsøkonomisk gevinst på 106 mio. kr. - 40 mio. kr. = 66 mio. kr. Dette resultat er selvsagt meget afhængigt af, at det forudsættes, at kun 26 % af hvedehalmen hidtil er blevet anvendt som brændsel, mens al rapshalmen nu antages at blive brugt på denne måde. Andre forudsætninger om størrelsen af de halmmængder, der anvendes som brændsel, vil føre til andre resultater. Der kan ligefrem blive tale om et velfærdsøkonomisk tab, idet den samlede mængde hvedehalm er større end mængden af rapshalm.

Det er også muligt at værdisætte halmgevinsten på en anden måde. Her er halmen værdisat ud fra en forudsat halmpris; men da halmen i sidste ende antages at erstatte kul som brændsel, kan halmen også værdisættes ud fra værdien af den reducerede kulimport. Denne mulighed er dog udeladt, idet det må antages, at halmens pris i nogen grad afspejler værdien af den kulmængde som den kan fortrænge.

Forfrugtsværdi

Rapsplanten har som omtalt den egenskab, at der opsamles næringsstoffer i dens rødder. Derfor har rapsdyrkningen en såkaldt forfrugtsværdi svarende til en vis mængde N. I det aktuelle tilfælde spares 2.120 tons syntetisk N ved dyrkningen af den efterfølgende afgrøde. N-gødningen har en international markedspris på 6,97 kr. per kg og efter multiplikation af denne med NAF = 1,17 kan den samlede forfrugtsværdi beregnes til de angivne 17 mio. kr.

Ressourceforbrug

Værdien af ændringerne i forbruget af de forskellige ressourcer værdisættes enten ud fra en angiven mængdeændring og en forudsat pris eller ud fra en angiven beløbsændring. Både de forudsatte priser og beløbsændringer forhøjes med NAF = 1,17 for at udtrykke værdierne i beregningsprismiveau. De forudsatte mængdeændringer, priser og beløbsændringer fremgår alle af tabel 3.5.

Samlet set påføres samfundet en velfærdsøkonomisk omkostning på årligt 5 mio. kr. som følge af ændringerne i ressourceforbruget ved at overgå fra hvede- til rapsproduktion. Denne relativt beskedne nettoomkostning dækker over et merressourceforbrug til syntetisk gødning, svovltilsætning, planteværn og analyser, mens der spares ressourcer i form af lavere forbrug af arbejdskraft, brændstof og realkapital (forbrug af maskiner og vedligeholdelse heraf). Ændringerne i ressourceforbruget er af så beskedne størrelsesorden, at ændringer i de forudsatte mængdeændringer, priser og beløbsændringer ikke vurderes at kunne påvirke resultatet af den samlede velfærdsøkonomiske analyse i noget større omfang.

Emissioner fra markoperationer og fortrængt kulforbrænding

Emissionsændringerne er meget beskedne bortset fra reduktionen i CO₂-emissionerne. Denne skyldes som omtalt, at rapshalmen antages både at erstatte den hidtil anvendte mængde hvedehalm og en betydelig mængde kul. Selv med denne for rapsproduktionen "gunstige" antagelse beløber den velfærdsøkonomiske værdi af CO₂-reduktionen sig dog kun til 20 mio. kr. om året. Værdien er beregnet med en forudsat skyggepris på

CO₂ på 100 kr. per ton. Denne pris svarer til den forventede CO₂-kvotepris forhøjet med NAF, jf. Energistyrelsen (2009). Forudsætningen for den beregnede velfærdsøkonomiske gevinst på 20 mio. kr. er altså, at den reducerede CO₂-udledning nedsætter behovet for at købe CO₂-kvoter. Dette er en valutamæssig gevinst, som kan omsættes i øget forbrug og nytte for befolkningen. Beregningen bygger også på en antagelse om, at Danmark opfylder landets CO₂-målsætning ved på marginalen at købe CO₂-kvoter, således at den marginale omkostning ved at opfylde målsætningen svarer til kvoteprisen.

Ændringen i de øvrige energirelaterede emissioner er kun beskedne. De værdisættes ved brug af de samme beregningspriser, som blev benyttet ved værdisætningen af ændringerne i emissionerne fra dieslbilerne - jf. afsnit 3.1.2.

Emissioner fra ændret gødningsanvendelse

Den ændrede gødningsanvendelse fører til ændret udvaskning af N samt ændrede emissioner af N₂O og NH₃. Det er kun med de aktuelt foreliggende beregningspriser muligt at værdisætte N-udvaskningen og N₂O-emissionerne.

Ændringen i N-udvaskningen er værdisat på grundlag af de opgjorte gennemsnitlige omkostninger ved at reducere N-udvaskningen i Danmark i perioden 2005 - 2009. Disse omkostninger er opgjort til 40 kr. per kg N, jf. Jacobsen, Hasler og Hansen (2009). Der er altså ikke tale om en egentlig værdisætning af de velfærds-mæssige konsekvenser af at reducere N-udvaskningen, men alene om et omkostningsskøn for en række foranstaltninger, der bidrager til opfyldelsen af den danske Vandmiljøplan III. Omkostningen er endvidere opgjort som budgetøkonomiske omkostninger og omfatter derfor ikke værdien af eventuelle andre positive eller negative miljøeffekter af at reducere N-udvaskningen. Endelig er der tale om omkostningerne ved en række foranstaltninger, som langt fra opfylder den oprindelige målsætning for den samlede N-udvaskning. Man kan altså ikke antage at de 40 kr. per kg N afspejler de marginale velfærdsøkonomiske omkostninger ved at opfylde Vandmiljøplan III. Den gennemførte værdisætning af N-udvaskningsreduktionen må altså tages med alle mulige forbehold, og den tjener reelt kun et illustrativt formål.

Ændringen i N₂O-emissionerne er værdisat ud fra CO₂-kvoteprisen på 100 kr. per tons og at 1 ton N₂O svarer til 310 tons CO₂-ækvivalenter.

3.3 Transport af raps til RME-produktionsanlægget og ændret transport af hvede

Efter høsten skal de 261.400 tons raps transporteres til RME-produktionsanlægget. Transportbehovet for rapsen er bestemt ud fra en antaget gennemsnitlige afstand til produktionsanlægget på 75 km (Emmelev, pers. komm.). Når det antages, at der kan transporteres 30 tons frø per lastbil, skal der i alt køres

$$\frac{261.400 \text{ tons}}{30 \text{ tons}} \cdot 75 \text{ km} = 653.500 \text{ km}$$

De velfærdsøkonomiske omkostninger ved denne ændring i transportbehovet bør ideelt beregnes som summen af omkostningerne ved anskaffelse og vedligeholdelse af det nødvendige antal lastbiler, forbruget af brændstof og forbruget af arbejdskraft. Her er imidlertid anvendt Transportministeriets samfundsøkonomiske enhedspris for lastbiltransport på 15,3 kr. per km, jf. Danmarks Tekniske Universitet (2009). Den velfærdsøkonomiske omkostning ved at transportere rapsfrø til RME-produktionsanlægget kan herefter beregnes som

$$653.500 \text{ km} \cdot 15,3 \text{ kr. pr. km} = 10,0 \text{ mio. kr.}$$

Rapshalmen, i alt 225.700 tons, skal transporteres til et egnet kraft- eller varmeværk med biomassekedler. Det anslås, at der i gennemsnit skal køres 75 km fra halmproducent til kraftværk. På grund af halmens større fylde, antages hver lastbil dog kun at kunne transportere en last på 20 tons. Der skal derfor i alt køres

$$\frac{225.700 \text{ tons}}{20 \text{ tons}} \cdot 75 \text{ km} = 846.375 \text{ km}$$

Herved bliver den velfærdsøkonomiske omkostning

$$846.375 \text{ km} \cdot 15,3 \text{ kr. pr. km} = 12,8 \text{ mio. kr.}$$

Endelig kræver produktionen af RME et forbrug af metanol på 12.400 tons, som også skal transporteres frem til anlægget. Metanolen antages at skulle transporteres 50 km på lastbiler, der hver rummer 30 tons. Der skal altså i alt køres

$$\frac{12.400 \text{ tons}}{30 \text{ tons}} \cdot 50 \text{ km} = 20.667 \text{ km}$$

for at bringe metanol frem til anlægget, hvilket giver anledning til en velfærdsøkonomisk omkostning på

$$20.667 \text{ km} \cdot 15,3 \text{ kr. pr. km} = 0,3 \text{ mio. kr.}$$

Disse tre omkostningsposter mere end opvejes af, at den mistede produktion på 597.500 tons foderhvede ikke længere skal eksporteres. Herved spares hidtidige transportudgifter på antaget i gennemsnit 75 km fra bedriften til eksportgrænsen. Antages der igen at kunne transporteres 30 tons per lastbil, kan de velfærdsøkonomiske transportbesparelser beregnes til

$$\frac{597.500 \text{ tons}}{30 \text{ tons}} \cdot 75 \text{ km} \cdot 15,3 \text{ kr. pr. km} = 22,9 \text{ mio. kr.}$$

Ligeledes undgås transport af 86.000 tons hvedehalm til kraftværk. Afstanden hertil antages ligesom for rapshalmen i gennemsnit at være 50 km, og det antages ligesom med denne, at der kan transporteres 20 tons halm per lastbil. De velfærdsøkonomiske besparelser fra den hidtidige transport af hvedehalm kan herefter beregnes til

$$\frac{86.000 \text{ tons}}{20 \text{ tons}} \cdot 50 \text{ km} \cdot 15,3 \text{ kr. pr. km} = 3,3 \text{ mio. kr.}$$

Tabel 3.6 Velfærdsøkonomiske omkostninger ved transport af raps til RME produktionsanlægget, hvede til eksport og hhv. raps- og hvedehalm til kraftværk.

	Transporteret mængde tons	Gns. distance km	Gns. last Tons	Kørte kilometer km	Enheds- pris kr. pr. km ¹⁾	Velfærds- økonomisk omkostning mio. kr.
Øget transport						
Rapsfrø (til RME-anlæg)	261.400	75	30	653.500	15,3	10,0
Rapshalm (til kraftværk)	225.700	50	20	564.250	15,3	8,6
Metanol (til RME-anlæg)	12.400	50	30	20.700	15,3	0,3
Undgået transport						
Hvedekorn (til grænsen)	- 597.500	75	30	- 1.493.800	15,3	- 22,9
Hvedehalm (til kraftværk)	- 86.000	50	20	- 215.000	15,3	- 3,3
I alt						- 7,3

Note: ¹⁾ Enhedsprisen er beregnet ud fra oplysningerne i Danmarks Tekniske Universitet (2009). Enhedsprisen består af en afstandsafhængig del på 3,7 kr. per km og en tidsafhængig del på 579 kr. per time. Hvis det antages, at lastbilen i gennemsnit kører 50 km per timen, svarer dette til 11,6 kr. per km. Den angivne enhedspris på 15,3 kr. per km fås som summen af de to angivne afstandsafhængige priser.

Beregningerne af de velfærdsøkonomiske omkostninger ved transport af rapsfrø og hvedehalm samt undgået transport af hvede og hvedehalm er sammenfattet i tabel 3.6, og det fremgår, at der samlet set er tale om en velfærdsøkonomisk besparelse på 7,3 mio. kr. Dette resultat er dog stærkt afhængigt af de gjorte forudsætninger om gennemsnitlige afstande og antagelsen om, at hveden hidtil er blevet transporteret til grænsen med henblik på eksport. De gennemførte beregninger tjener derfor primært som illustration af den metode, som bør anvendes ved beregningen af de velfærdsøkonomiske konsekvenser af eventuelle ændringer i det samlede transportbehov.

Transporten af raps og hvede giver anledning til en række brændstofrelaterede luftemissioner. Det drejer sig først og fremmest om CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, SO₂, NMVO, CO, NH₃ og partikler PM. Med de ovenfor beskrevne transportbehov og de i tabel 3.7 anførte emissionskoefficienter kan emissionerne beregnes som angivet i tabel 3.7. Den velfærdsøkonomiske værdi heraf er ligeledes angivet i tabellen.

Dieselforbruget, udtrykt i MJ, er baseret på Transportministeriets samfundsøkonomiske enhedstal for lastbiltransport på 3,28 km per liter diesel, jf. Danmarks Tekniske Universitet (2009) - svarende til 3,90 km per kg diesel (ved vægtfylde 0,84 kg per liter). Ved at dividere transportbehovene i tabel 3.6 med dette enhedstal og efterfølgende multiplicere resultatet med brændværdien for diesel på 42,7 MJ per kg fås de i tabel 3.7 angivne energiforbrug.

Tabel 3.7 Årlige emissioner og den velfærdsøkonomiske værdi heraf ved transport af raps og metanol til RME produktionsanlægget og rapshalm til kraftværk samt undgået transport af hvede til eksport og hvedehalm til kraftværk.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂	NM VOC	CO	NH ₃	PM	I alt
Emissionsfaktorer g pr. MJ diesel (inkl. opstrøm)	77,48	0,01	0,00	0,75	0,01	0,03	0,15	0,00	0,02	
Emissioner kg										
Rapsfrø (RME-anlæg) 7.154.500 MJ	554.310	104	24	5.350	73	250	1.080	2	137	
Rapshalm (kraftværk) 6.177.800 MJ	478.640	90	21	4.620	63	216	932	2	119	
Metanol (RME-anlæg) 226.500 MJ	17.550	3	1	170	2	8	34	0	4	
Hvedekorn (grænsen) - 16.355.500 MJ	- 1.267.180	- 237	- 55	- 12.220	- 166	- 572	- 2.470	-5	- 314	
Hvedehalm (kraftværk) - 2.355.100 MJ	- 182.460	-34	-8	- 1.760	- 24	- 82	- 355	-1	- 45	
I alt	- 399.140	- 75	- 17	- 3.850	-52	- 180	-780	-2	-99	
Velfærdsøkonomisk værdi										
Enhedspris kr. pr. kg	0,1	2,1	31	50	80	-	-	-	-	
Velfærdsøkonomisk om- kostning mio. kr.	- 0,04	- 0,00	- 0,00	- 0,19	- 0,00	-	-	-	-	- 0,23

Det ses af tabel 3.7, at emissionsændringerne i forbindelse med det forudsatte ændrede transportbehov er meget beskedne. Der er samlet set tale om små reduktioner i emissionerne. Dette resultat kan overvejende henføres til forudsætningen om, at den hidtidige hvedeproduktion er blevet eksporteret og dermed transporteret til grænsen.

I betragtning af emissionsændringernes beskedne størrelse er det ikke overraskende, at den velfærdsøkonomiske værdi heraf også er næsten uden betydning. Der er tale om en ubetydelig gevinst. Alt i alt viser analysen af emissionskonsekvenserne af et eventuelt ændret transportbehov, at forudsætningerne herom skal ændres betragteligt, for at emissionsændringerne har velfærdsøkonomisk betydning.

3.4 Produktion af RME

Produktionen af RME omfatter to processer. Først presses rapskernerne under moderat opvarmning med henblik på udvinding af rapsolie. Olien undergår herefter en esterifiseringsproces, ved at der tilsættes metanol og nogle katalysatorer. Slutproduktet kaldes raps-methyl-ester (RME) der kan anvendes som dieselbrændstof i motorkøretøjer enten i ren form eller blandet med fossil diesel - f.eks. som antaget i denne analyse med en energiprocent på 5,75 % RME blandet i den fossile diesel. Som et restprodukt fra processen fremstilles også rapskage, der kan anvendes som dyrefoder, subsidiært som direkte kraftværksbrændsel, samt glycerin, der bl.a. kan erstatte kul som brændsel på kraftværker.

I det følgende angives ressourceforbruget og den velfærdsøkonomiske omkostning for den samlede produktionsproces. Det tilsvarende gælder for emissionerne fra produktionen. Ressourceforbruget og emissionerne samt de velfærdsøkonomiske omkostninger herved er sammenfattet i tabel 3.8.

3.4.1 Ressourceforbrug

Investeringerne i et anlæg, der kan omsætte de 261.400 tons raps til 100.000 tons RME, beløber sig til 215 mio. kr., jf. Energistyrelsen (2003). Emmelev, der aktuelt producerer RME i Danmark, mener, at investeringen i dag vil være noget lavere, og især at der er en storskala-effekt, hvor investeringen per ton RME vil falde ved samlet produktion over 100.000 tons (Emmelev, pers. komm.). I mangel af konkrete oplysninger anvendes dog alligevel investeringsudgiften fra Energistyrelsen (2003). Udgiften er imidlertid ikke pristalsreguleret, hvorfor den antagne reale investeringsudgift er lavere end i 2003. Anlægget forventes at have en levetid på 20 år. Med en diskonteringsrate på 4 % kan de årlige investeringsomkostninger herefter ved annuisering beregnes til 15,8 mio. kr. Nettoafgiftsfaktoren er 1,17, således at den årlige velfærdsøkonomiske omkostning til produktionsanlægget kan beregnes til $15,8 \cdot 1,17 \text{ mio. kr.} = 18,5 \text{ mio. kr.}$

De årlige drifts- og vedligeholdelsesomkostninger kan opgøres til 38,2 mio. kr. De tilsvarende velfærdsøkonomiske omkostninger kan derfor beregnes til $38,2 \text{ mio. kr.} \cdot 1,17 = 44,7 \text{ mio. kr.}$

RME-produktionen giver også anledning til et årligt energiforbrug svarende til 13,1 mio. kWh el og 3,8 mio. m³ naturgas. Den vægtede Nord Pool pris på el forhøjet med distributionsomkostninger og handelsbalanceringsomkostninger m.m., men eksklusiv køb af CO₂-kvoter, er på grundlag af Energistyrelsen (2009) fastsat til 0,70 kr. per kWh. Den velfærdsøkonomiske omkostning ved elforbruget kan derfor beregnes til $13,1 \text{ mio. kWh} \cdot 0,70 \text{ kr. pr. kWh} \cdot 1,17 = 9,1 \text{ mio. kr.}$

Beregningsprisen på naturgas er fastsat ud fra en importpris cif. på 50 kr. per GJ ved levering til forbruger jf. Energistyrelsen (2009). Med en brændværdi på 39,6 GJ per 1000 m³ svarer dette til en pris på 1,98 kr. per m³. Den velfærdsøkonomiske omkostning ved naturgasforbruget kan herefter beregnes som $3,8 \text{ mio. m}^3 \cdot 1,98 \text{ kr. pr. kWh} \cdot 1,17 = 8,7 \text{ mio. kr.}$

Der forbruges endvidere årligt 12.400 tons metanol, som antages at kunne købes til en international markedspris på 1.600 kr. per ton ekskl. alle afgifter. Den årlige velfærdsøkonomiske omkostning kan derfor beregnes som $12.400 \text{ tons} \cdot 1.600 \text{ kr. pr. liter} \cdot 1,17 = 23,2 \text{ mio. kr.}$

Tabel 3.8 Ressourceforbrug, emissioner og velfærdsøkonomiske omkostninger ved fremstilling af 100.000 tons RME.

	Reale konsekvenser	Beregningspris	Velfærdsøkonomisk omkostning - mio. kr.
Ressourceforbrug			
Realkapitalforbrug	15,8 mio. kr.	15,8 mio. kr. · 1,17	18,5
Drift og vedligeholdelse	38,2 mio. kr.	38,2 mio. kr. · 1,17	44,7
El	13,1 mio. kWh	0,70 kr. pr. kWh ¹	9,1
Naturgas	3,8 mio. m ³	2,3 kr. pr. m ³ ²	8,7
Metanol	12.400 tons	1.600 kr. pr. ton · 1,17	23,2
Katalysatorer og anden tilsætning	2.100 tons	1.700 kr. pr. ton · 1,17	4,2
I alt værdi af ressourceforbrug			108,5
Biprodukter			
Rapskage	155.900 tons	1.300 kr. pr. ton · 1,17	237,2
Kul (Glycerin)	8.660 tons	350 kr. pr. ton · 1,17	3,5
I alt værdi af biprodukter			240,7
Forårsagede emissioner			
CO ₂	17.410 tons	100 kr. pr. ton	1,7
CH ₄	1 tons	2.100 kr. pr. ton	0,0
N ₂ O	0 tons	31.000 kr. pr. ton	0,0
NO _x	15 tons	50 kr. pr. kg	1,8
SO ₂	4 tons	80 kr. pr. kg	0,3
NMVOC			
CO			
Partikler PM			
Undgåede emissioner (biprodukter)			
CO ₂	- 1.130 tons	100 kr. pr. ton	- 0,1
CH ₄	0 tons	2.100 kr. pr. ton	
N ₂ O	0 tons	31.000 kr. pr. ton	
NO _x	0 tons	50 kr. pr. kg	
SO ₂	0 tons	80 kr. pr. kg	
NMVOC			
CO			
Partikler PM			
I alt værdi af emissionsændringer			2,7
I alt velfærdsøkonomiske omkostninger (108,5 mio. kr. - 240,7 mio. kr. + 3,2 mio. kr.)			- 129,5

Note: ¹⁾ Beregningsprisen for el er fastsat som den forventede vægtede Nord Pool pris forhøjet med distributionsomkostninger og handelsbalanceringsomkostninger m.m., jf. Energistyrelsen (2009). Den således beregnede pris er efterfølgende forhøjet med netto-afgiftsfaktoren på 1,17.

²⁾ Beregningsprisen på naturgas er fastsat som 50 kr. per GJ ved levering til forbruger multipliceret med netto-afgiftsfaktoren på 1,17. Omregningen til en pris per m³ er gennemført med en brændværdi på 39,6 GJ per 1000 m³.

Endelig forbruges der årligt 2.100 tons katalysatorer. Disse antages at kunne købes til en international markedspris på 1.700 kr. per ton ekskl. alle afgifter. Den årlige velfærdsøkonomiske omkostning kan derfor beregnes som $2.105 \text{ tons} \cdot 1.700 \text{ kr. pr. ton} \cdot 1,17 = 4,2 \text{ mio. kr.}$

De samlede årlige velfærdsøkonomiske omkostninger ved brug af økonomiske ressourcer til produktion af RME kan herefter beregnes til 108,5 mio. kr.

3.4.2 Rapskage og glycerin biprodukter

Produktionen af RME resulterer som nævnt også i et biprodukt i form af rapskage, der kan anvendes til dyrefoder. Der produceres i alt 155.900 tons. Rapskageproduktionen repræsenterer en velfærdsøkonomisk gevinst for samfundet, idet en hidtidig import af soyaskrå herved erstattes. Markedsprisen på rapskage er 1.300 kr. per tons, og den velfærdsøkonomiske værdi heraf kan derfor beregnes som

$$155.900 \text{ tons} \cdot 1.300 \text{ kr. pr. tons} \cdot 1,17 = 237,2 \text{ mio. kr.}$$

Dette beløb antages at afspejle værdien af den undgåede soyaskråimport, fordi markedet er frit, og de forskellige foderprodukters pris antages at afspejle deres foderværdi. Ifølge JRC-EUCAR-CONCAWE (JEC) er soyaskrås foderværdi således højere end rapskages med et substitutionsforhold på 0,8 kg per kg (JEC, 2007) hvorfor de 155.900 tons rapskage antages at substituere 124.700 tons sojaskrå.

Ud over rapskagen resulterer produktionen af RME også i en biproduktion af glycerin (glycerol), der bl.a. kan anvendes som brændsel på kraftværker. Der produceres i alt 13.200 tons vandholdig glycerin (20 %). Ved anvendelse i den farmaceutiske industri dehydreres glycerinen til ren glycerin; men i dette studie, hvor den antages anvendt som brændsel, er det uvist i hvor høj grad, der vil ske dehydrering. Der tages derfor udgangspunkt i produktionsmængden på 13.200 tons.

Glycerinen antages at substituere kul som brændsel på kraftværker. Når brændværdierne for glycerin og kul er hhv. 16,0 GJ per ton glycerin og 24,4 GJ per ton kul, fås, at de 13.200 tons glycerin kan erstatte 8.660 tons kul. Kuls verdensmarkedspris cif. er 14,2 kr. per GJ, jf. Energistyrelsen (2009) - dvs. en pris på 350 kr. per ton, hvorfor den velfærdsøkonomiske gevinst ved glycerinproduktionen kan beregnes som

$$8.660 \text{ tons} \cdot 350 \text{ kr. pr. tons} \cdot 1,17 = 3,5 \text{ mio. kr.}$$

Den samlede velfærdsøkonomiske gevinst ved RME-produktionens produktion af biprodukterne rapskage og glycerin kan herefter opgøres til 240,7 mio. kr.

3.4.3 Emissioner

Emissionerne fra produktionen af RME omfatter på den ene side forårsagede emissioner fra selve produktionsprocessen og de indirekte emissioner fra produktionen af input hertil, og på den anden side de undgåede emissioner fra de produkter, som RME-produktionens biprodukter erstatter. De årlige forårsagede og undgåede emissionskonsekvenser er sammenfattet i tabel 3.9.

De forårsagede emissioner omfatter emissioner fra produktionen af elektricitet til drift af maskiner, og fra produktionen af naturgas og forbruget heraf til opvarmning. Endvidere er der medregnet et estimeret udslip af metanol på 1 % af forbruget. Dette udslip kategoriseres som NMVOC, og

den del heraf, som omdannes til CO₂ i luften, er endvidere medregnet i CO₂-opgørelsen.

De undgåede emissioner kan henføres til produktionen af biproduktet glycerin, der erstatter kul som brændsel på kraftværker. På den ene side skaber forbrændingen af glycerin emissioner; men på den anden side reduceres emissionsmængderne ved, at der ikke forbrændes kul. Det er nettoresultatet af disse to modsatrettede emissionskonsekvenser, der opgøres som undgåede emissioner. Glycerinens CO₂-emissioner regnes ikke som CO₂-neutrale. Dette skyldes, at biproduktet glycerins carbonindhold kemisk set kommer fra den anvendte metanol, der er af fossil oprindelse.

Tabel 3.9 Forårsagede og undgåede emissioner fra produktionen af RME.

Emissionsfaktorer g pr. MJ	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂	NM VOC	CO	PM
Elektricitet	185,280	0,005	0,002	0,194	0,079	0,004	0,038	0,005
Naturgas (ekskl. opstrøm)	56,780	0,006	0,001	0,042	0,000	0,002	0,028	0,000
Glycerin (ekskl. opstrøm)	89,674	0,003	0,002	0,098	0,040	0,002	0,010	0,003
Kul (ekskl. opstrøm)	95,000	0,002	0,001	0,098	0,040	0,002	0,010	0,000
Forårsagede emissioner ton								
Elektricitet, 47 mio. MJ	8.720	0,2	0,1	9,1	3,7	0,2	1,8	0,2
Naturgas, 150 mio. MJ	8.520	0,9	0,2	6,3	0,0	0,3	4,2	0,0
Metanol lækage (1 %) 12.400 tons	170					124,1		
Forårsagede emissioner i alt	17.410	1,1	0,3	15,4	3,8	124,6	6,0	0,2
Undgåede emissioner ton								
Glycerin, 211 mio. MJ	-18.960	-0,6	-0,4	-20,7	-8,5	-0,3	-2,1	-0,6
Kul - 211 mio. MJ	20.080	0,3	0,2	20,7	8,5	0,3	2,1	0,6
I alt undgåede emissioner	1.120	- 0,3	- 0,2	0	0	0	0	0
Emissionsændringer i alt	16.290	1,4	0,5	15,4	3,8	124,6	6,0	0,2

Kilde: Emissionsfaktorerne er for de direkte emissioners vedkommende baseret på standardfaktorer fastsat af Danmarks Miljøundersøgelser – jf. DMU's hjemmeside. Beregningen af opstrømsemissioner følger diverse kilder – jf. Slentø et al. (2010).

RME-produktionen giver også anledning til produktion af rapskage som biprodukt. Rapskagen kan anvendes som foder til erstatning for importeret soyaskrå. Herved kan produktionen af soyaskrå og dermed emissionerne herfra reduceres. Da disse emissionskonsekvenser imidlertid finder sted i udlandet, ses der i denne rapport bort herfra, idet der rapporten benyttes en national afgrænsning af emissionsopgørelserne.

I tabel 3.9 er der angivet emissionsfaktorer for produktion af elektricitet, naturgas, glycerin og kul udtrykt som emissioner i g per anvendt energienhed MJ af det pågældende stof. Faktorerne er for de direkte emissioners vedkommende baseret på standardfaktorer fastsat af Danmarks Miljøundersøgelser – jf. DMU's hjemmeside.

Emissionsfaktorerne for elektricitet er bestemt på grundlag af den brændselssammensætning, som i dag benyttes på de danske kraftværker. Faktorerne vedrører alene emissionerne fra selve kraftværket og ikke fra udvindingen af brændslerne hertil. Disse emissioner finder enten sted i udlandet (kul) eller udvindingstakten for brændslet antages ikke at blive påvirket af projektet (naturgas). Emissionsfaktorerne for naturgas

dækker alene emissionerne ved forbrænding af naturgas på RME-anlægget og altså ikke fra udvindingen af naturgassen, idet udvindings-takten - ligesom for råolie - antages at være upåvirket af ændringer i det danske naturgasforbrug. For glycerin og kul dækker emissionsfaktorerne også kun de direkte emissioner ved forbrænding af hhv. glycerin og kul på et kraftværk. Emissionerne fra kuludvindingen finder således sted i udlandet. Da der ikke umiddelbart findes emissionsfaktorer for glycerin i litteraturen, er CO₂-emissionerne beregnet direkte ud fra glycerins carbon-indhold, jf. Slentø et al. (2010). CH₄- og N₂O-faktorerne er adopteret fra fuelolie, mens de øvrige faktorer er adopteret fra kul.

Selve emissionsmængderne i tabel 3.9 er beregnet ved først at omregne de forbrugte mængder af elektricitet, naturgas, glycerin og kul til energienheder udtrykt i MJ og dernæst multiplicere energimængderne med de angivne emissionsfaktorer. Det årlige forbrug af 13,1 mio. kWh el, jf. tabel 3.8, svarer således til et forbrug på 47,2 mio. MJ, jf. Tabel 3.9, idet omregningsfaktoren er 3,6 MJ per kWh. Forbruget på 150 mio. MJ naturgas er beregnet ud fra et naturgasforbrug på 3,8 mio. m³ med en brændværdi på 39,6 GJ per 1.000 m³. Endelig er energiindholdet på 211 MJ i glycerinen beregnet ud fra den producerede mængde på 13.200 tons og en brændværdi for glycerin på 16,0 GJ per ton. Denne energimængde glycerin antages som angivet ovenfor at erstatte en tilsvarende mængde kul.

Resultaterne af de anførte emissionsberegninger fremgår af tabel 3.9. Det ses, at langt den overvejende del af emissionsændringerne kan henføres til RME-anlæggets forbrug af elektricitet og naturgas. De undgåede emissioner ved at erstatte kul med glycerin som brændsel på kraftværkerne er således ubetydelige. Der sker ligefrem en - ganske vist meget lille - stigning i emissionerne af CH₄ og N₂O, da glycerins emissionsfaktorer for disse stoffer er lidt større end kuls faktorer.

Værdien af emissionsændringerne er beregnet i tabel 3.8. Det ses, at disse i alt giver anledning til et velfærdsøkonomisk tab på godt 2,7 mio. kr. om året. Dette tab afspejler emissionerne fra selve RME-produktionen fra produktionen af input hertil. Derimod er der ikke taget hensyn til de emissioner, som undgås, ved at der både skal benyttes ressourcer (arbejdskraft) i selve produktionsprocessen og i produktionen af input hertil. Disse undgåede emissioner (ved at trække ressourcer bort fra anden anvendelse) bør principielt også være omfattet af emissionsbeskrivelsen. Når der ses bort fra dette, bliver denne inkonsistent med den øvrige velfærdsøkonomiske analyse, hvor det velfærdsøkonomiske tab (ved at trække ressourcer bort fra anden anvendelse) netop udgør en central del af analysen. De opstillede emissionsberegninger overvurderer derfor værdien af de samlede emissionsændringer fra produktionen af RME.

3.5 Transport af RME til tankstationer og undgået transport af fossil diesel hertil

Efter produktionen skal de 100.000 tons RME transporteres ud til tankstationerne. Til gengæld er der ikke længere behov for at transportere 92.180 tons fossil dieselolie hertil. Begge brændstoffer antages at have en transportdistance på 75 km.

Soyaskrå er hidtil blevet transporteret ud til bedrifterne. Denne transport undgås nu. Til gengæld skal rapskagen transporteres fra RME-anlægget til bedrifterne. Det antages, at den importerede soyaskrå i gennemsnit er blevet transporteret 50 km og rapskagen i gennemsnit skal transporteres 50 km. Hvert læs antages at være på 30 tons.

Endelig skal glycerinen transporteres til kraftværk. Den antages transporteret 50 km i tankvogne med 30 tons kapacitet. Der skal i princippet også beregnes transportomkostninger for den mængde kul, som glycerinen erstatter; men da kul typisk losses tæt på kraftværket, sættes transporten inden for Danmarks grænser til nul.

De velfærdsøkonomiske omkostninger ved at transportere RME, rapskage og glycerin, samt de sparede velfærdsøkonomiske omkostninger til transport af fossil diesel og importeret soyaskrå, er beregnet i tabel 3.10. Der er anvendt fuldstændig samme beregningsprincipper og -forudsætninger som i afsnit 3.3, vedrørende transport af raps og hvede.

Tabel 3.10 Velfærdsøkonomiske omkostninger ved transport af RME, rapskage og glycerin samt undgåede velfærdsøkonomiske omkostninger ved transport af fossil diesel og importeret soyaskrå.

	Transporteret mængde - tons	Gns. distance km	Gns. last tons	Kørte kilometer km	Enhedspris kr. pr. km	Velfærds- økonomisk værdi - mio. kr.
Transport						
RME til tank	100.000	75	30	250.000	15,3	3,8
Rapskage	155.930	50	30	259.880	15,3	4,0
Glycerin	13.210	50	30	22.020	15,3	0,3
Undgået transport						
Fossil diesel transport	92.180	75	30	230.450	15,3	-3,5
Soyaskrå	137.830	50	30	229.720	15,3	-3,5
I alt						1,1

Det ses af tabel 3.10, at det forudsatte ændrede transportbehov som følge af produktionen af RME og biprodukterne rapskage og soyaskrå indebærer en velfærdsøkonomisk omkostning på 1 mio. kr. om året. Denne omkostning afspejler selvsagt de gjorte forudsætninger og ændres disse, påvirkes størrelsen af omkostningerne. Disse er imidlertid af en så beskeden størrelsesorden, at der skal ske meget store ændringer i transportbehovene, for at værdien af disse får betydning i det samlede velfærdsøkonomiske regnestykke.

Ændringen i transportbehovet giver anledning til en række brændstofrelaterede luftemissioner. Det drejer sig først og fremmest om CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, SO₂, NMVO, CO, NH₃ og partikler PM. Med de ovenfor beskrevne transportbehov og de i tabel 3.11 anførte emissionskoefficienter, kan emissionerne beregnes som angivet i tabel 3.11. Den velfærdsøkonomiske værdi heraf er ligeledes angivet i tabellen.

Dieselforbruget udtrykt i MJ er baseret på Transportministeriets samfundsøkonomiske enhedstal for lastbiltransport, jf. Danmarks Tekniske Universitet (2009), på 3,28 km per liter diesel, svarende til 3,90 km per kg diesel (ved vægtfylde 0,84 kg per liter). Ved at dividere transportbeho-

vene i tabel 3.6 med dette enhedstal og efterfølgende multiplicere resultatet med brændværdien for diesel på 42,7 MJ per kg fås de i tabel 3.11 angivne energiforbrug.

Tabel 3.11 Årlige emissioner og den velfærdsøkonomiske værdi heraf ved ændret transport af slut- og biprodukter.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂	NMVOC	CO	NH ₃	PM	I alt
Emissionsfaktorer diesel (inkl. opstrøm) g pr. MJ										
Emissionsfaktorer	77,48	0,01	0,00	0,75	0,01	0,03	0,15	0,00	0,02	
Emissioner kg										
RME 2.737.180 MJ	212.070	40	9	2.046	28	96	413	1	53	
Rapskage 2.845.360 MJ	220.450	41	10	2.126	29	99	429	1	55	
Glycerin 241.090 MJ	18.680	3	1	180	2	8	36	0	5	
Undgåede emissioner kg										
Soyaskrå - 2.515.150 MJ	- 194.870	-36	-8	-1.880	-26	-88	-380	0	-48	
Diesel - 2.523.130 MJ	- 195.490	-37	-8	-1.886	-26	-88	-381	0	-48	
I alt	60.850	11	3	587	8	27	119	0	15	
Velfærdsøkonomisk værdi										
Enhedspris kr. pr. kg	0,1	2,1	31	50	80	-	-	-	-	
Værdi mio. kr.	0,01	0,00	0,00	0,03	0,0	-	-	-	-	0,04

Det ses, at den velfærdsøkonomiske værdi af emissionsændringerne er yderst beskeden. Dette skyldes selvsagt, at emissionsændringerne som følge af de forudsatte transportbehovsændringer er meget små. Der skal ske væsentlige ændringer i disse forudsætninger for, at værdien af emissionsændringerne skal have nogen som helst betydning for resultatet af den velfærdsøkonomiske analyse.

3.6 Samlet resultat af den velfærdsøkonomiske analyse

Erstatningen af 92.180 tons fossil diesel med 100.000 tons indenlandsk produceret RME har en række ressource- og emissionsmæssige konsekvenser, som er beskrevet i afsnit 3.1 - 3.5. Ressource- og emissionskonsekvenserne påvirker velfærden i samfundet, og værdien af disse velfærdsøkonomiske konsekvenser er ligeledes beskrevet i de angivne afsnit. Det samlede resultat af den velfærdsøkonomiske analyse er sammenfattet i tabel 3.12.

Det ses, at konsekvenserne af den ændrede ressourceallokering samlet set påfører samfundet et årligt velfærdsøkonomisk tab på 175 mio. kr. De væsentligste velfærdsøkonomiske gevinster vedrører den sparede import af fossil diesel, produktionen af rapshalm og biproduktionen af rapskage i forbindelse med produktionen af RME. De største velfærdsøkonomiske omkostninger er knyttet til den mistede produktion af hvede og hvedehalm samt ressourceforbruget ved produktionen af RME. Også værdien af den øgede N-udvaskning fra landbruget ved at overgå fra hvede til rapsproduktion udgør en væsentlig velfærdsøkonomisk omkostning.

Resultatet af den velfærdsøkonomiske analyse afhænger især af de forudsatte priser på hhv. fossil diesel og hvede. Den reale pris på fossil diesel skal imidlertid alt andet lige stige med godt 40 % i forhold til den forudsatte pris på 3.756 kr. per ton, for at det fra et velfærdsøkonomisk synspunkt vil være omkostningsfrit at foretage den beskrevne omallokering af samfundets ressourcer. Dette betyder, at råolieprisen skal stige fra den forudsatte pris på knapt USD 70 per tønde til næsten USD 100 per tønde. Dette forekommer dog ikke at være helt urealistisk.

De velfærdsøkonomiske omkostninger vil også blive reduceret til nul, hvis hvedeprisen reduceres med godt 20 % fra det forudsatte niveau på 1,14 kr. per kg. Dette er formentlig ikke særlig realistisk. Det er altså afgørende for at opnå velfærdsøkonomisk balance i RME-produktionen, at den reale pris på råolie stiger til et noget højere niveau, end det der er forudsat i denne analyse. Det er dog også muligt at rapsen kan erstatte en anden knapt så værdifuld afgrøde som hvede.

Tabel 3.12 Samlet resultat af den velfærdsøkonomiske analyse.

Ressource- eller emissionskonsekvens	Velfærdsøkonomisk værdi mio. kr.
Kørsel på RME i stedet for fossil diesel	
Reduceret forbrug af fossil diesel	+ 405
Ændring i emissioner ved kørsel på RME i stedet for fossil diesel	+ 19
Ændret i emissioner ved raffinering af råolie til diesel	+ 6
Produktion af raps og mistet produktion af hvede - ændret areal_anvendelse	
Mistet produktion af hvede	- 797
Mistet produktion af hvedehalm	- 40
Produktion af rapshalm	+ 106
Forfrugtsværdi af raps	+ 17
Øget ressourceforbrug ved produktion af raps i stedet for hvede	- 5
Undgåede luftemissioner ved markoperationer og kulforbrænding	+ 18
Øget miljøbelastning ved gødningsforbrug	- 39
Transport af raps til produktionsanlæg, reduceret transport af hvede og hvedehalm samt transport af rapshalm og metanol	
Reduceret ressourceforbrug til transport	+ 7
Reducerede luftemissioner	0
Produktion af RME	
Ressourceforbrug	- 109
Produktion af rapskage	+ 237
Produktion af glycerin (reduceret kulforbrug)	+ 4
Værdi af forårsagede og undgåede luftemissioner	- 3
Transport af RME, rapskage og glycerin samt undgået transport af fossil diesel og soyaskrå	
Øget ressourcebrug	- 1
Øgede luftemissioner	0
I alt	- 175

Note: De værdisatte luftemissioner i den gennemførte velfærdsøkonomiske analyse omfatter stofferne CO₂, CH₄, N₂O, NO_x og SO₂.

Analysens resultat er også afhængigt af forudsætningen om, at en større andel af rapshalmen (100 %) end af hvedehalmen (26 %) bliver anvendt

som brændsel på kraftværker. Denne forudsætning repræsenterer en velfærdsøkonomisk gevinst ved RME-produktionen. Hvis det i stedet antages, at en større andel af hvedehalmen hidtil er blevet anvendt som brændsel, således at rapshalm blot substituerer en tilsvarende mængde hvedehalm, så vil den velfærdsøkonomiske omkostning ved RME-produktionen blive 66 mio. kr. større. Der skal i så fald en endnu større olieprisstigning til end en stigning på godt 40 %, for at der kan opnås velfærdsøkonomisk balance i RME-produktionen.

Produktionen af rapskage repræsenterer også en betydelig velfærdsøkonomisk gevinst ved produktionen af RME. Den forudsatte pris på soyaskrå, som rapskagen erstatter, har derfor også væsentlig betydning for resultatet af den velfærdsøkonomiske analyse.

Endelig er resultatet af den velfærdsøkonomiske analyse afhængigt af den forudsatte skyggepris på CO₂, der er sat lig med den aktuelle CO₂-kvotepris på 100 kr. per ton CO₂. Produktionen og anvendelsen af RME giver, med forudsætningen om at en større andel af rapshalmen (100 %) end af hvedehalmen (26 %) bliver anvendt som brændsel på kraftværker, en årlig reduktion i CO₂-emissionerne på 476.000 tons. Med denne reduktion skal CO₂-skyggeprisen op omkring 370 kr. per ton CO₂, for at det er velfærdsøkonomisk fordelagtigt at producere og anvende RME.

Denne beregning kan ikke umiddelbart sammenlignes med den CO₂-skyggepris på 860 kr. per ton CO₂, som er beregnet i Carlsen et al. (2006). For det første er der i dette fire år gamle studie selv sagt anvendt andre relative priser på en række centrale produkter og ressourcer. For det andet er der også en række forudsætningsmæssige og metodiske forskelle mellem dette studie og det foreliggende. Carlsen et al. (2006) inddrager ikke konsekvenserne af en ændret arealanvendelse - bl.a. tab af hvede-produktion og ændret gødningsforbrug - men udtrykker alene den velfærdsøkonomiske konsekvens af at anvende raps i RME-produktionen i beregningsprisen på raps. Rapshalmens værdi som brændsel er heller ikke indarbejdet i analysen, og glycerin antages ikke som i indeværende analyse at erstatte kul som brændsel, men at kunne sælges til verdensmarkedsprisen. Endelig er de opgjorte konsekvenser for CO₂-emissionerne resultatet af en selvstændig LCA-analyse, der er gennemført uafhængig af den samfundsøkonomiske analyse. Dette giver risiko for inkonsistens mellem de to analyser - en inkonsistens, som i indeværende analyse er søgt begrænset ved at gennemføre analyserne parallelt.

4 Energibalance for produktionen og brugen af rapsdiesel (RME)

Som omtalt i afsnit 2.2 er hensigten med energibalancen at belyse forholdet mellem energiindholdet i det endelige produkt RME og mængden af energi, der direkte og indirekte er anvendt på at frembringe produktet. Man kan principielt både opstille en snæver, en bredere og en total energibalance. I dette kapitel opstilles en snæver energibalance for produktionen og brugen af RME. Balancen omfatter på den ene side energiindholdet i den producerede RME og på den anden side det direkte og indirekte energiforbrug ved at producere RME og transportere den frem til tankstationerne. Den snævre energibalance omfatter altså følgende elementer:

Samlet energiindhold i RME

÷ Anvendt energi ved dyrkning af raps

÷ Anvendt energi ved transport af raps til RME produktionsanlægget og rapshalm til kraftværket

÷ Anvendt energi ved produktion af RME

+ Sparet energi til produktion af de produkter, som RME-produktionens biprodukter erstatter

÷ Anvendt energi ved transport af RME til tankstationerne

Snæver energibalance

Den opstillede energibalance er baseret på Slentø et al. (2010) hvortil der også henvises for en nærmere redegørelse for beregningsforudsætningerne.

Energibalancen opstilles for produktionen af en mængde RME på 100.000 tons. Denne mængde RME har et energiindhold på 3.760.000 GJ.

4.1 Direkte og indirekte energiforbrug ved dyrkning af raps

For at producere 100.000 tons RME, skal der anvendes 261.400 tons raps, jf. afsnit 3.2. Den anvendte mængde energi til produktionen af denne mængde raps er anført i tabel 4.1. Det fremgår, at der i alt skal benyttes 435.569 GJ.

Den anvendte energi omfatter først og fremmest den energi, som direkte benyttes i produktionsprocessen. Ved dyrkning af raps udgør brændstofforbruget ved anvendelsen af maskiner i alt 75,71 liter per ha. Til produktionen af 261.400 tons raps benyttes 78.493 ha, hvorfor det samlede brændstofforbrug i alt bliver 5.943 liter. Med en brændværdi på 35,9 MJ per liter svarer det til det i tabellen angivne energiforbrug på 213.155 GJ.

Elforbruget til vanding af afgrøden anslås som en gennemsnitsbetragtning for samtlige jorde, at udgøre 62,4 kWh per ha raps eller 224,5 MJ per ha. Dvs., at der i alt benyttes $78.493 \text{ ha} \cdot 224,5 \text{ MJ} / \text{ha} = 17.624 \text{ GJ}$

Tabel 4.1 Direkte og indirekte energiforbrug ved produktionen af 261.400 tons raps.

Ressource	Ressourceforbrug	Energiforbrug pr. ressourceforbrug	Energiforbrug GJ
Direkte energiforbrug			
Brændstof til maskiner (diesel)	5.945.000 liter	35,9 MJ pr. liter	213.155
Elforbrug til vanding	17.624 GJ	-	17.624
Indirekte energiforbrug			
Diesel-produktion	15.360 GJ	-	15.360
El-produktion	25.435 GJ	-	25.435
Organisk gødning N	2.944 tons	0	0
Syntetisk gødning N	10.102 tons	45,1 MJ pr. kg	455.700
Syntetisk gødning P	2.002 tons	14,2 MJ pr. kg	28.356
Syntetisk gødning K	7.064 tons	8,7 MJ pr. kg	61.655
Kalkning	62.795 tons	0,05 MJ pr. kg	3.077
Planteværn	44 tons	272,6 MJ pr. kg	11.980
Svovl	2.747 tons	4,4 MJ pr. kg	11.989
Udsæd	369 tons	7,1 MJ pr. kg	2.634
I alt direkte og indirekte energiforbrug			846.965
225.700 tons rapshalm erstatter kul (3.359.513 GJ)			
Sparet energi ved kulproduktion	- 225.700 tons	14,9 MJ pr. kg	- 315.794
Forfrugtsværdi af raps svarende til 2.120 tons syntetisk N			
Sparet energi ved produktion af N	- 2.210 tons	45,1 MJ pr. kg	- 95.601
I alt fossil energianvendelse			435.569

Ud over de anførte direkte energiforbrug ved dyrkningen af raps, afstedkommer produktionen også et indirekte forbrug knyttet til produktionen af input til rapsproduktionen. Normalt omfatter den snævre energibalance ikke energiforbruget ved fremstillingen af landbrugsmaskiner; men balancen omfatter både det indirekte energiforbrug ved fremstillingen af diesel, elektricitet, syntetisk gødning - N, P, K og CaO - forskellige pesticider, svovl og udsæd. Det indirekte energiforbrug omfatter forbruget af brændsler og el i de pågældende produktionsprocesser, men principielt også ved produktionen af input hertil osv.

Som brændstof til landbrugsmaskinerne benyttes der 5.945.000 liter dieselolie - jf. tabel 3.3. Når dieselens vægtfylde er 0,84 kg per liter, og brændværdien er 42,7 MJ per kg, svarer dette brændstofforbrug til et energiforbrug på 213.155 GJ. Energiforbruget til udvinding og raffinering af denne energimængde udgør under danske produktions- og raffineringsforhold 0,072 GJ per GJ - dvs. i alt 15.360 GJ.

I forbindelse med vanding af rapsmarkerne skal der bruges 17.624 GJ elektricitet - jf. beregningsforudsætningerne i afsnit 3.2.2. Under de i Danmark gældende gennemsnitlige produktionsforhold indebærer dette et energiforbrug på 1,44 GJ per GJ eller i alt 25.435 GJ.

Til produktionen af 261.400 tons raps skal der hhv. benyttes 10.102 tons N, 2.002 tons P og 7.064 tons K. Produktionen heraf kræver en indsats af 45,1 MJ per kg N, 14,1 MJ per kg P og 8,7 MJ per kg K. Der skal derfor i alt benyttes 545.710 GJ til produktionen af den forbrugte mængde syntetiske gødning. Det samlede forbrug af N-gødning er højere, idet det inkluderer animalsk gødning. Denne indregnes imidlertid ikke i energiregnskabet, fordi gødningen ses som et spildprodukt fra husdyrproduktionen.

Ved rapsproduktionen forbruges der også 62.705 tons CaO. Hertil forbruges 0,05 MJ per kg CaO, således at der i alt benyttes 3.077 GJ. Endvidere forbruges der 44 tons pesticider, som kræver et energiforbrug på 272,5 MJ per kg. Produktionen af den forbrugte mængde pesticider indebærer altså et energiforbrug på 11.980 GJ. Hertil kommer forbruget af 2.747 tons svovl, der kræver et energiforbrug på 4,4 MJ per kg at fremstille, dvs. i alt 11.989 GJ. Endelig forbruges 369 tons udsæd, som produceres med et energiforbrug på 7,1 MJ per kg, således at det samlede direkte og indirekte energiforbrug ved produktionen af udsæd bliver 2.634 GJ.

Som det fremgår af afsnit 3.2.1 indebærer rapsproduktionen en biproduktion af 225.699 tons rapshalm. Med en brændværdi på 14,9 MJ per kg, har halmen i alt et potentielt energiindhold på 3.359.513 GJ. Halmen antages som omtalt at substituere kul i kraftværker med samme energimængde. Hermed bliver det muligt at reducere produktionen af kul, således at der ved kuludvindingen spares et energiforbrug på 0,094 GJ per GJ, jf. JEC (2007), eller i alt 315.794 GJ. Produktionen af biproduktet rapshalm giver altså mulighed for en energibesparelse, som kan trækkes fra det fossile energiforbrug ved at producere hovedproduktet rapsfrø.

Rapsdyrkningen har også en forfrugtsværdi svarende 2.120 tons syntetisk N. Energiforbruget til produktionen af denne gødningsmængde svarer til 45,1 GJ per ton syntetisk N, således at der i alt spares et energiforbrug på 95.601 GJ.

Det samlede energiregnskab ved produktion af raps fremgår af tabel 4.1, og det ses, at rapsfrøproduktionen giver anledning til et direkte og indirekte fossil energiforbrug på 435.569 GJ.

4.2 Direkte energiforbrug ved transport af raps til RME produktionsanlægget og rapshalm til kraftværket

For at bringe de høstede rapsfrø til RME-produktionsanlægget og rapshalmen til kraftværket anvendes brændstof til de nødvendige køretøjer. Den forbrugte brændstofmængde og dermed mængde energi afhænger af køretøjets art og antagelsen, om hvor langt der er fra landbrugsbedrifterne til produktionsanlægget og kraftværket. Det er valgt ikke at tage hensyn til evt. tom tilbagekørsel. Endvidere indgår energiforbruget ved fremstillingen af køretøjerne ikke i den snævre energibalance.

Tabel 4.2 Energiforbrug ved transport af rapsfrø til RME produktionsanlæg af rapshalm til kraftværk.

	Transporteret mængde tons	Gennemsnitlig distance km	Gennem- snitlig last tons pr. lastbil	Kørte kilometer km	Diesel- forbrug kg	Energi- forbrug GJ
Raps	261.383	75	30	653.457	167.553	7.155
Rapshalm	225.699	50	30	564.247	144.679	6.178
I alt						13.333

Det samlede transportbehov for rapsen er bestemt ud fra den gennemsnitlige afstand til produktionsanlægget på 75 km, rapsmængden på 261.400 tons, antagelsen om at hver lastbil kan rumme 30 tons frø, og at der køres 3,9 km per kg diesel - jf. afsnit 3.3. I alt køres 653.457 km, hvilket medfører et dieselforbrug på 167.553 kg eller 7.155 GJ, når energiindholdet i diesel er 42,7 MJ per kg diesel.

Der skal i alt transporteres 225.700 tons rapshalm over en afstand på 50 km. Når lastbilerne hver kan rumme 30 tons, skal de i alt køre 564.247 km. Dette indebærer med et dieselforbrug på 3,9 km per kg diesel, at der forbruges 144.679 kg diesel svarende til et energiforbrug på 6.178 GJ, når energiindholdet i diesel er 42,7 MJ per kg diesel.

Det samlede energiforbrug ved transport af rapsfrø og rapshalm er sammenfattet i tabel 4.2. Det ses, at energiforbruget ved transporten i alt kan opgøres til 13.333 GJ.

4.3 Direkte og indirekte energiforbrug ved produktion af RME

Selve produktionen af RME kræver både et direkte og indirekte energiforbrug. Det direkte energiforbrug omfatter naturgas og elektricitet til at drive de forskellige maskiner, som anvendes i produktionsprocessen. Hertil kommer den energimængde, som tilføres RME gennem brugen af metanol i produktionsprocessen.

Tabel 4.3 Direkte og indirekte energiforbrug ved produktionen af 100.000 tons RME.

Ressource	Ressource- forbrug	Energiforbrug pr. ressourceforbrug	Energi- forbrug GJ
Direkte energiforbrug			
El	13 mio. kWh	3,6 MJ pr. kWh	47.049
Naturgas	4 mio. m ³	39,6 MJ pr. m ³	150.048
Metanol (produktenergi)	12.413 tons	19,9 MJ pr. kg	247.012
Indirekte energiforbrug			
El	47.049 GJ	1,8847 MJ pr. MJ elektricitet	67.899
Naturgas	150.048 GJ	0,0270 MJ pr. MJ naturgas	4.060
Metanolproduktion	247.012 GJ	0,6584 MJ pr. MJ metanol	162.633
Kemikalier (3.760.000 GJ RME) ¹		0,0103 MJ pr. MJ RME	38.728
I alt direkte og indirekte energiforbrug			717.430
155.928 tons rapskage erstatter sojaskrå (2.791.119 GJ) og 13.212 tons glycerin erstatter kul (211.390 GJ)			
Sparet energi ved soyaskråproduktion			- 486.274
Sparet energi ved kulproduktion			- 19.871
I alt sparet energiforbrug			- 506.145
I alt energiforbrug			211.285

Note: ¹⁾ Energiforbruget ved produktion af kemikalier er i JEC (2007) angivet til 0,0103 MJ pr. MJ produceret RME. 100.000 tons RME har et energiindhold på 3.760.000 GJ.

Det indirekte energiforbrug medgår til produktionen af de fornødne inputs i form af naturgas, elektricitet, metanol og kemikalier. Ligesom ved rapsdyrkningen omfatter det indirekte energiforbrug forbruget af brændsler og el i de pågældende produktionsprocesser og principielt også ved produktionen af input hertil osv.

Produktionen af RME resulterer, som omtalt i afsnit 3.4, også i to biprodukter: rapskage og glycerin. Disse produkter kan erstatte soyaskrå og kul som hhv. foder og brændsel. Herved undgås anvendelsen af energi til sojaskrå- og kulfremstillingen. Dette sparede energiforbrug indgår i den snævre energibalance som negativt energiforbrug.

Det samlede direkte og indirekte energiforbrug ved produktionen af 100.000 tons RME er sammenfattet i tabel 4.3. Det ses, at det samlede årlige energiforbrug kan opgøres til 211.285 GJ. Dette resultat fremkommer på følgende måde.

RME-produktionens direkte årlige elforbrug udgør i alt 13 mio. kWh eller 47.049 GJ. Der går 3,6 MJ på én kWh. Tilsvarende anvendes der direkte årligt 4 mio. m³ naturgas. Dette svarer til et forbrug på 150.048 GJ, idet energiindholdet i naturgas svarer til 39,6 MJ per m³. Endelig repræsenterer tilførslen af 12.413 tons metanol til produktionsprocessen også et direkte energiforbrug, idet metanolens energiindhold indgår som en del af energiindholdet RME. Energiindholdet i metanol er 19,9 MJ per kg, således at den samlede energitilførsel i alt bliver 247.012 GJ.

Det indirekte energiforbrug omfatter for det første energiforbruget ved produktionen af elektricitet. Der bliver som omtalt forbrugt 47.049 GJ elektricitet, og for at producere denne energimængde skal der med en indirekte produktionsfaktor på 1,44 GJ per GJ forbruges 67.899 GJ. Naturgasforbruget på 150.048 GJ giver også anledning til et indirekte energiforbrug. I dette tilfælde er energifaktoren 0,027 GJ per GJ, således at energiforbruget til produktion af den nødvendige naturgasmængde bliver 4.060 GJ.

Det indirekte energiforbrug forbundet med forbruget af 247.047 GJ metanol kan opgøres til 162.633 GJ, idet der er forudsat en energifaktor på 0,66 GJ per GJ metanol. Produktionen af kemikalier antages at indebære et energiforbrug på 0,0103 GJ per GJ produceret RME. Herved bliver det årlige forbrug på 38.728 GJ, idet der produceres 3.760.000 GJ RME svarende til 100.000 tons RME.

Produktionen af RME fra raps afkaster også to biprodukter - nemlig 155.928 tons rapskage og 13.212 tons glycerin. Rapskage kan erstatte sojaskrå som dyrefoder i forholdet 0,884 tons sojaskrå per 1 ton rapskage målt i foderenheder, jf. Slentø et al. (2010). Til produktionen af sojaskrå benyttes der 3,528 MJ per kg sojaskrå. Biproduktionen af rapskage giver altså anledning til en energibesparelse på $155.928 \text{ tons} \cdot 0,884 \cdot 3,528 \text{ GJ} / \text{tons} = 486.274 \text{ GJ}$.

Glycerin har et energiindhold på 16 MJ per kg glycerin, hvorfor de 13.212 tons glycerins samlede energiindhold er 211.390 GJ. Energiforbruget ved udvindingen af denne energimængde kul er 0,094 GJ per GJ, jf. JEC (2010), hvorfor glycerinproduktionen repræsenterer en indirekte energibesparelse på 19.871 GJ. Det sparede energiforbrug som følge af biprodukterne sojaskrå og glycerin bliver altså sammenlagt 506.145 GJ.

Det sparede forbrug af energi til produktion af de produkter, som biprodukterne erstatter, kan nu trækkes fra det direkte og indirekte energiforbrug i RME-produktionsprocessen på 738.195 GJ, hvorved fås et samlet energiforbrug 232.050 GJ, der kan tilskrives denne produktionsproces.

4.4 Direkte energiforbrug ved transport af RME til tankstationerne, rapskage til producenterne og glycerin til kraftværket

Energiforbruget ved transport af RME til tankstationerne, rapskage til producenterne og glycerin til kraftværket kan opgøres på samme måde og med samme forudsætninger om dieselforbrug per km, som energiforbruget ved transporten af raps til RME-produktionsanlægget og rapskalm til kraftværket, jf. afsnit 4.2. Resultatet af beregningerne er sammenfattet i tabel 4.4. Det ses, at der i alt skal benyttes 5.283 GJ til transport.

Tabel 4.4 Direkte energiforbrug ved transport af RME til tankstationerne, rapskage til producenterne og glycerin til kraftværket.

	Transporteret mængde tons	Gennemsnitlig distance km	Gennemsnitlig last, tons pr. lastbil	Kørte kilometer km	Diesel- forbrug kg	Energi- forbrug GJ
RME	100.000	75	30	250.000	64.103	2.737
Rapskage	155.928	50	30	259.881	66.636	2.845
Glycerin	13.212	50	30	22.020	5.646	241
I alt						5.283

4.5 Samlet energibalance

Resultaterne fra de foregående afsnit 4.1 - 4.4 kan sammenstilles i en samlet energibalance for forbruget og produktionen af RME. Balancen er vist i tabel 4.5.

Tabel 4.5 Samlet energibalance for forbruget og produktionen af 100.000 tons RME.

Produkter og produktionsprocesser	Energi- indhold GJ	Fossilt energiforbrug GJ
RME	3.760.000	
Direkte og indirekte energiforbrug		
Rapsproduktion		846.965
Transport af raps til RME produktionsanlægget		7.155
RME produktion		717.430
Transport af RME til tankstationer		2.737
I alt		1.574.287
Biprodukters indirekte energiforbrug		
Sparet energi ved kulproduktion (rapshalm)		- 315.794
Sparet energi ved produktion af N-gødning (forfrugtsværdi raps)		- 95.601
Sparet energi ved soyaskråproduktion (rapskage)		- 486.274
Sparet energi ved kulproduktion (glycerin)		- 19.871
I alt		- 917.540
I alt RME	3.760.000	656.747
Fossilt energiforbrug i procent af energiindhold i RME		17 %

Det ses, at det samlede direkte og indirekte energiforbrug ved produktion af raps, transport af raps til RME-produktionsanlægget, produktion af RME og transport af RME til tankstationerne kan opgøres til i alt 1.574.287 GJ. Denne produktionsproces afkaster imidlertid andre produkter end RME - nemlig rapshalm, forfrugtsværdi af rapsdyrkning, rapskage og glycerin. Disse biprodukter har et energiindhold, som giver mulighed for indirekte energibesparelser på produktionen af de produkter, som biprodukterne erstatter. Energibesparelserne kan i alt opgøres til 917.540 GJ.

Nyttiggørelsen af biprodukterne afføder et transportbehov - transport af rapshalm og glycerin til kraftværket og af rapskage til landbruget, jf. afsnit 4.2 og 4.4 - men det er valgt at se bort fra det hermed forbundne energiforbrug i den opstillede energibalance. Dette skyldes ønsket om at

opstille en balance, der udelukkende fokuserer på selve RME-produktionsprocessen.

Ved at trække energibesparelserne knyttet til biprodukterne fra det samlede direkte og indirekte energiforbrug fås et nettoenergiforbrug til produktionen af 100.000 tons RME på 656.747 GJ. De 100.000 tons RME har et energiindhold på 3.760.000 GJ, således at nettoenergiforbruget udgør 17 % af den frembragte energimængde.

Energibalancens resultat kan ikke umiddelbart sammenlignes med resultatet af den velfærdsøkonomiske analyse. Dette skyldes, at energibalancen er en totalanalyse af på den ene side energiindholdet i RME (og biprodukterne hertil) og på den anden side omfanget af fossil energi, der forbruges for at frembringe denne energimængde. Den velfærdsøkonomiske analyse er derimod en ændringsanalyse, der også omfatter de goder - herunder energimængde - som mistes ved at trække ressourcer - herunder fossil energi - bort fra anden anvendelse. Resultatet af den velfærdsøkonomiske analyse indikerer derfor, om der vil være en velfærdsmæssig gevinst ved at omallokere samfundets ressourcer. Energibalancen angiver alene nogle energimæssige sammenhænge. Det kan kun afgøres, om en given energifrembringelse ud fra et energimæssigt synspunkt er fordelagtigere end andre muligheder ved at sammenligne energibalancerne og deres procentvise forhold mellem skabt energi og forbrugt fossil energi.

5 Emissioner ved brugen og produktionen af rapsdiesel (RME)

Emissionsopgørelsen i den samfundsøkonomiske WtW-analyse er principielt bygget op og afgrænset på samme måde som energibalancen, som blev opstillet i kapitel 4. Der var tale om, hvad der her er blevet kaldt en snæver energibalance, og i det følgende opstilles en tilsvarende snæver emissionsopgørelse. Denne omfatter de direkte og indirekte emissioner knyttet til brugen og produktionen af RME.

Der kan også opstilles en total emissionsopgørelse, der afgrænses på samme måde som opgørelsen af miljøkonsekvenserne i den velfærdsøkonomiske analyse - jf. kapitel 3. En sådan emissionsopgørelse omfatter også de undgåede emissioner, ved at RME erstatter fossil diesel, og ved at ressourcer trækkes bort fra anden anvendelse til produktionen af RME og til produktionen af input til RME-produktionen. For en mere omfattende beskrivelse af emissionskonsekvenserne af at erstatte fossil diesel med RME, henvises til emissionsopgørelsen i den velfærdsøkonomiske analyse.

5.1 Den snævre emissionsopgørelse

Emissionsopgørelsen omfatter først og fremmest de energirelaterede emissioner til luft CO_2 , CH_4 , NO_x , SO_2 , NMVOC, CO og partikler PM. Disse emissioner er i sagens natur snævert knyttet til energibalancen, idet de dog ud over de samlede forbrugte energimængder også afhænger af arten af den forbrugte energi og forbrændingsmetoden.

Foruden de energirelaterede emissioner omfatter emissionsopgørelsen også de særligt landbrugsrelaterede emissioner til luft, N_2O og NH_3 , der begge er resultatet af gødningsforbruget. Dette har imidlertid også konsekvenser for udvaskningen af N og P, hvilken også er omfattet af emissionsopgørelsen.

De omtalte emissioner vurderes at være de vigtigste forbundet med produktionen af RME, og det er disse opgørelser som det følgende koncentrerer om, men det kan som nævnt i afsnit 2.3 ikke udelukkes, at også andre typer af emissioner bør indgå i emissionsopgørelsen. Der tænkes her især på emissioner i forbindelse med produktionen og udbringningen af syntetisk gødning og pesticider samt ved produktionen af kemikalieinput til udvindingen af RME fra raps.

Emissionsopgørelsen er sammenfattet i tabel 5.1. De benyttede emissionskoefficienter er gengivet i appendiks 5.1.

Emissionsopgørelsen omfatter først og fremmest emissionerne fra køretøjerne, der benytter RME. Der forbruges 100.000 tons RME. Med de forudsatte emissionskoefficienter og antagelsen om, at RME iblandes fossil diesel med iblandingsprocent på 5,25 %, indebærer forbruget af de 100.000 tons RME emissioner svarende til dem, der fremgår af øverste linje i tabel 5.1. RME er CO_2 -neutralt, og derfor er der ikke anført CO_2 -

emissioner i tabellen. Opgørelsen omfatter alene emissionerne fra RME og ikke de undgåede emissioner fra den fortrængte fossile diesel. Derfor kan tallene ikke sammenlignes med RME søjlen i tabel 3.1.

Tabel 5.1 Årlige emissioner fra forbruget og produktionen af 100.000 tons RME.

Tons	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eqv.	NO _x	SO ₂	NM VOC	CO	NH ₃	PM	N	P
Kørsel på RME (CO ₂ -neutral)		11,3	10,9	3.624,2	1.704,1	1,7	80,8	374,0	1,4	68,3		
Rapsproduktion												
Direkte brændstofforbrug	16.514,6	3,1	0,7	16.800,8	159,3	2,2	7,4	32,2	0,1	4,1		
Direkte elforbrug til vanding	3.265,4	0,1	0,0	3.278,8	3,4	1,4	0,1	0,7	0,0	0,1		
Dansk produktion af kalk	238,4	0,0	0,0	242,5	2,3	0,0	0,1	0,5	0,0	0,1		
Gødningsrelaterede emissioner			3,2						6,6		6.044	78,5
Rapshalm (substituerer kul)	- 319.153,7	- 3,4	2,0	- 318.599,4	110,9	23,9	- 2,4	178,1	0,0	3,3		
Transport til RME-anlæg												
Rapsfrø	554,3	0,1	0,0	563,9	5,3	0,1	0,3	1,1	0,0	0,1		
Metanol	17,5	0,0	0,0	17,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
RME produktion												
Naturgas, direkte og indirekte	8.519,7	0,9	0,2	8.585,2	6,3	0,0	0,3	4,2	0,0	0,0		
El, direkte og indirekte	8.717,2	0,2	0,1	8.752,8	9,1	3,7	0,2	1,8	0,0	0,2		
Metanol, spild (1 %)							124,1					
Biprodukter RME produktion												
Glycerin (substituerer kul)	- 1.125,9	0,3	0,3	- 1.040,6								
Transport af RME til tankstationer	212,0	0,0	0,0	215,7	2,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,1		
I alt RME-produktion og forbrug	- 282.240,3	12,8	17,4	- 277.558,2	2.003,0	33,0	211,1	592,8	8,1	76,2	6.044	

Til dyrkning af de nødvendige rapsfrø anvendes der diesel til maskinerne samt elektricitet til eventuel vanding af afgrøden - jf. afsnit 3.2. Hertil kommer det indirekte energiforbrug ved fremstillingen af dieselen og elektriciteten, samt til fremstilling af CaO. Det indirekte energiforbrug omfatter forbruget af brændsler og el i de pågældende produktionsprocesser. Det er emissionerne fra disse produktionsaktiviteters forskellige typer energiforbrug, der indgår i emissionsopgørelsen.

Ved produktionen af raps anvendes også syntetisk gødning - dvs. N, P og K - samt planteværn (pesticider etc.). Emissionerne fra fremstilling af disse stoffer kan indgå i emissionsopgørelsen, men da stofferne antages produceret i udlandet, indgår emissionerne herfra ikke i den foreliggende opgørelse, der er afgrænset til Danmark. Anvendelsen af syntetisk gødning og husdyrgødning giver imidlertid anledning til de i tabellen angivne gødningsrelaterede emissioner af N_2O og NH_3 samt udvaskning af N og P til vandmiljøet.

Endelig resulterer dyrkningen af raps i biproduktet rapshalm, der antages anvendt som brændsel på kraftværker, hvor den substituerer kul i samme energimængde. I overensstemmelse med substitutionsmetoden beregnes rapshalmens emissioner som summen af de kulemissioner, der fortrænges, og halmens egne emissioner ved forbrænding. Halmen forudsættes at være CO_2 -neutral. Kuls indirekte emissioner ved udvinding i udlandet medregnes ikke, da de finder sted uden for Danmarks grænser.

For at bringe de høstede rapsfrø og metanol til RME-produktionsanlægget anvendes dieselbrændstof - jf. afsnit 4.2. Ved hjælp af emissionskoefficienterne fra appendiks 5.1 kan man herefter beregne de emissionsmængder, som er angivet i tabel 5.1.

Emissionerne fra produktionen af RME er knyttet til det direkte og indirekte energiforbrug herved. Det direkte energiforbrug omfatter naturgas til produktion af varme og elektricitet til at drive de forskellige maskiner, som anvendes i udvindingsprocessen. I de angivne emissionsmængder er indregnet indirekte emissioner fra produktionen af naturgassen og elektriciteten. I forbindelse med produktionen af RME benyttes også metanol, hvoraf 1 % antages at fordampe og dermed give anledning emissioner af NMVOC.

Som nævnt afkaster produktionen af RME fra raps også to biprodukter - nemlig rapskage og glycerin. Disse biprodukter antages som omtalt i afsnit 3.4.2 at erstatte det hidtidige forbrug af hhv. soyaskrå som foder og kul som brændsel på kraftværker. Herved kan den hidtidige produktion af soyaskrå og de hermed forbundne emissioner - herunder de energirelaterede emissioner - reduceres. Produktionen af soyaskrå antages imidlertid at finde sted i udlandet, hvorfor de angivne emissionsreduktioner ikke er omfattet af den aktuelle emissionsopgørelse, der geografisk er afgrænset til Danmark. Glycerin substituerer kul i kraftværker og giver anledning til emissionsændringer svarende til summen af de kulemissioner, der fortrænges, og de emissioner der opstår ved forbrænding af glycerin.

Brændstofforbruget og emissionerne ved transport af RME til tankstationerne opgøres efter samme retningslinjer som energiforbruget og emissionerne ved transporten af raps til RME-produktionsanlægget.

Det ses af tabel 5.1, at CO₂-emissionerne bliver reduceret med godt 280.000 tons ved at fremstille RME. Reduktionen skyldes primært, at den CO₂-neutrale rapshalm antages at erstatte kul som brændsel på kraftværker. Alle produktions- og transportleddene i nyttiggørelsen af RME giver anledning til forøgede CO₂-emissioner; men disse forøgelser er beskedne i forhold til reduktionen fra anvendelsen af halm i stedet for kul på kraftværkerne. Emissionsopgørelsen omfatter ikke reduktionen i CO₂-emissionerne, ved at RME erstatter fossil diesel; men RME indgår i opgørelsen som CO₂-neutralt brændstof.

Emissionerne af alle de øvrige stoffer stiger som følge af produktionen og brugen af RME. Hovedparten af stigningerne kan tilskrives kørslen på RME; men de forskellige led i produktions- og transportkæden yder også beskedne bidrag til forøgelsen af emissionerne.

Emissionsopgørelsen i tabel 5.1 er en snæver emissionsopgørelse, som kun omfatter de direkte emissioner ved forbruget og den samlede produktions- og leveringsproces for RME og dens biprodukter samt de indirekte emissioner ved produktionen af input til RME-produktionsprocessen. Herved ses der bort fra en række undgåede emissioner, ved at RME erstatter forbruget af fossil diesel, og ved at knappe ressourcer nu anvendes i RME-produktionsprocessen i stedet for ved alternativ produktion. De undgåede emissioner omfatter:

- De hidtidige emissioner fra anvendelsen af fossil diesel - modsvarer i nogen grad emissionerne fra RME, og med hensyn til CO₂-effekten undervurderes denne i den snævre emissionsopgørelse, som ikke omfatter de undgåede CO₂-emissioner fra fossil diesel.
- De hidtidige emissioner fra produktionen af hvede - modsvarer i nogen grad emissionerne fra produktionen af raps.
- De hidtidige emissioner fra transport af hvede - til gengæld skal der nu transporteres importeret hvede.
- De hidtidige emissioner ved at der nu direkte og indirekte anvendes ressourcer på RME-produktionsanlægget og ved fremstillingen af input hertil.
- De hidtidige emissioner fra transport af fossil diesel til tankstationer - modsvarer i nogen grad emissionerne fra transport af fossil diesel til tankstationer.

Disse undgåede emissioner vil være omfattet af en total emissionsopgørelse. Der skal ikke opstilles en sådan her; men der henvises til den velfærdsøkonomiske analyse i kapitel 3, i hvilken der netop er indarbejdet en opgørelse af de samlede skabte og undgåede emissioner.

Appendiks 5.1 Emissionskoefficienter for forbruget og produktionen af forskellige produkter

Luftemissioner.

g pr MJ (medmindre andet benævnt)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq	NO _x	SO ₂	NMVOC	CO	NH ₃	PM ₁₀
RME (ved 5,75% iblanding)		0,003	0,003	0,964	0,4532	0,0004	0,0215	0,0995	0,0004	0,0182
Diesel (inkl. raffinering)	77,5	0,015	0,003	78,8	0,747	0,010	0,035	0,151	0,000	0,019
Elektricitet	185,3	0,005	0,002	186,036	0,194	0,079	0,004	0,039	0,000	0,005
Naturgas	56,8	0,006	0,001	57,216	0,042	0,000	0,002	0,028	0,000	0,000
Kulforbrænding	95,000	0,002	0,001	95,280	0,098	0,040	0,002	0,010	0,000	0,003
Halmforbrænding	102,000	0,001	0,001	102,445	0,131	0,047	0,001	0,063	0,000	0,004
Glycerinforbrænding	89,674	0,003	0,002	90,357	0,098	0,040	0,002	0,010	0,000	0,003
Dansk produktion af CaO (g pr kg)	3,8	0,001	0,000	3,9	0,037	0,000	0,002	0,007	0,000	0,001
Forbrug af organisk N (g pr kg N) ¹			19,6						99,6	
Forbrug af syntetisk N (g pr kg N) ¹			19,6						22,5	

Note: ¹⁾ N₂O-faktoren anvendes på den resterende N efter at NH₃-emissionen er fratrasket.

Udvaskning.

kg pr. ha	Raps	Hvede
N	77	65
P	1	- 2

Litteratur

Carlsen K., Kjellingbro M., Mogensen M. F. & Kohl M. 2006: "CO₂ reduktionsomkostninger ved biodiesel. Dansk produceret biodiesel på raps", Institut for Miljøvurdering 2006. <http://www.imv.dk/default.aspx?id=495&PublicationSearchShowResume=true&PublicationID=321>

Danmarks Tekniske Universitet, 2009: "Transportøkonomiske enhedspriser", Danmarks Tekniske Universitet 2009. http://www.dtu.dk/upload/institutter/dtu_transport/modelcenter/transportoekonomiske_enhedspriser/transportoekonomiske_enhedspriser_vers_1_2_aug09.xls

Danmarks Miljøundersøgelser, 2009: "Emission factors for mobile sources for the year 2008", Aarhus Universitet, Danmarks Miljøundersøgelser 2009 <http://www.dmu.dk/Luft/Emissioner/Emission+factors/>

DMU, Landovervågning - LOOP: <http://www.dmu.dk/Vand/Projekter/>

Energistyrelsen, 2003: "Dokumentation for beregning af CO₂-reduktionsomkostninger ved anvendelse af biodiesel", revideret version december 2003, Energistyrelsen 2003.

Energistyrelsen, 2009: "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet", Energistyrelsen Maj 2009, 18 s. http://www.ens.dk/da-DK/Info/TalOgKort/Fremskrivninger/analyser/beregningsforudsatninger/Documents/Beregningsforudsatninger_Maj_samlet.pdf

Jacobsen, B.H., Hasler, B. & Hansen, L. B. 2009: "Økonomisk Midtvejs-evaluering af Vandmiljøplan III", Fødevareøkonomisk Institut og Danmarks Miljøundersøgelser 2009, 41 s. <http://www.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/djfm142.pdf.pdf>

JEC (JRC-EUCAR-CONCAWE), 2007: "Well-to-wheels analysis of future auto motive fuels and power trains in the European context", JRC, EUCAR and CONCAWE 2007 <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW.html>

Landscentret Planteproduktion 2005 – 2009: "Budgetkalkuler", Landscentret Planteproduktion 2005 – 2009.

Møller, F. 2009: "Værdisætning af ændring i dødsrisiko: Beskrivelse af ændring i dødsrisiko, livstidsnyttefunktion, fortolkningen af personers betalingsvillighed og aggregeringen heraf", Arbejdsrapport fra DMU nr. 253, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 2009, 100 s.

Møller, F., Andersen, S.P., Grau, P., Huusom, H., Madsen, T., Nielsen, J. & Strandmark, L. 2000: "Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojek-

ter", Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøstyrelsen og Skov- og Naturstyrelsen 2000, 464 s.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/samf_vurd.pdf

Slentø E., Møller F., Winther M. & Mikkelsen M.H. 2010: "Samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af biobrændstoffer – scenarieberegninger for RME samt 1. og 2. generations bioethanol", Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 2010 (forthcoming).

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet.	På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.	Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, conferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser Frederiksborgvej 399 Postboks 358 4000 Roskilde Tlf.: 4630 1200 Fax: 4630 1114	Administration Afdeling for Arktisk Miljø Afdeling for Atmosfærisk Miljø Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi Afdeling for Systemanalyse
---	--

Danmarks Miljøundersøgelser Vejlsovej 25 Postboks 314 8600 Silkeborg Tlf.: 8920 1400 Fax: 8920 1414	Afdeling for Ferskvandsøkologi Afdeling for Terrestrisk Økologi
--	--

Danmarks Miljøundersøgelser Grenåvej 14, Kalø 8410 Rønde Tlf.: 8920 1700 Fax: 8920 1514	Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet
---	--

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. 2010

- 789 Forekomst og regulering af fritlevende mink i Danmark i jagtsæsonen 2007/08.
Af Asferg, T. 28 s.
- 788 Forekomst af antikoagulante rodenticider i danske rovfugle, ugler og små rovpattedyr.
En basisundersøgelse.
Af Christensen, T.K., Elmeros, M. & Lassen, P. 84 s.
- 787 Effekter af øgede kvælstoftilførsler på miljøet i danske fjorde.
Af Markager, S., Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Windolf, J. & Timmermann, K. 54 s.
- 786 Emissions from decentralised CHP plants 2007 – Energinet.dk Environmental project no. 07/1882.
Project report 5 – Emission factors and emission inventory for decentralised CHP production.
By Nielsen, M., Nielsen, O.-K. & Thomsen, M. 113 pp.
- 785 Guidelines to environmental impact assessment of seismic activities in Greenland waters.
2nd edition.
By Boertmann, D., Tougaard, J., Johansen, K. & Mosbech, A. 42 pp.
- 784 Denmark's National Inventory Report 2010. Emission Inventories 1990-2008 – Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.
By Nielsen, O.-K., Lyck, E., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkerne, S., Winther, M., Nielsen, M., Fauser, P., Thomsen, M., Plejdrup, M.S., Albrechtsen, R., Hjelgaard, K., Johannsen, V.K., Vesterdal, L., Rasmussen, E., Arfaoui, K. & Baunbæk, L. 1178 pp.
- 783 Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner.
Af Andersen, M.S. 33 s.
- 782 Screening for kloralkaner i sediment. Relevans for NOVANA.
Af Larsen, M.M., Hjorth, M. & Sortkjær, O. 22 s.
- 781 Emissionskortlægning for decentral kraftvarme 2007 – Energinet.dk miljøprojekt nr. 07/1882.
Delrapport 5 Emissionsfaktorer og emissionsopgørelse for decentral kraftvarme, 2006.
Af Nielsen, M., Nielsen, O.-K. & Thomsen, M. 105 s.
- 780 Heavy Metal Emissions for Danish Road Transport.
By Winther, M. & Slentø, E. 99 pp.
- 779 Brændefyrings bidrag til luftforurening. Nogle resultater fra projektet WOODUSE.
Af Olesen, H.R., Wählin, P. & Illerup, J.B. 71 s.
- 778 Ynglefugle i Tøndermarsken og Margrethe Kog 1975-2009. En analyse af udviklingen i fuglenes antal og fordeling med anbefalinger til forvaltningstiltag.
Af Clausen, P. & Kahlert, J. (red.) 206 s.
- 777 Air pollution from residential wood combustion in a Danish village.
Measuring campaign and analysis of results.
By Wählin, P., Olesen, H.R., Bossi, R. & Stubbjær, J. 49 pp.
- 776 Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE.
Emission inventories from the base year of the protocols to year 2008.
By Nielsen, O.-K., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Fauser, P., Plejdrup, M.S., Albrechtsen, R. & Hjelgaard, K. 565 pp.
- 775 Environmental monitoring at the former lead-zinc mine in Maarmorilik, Northwest Greenland, in 2009.
By Johansen, P., Asmund, G., Rigét, F., Johansen, K. & Schledermann, H. 32 pp.
- 774 Kvælstofbelastningen ved udvalgte terrestriske habitatområder i Sønderborg kommune.
Af Frohn, L. M., Skjøth, C. A., Becker, T., Geels, C. & Hertel, O. 30 s.
- 773 Geese, seabirds and mammals in North and Northeast Greenland.
Aerial surveys in summer 2009.
By Boertmann, D. & Nielsen, R.D. 66 pp.
- 772 Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2009.
By Glahder, C.M., Asmund, G. & Rigét, F. 32 pp.
- 771 OMLHighway within the framework of SELMAGIS. Final Report.
By Jensen, S.S., Becker, T., Ketzel, M., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. & Lorentz, H. 26 pp.
- 770 Road pricing, luftforurening og eksternalitetsomkostninger.
Af Jensen, S.S., Ketzel, M. & Andersen, M.S. 48 s.

[Tom side]



SAMFUNDSØKONOMISK WELL-TO-WHEEL-ANALYSE AF BIOBRÆNDSTOFFER

Analysemetoden eksemplificeret ved
produktionen og brugen af rapsdiesel (RME)

I rapporten præsenteres det metodiske grundlag for gennemførelse af en såkaldt samfunds-økonomisk well-to-wheel-analyse (WtW). Denne kan karakteriseres som en kombineret livscyklusanalyse (LCA) og velfærdsøkonomisk cost benefit analyse (CBA). Den LCA-inspirerede del af analysen omfatter både en energibalance og en emissionsopgørelse, idet der dog i overensstemmelse med velfærdsøkonomisk tankegang lægges vægt på at opgøre energiforbrugs- og emissionsændringer ved en ændret allokering af samfundets knappe ressourcer. Den rene CBA-del af WtW'en omfatter en beregning af den velfærdsøkonomiske fordelagtighed ved ændringen. Den opstillede samfundsøkonomiske WtW-metode illustreres med beregning af velfærdsøkonomiske konsekvenser, energibalance og emissionskonsekvenser af at producere og forbruge 100.000 tons rapsdiesel (RME) om året i Danmark.

ISBN: 978-87-7073-193-5
ISSN: 1600-0048