

## Perspektiver for biomasse i transportsektoren i Danmark

### *Baggrund og problemstilling*

Dette papir behandler biomassens muligheder og begrænsninger i energi- og transportsektoren i Danmark og dernæst at sammenligne og konsekvensvurdere forskellige anvendelsesmuligheder (forskellige brændstoffer og forskellige teknologier) for udnyttelse af biomasse i transportsektoren. Det er i første række baseret på systemanalysearbejde i det forskningsråds-finansierede projekt, "Towards a hydrogen society" (med DTU som projektleder), der er ved at blive afsluttet. En af hovedopgaverne i dette arbejde er at vurdere ressourcgrundlaget for brintenergi med speciel vægt på de ressourcer der vurderes at indeholde flaskehalse og prioriteringsproblemer.

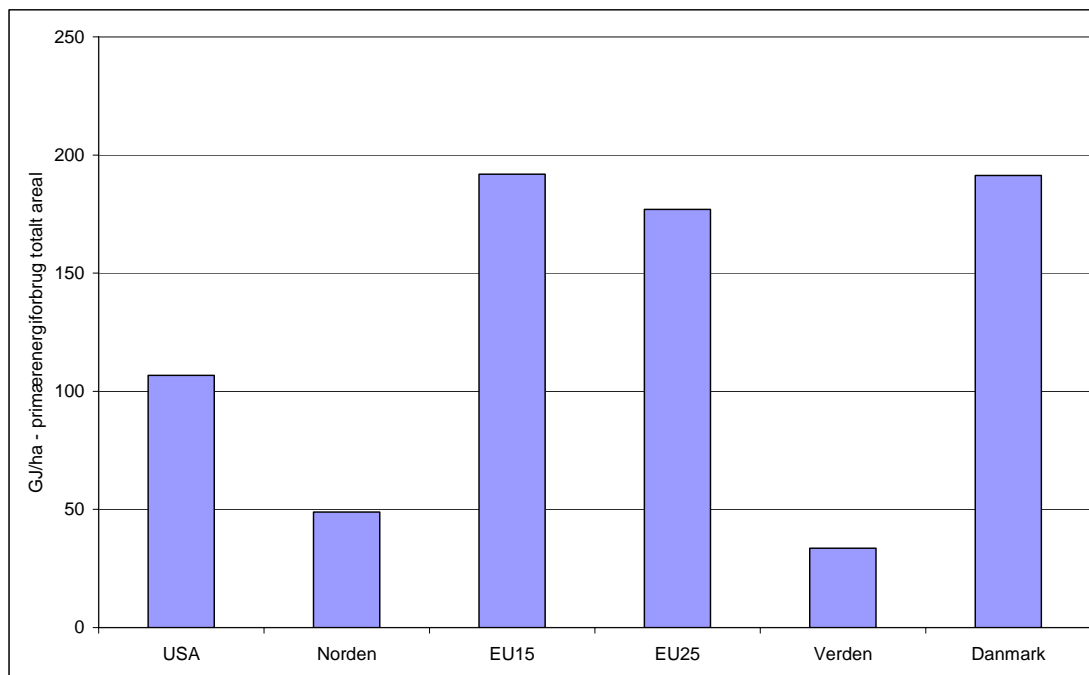
Biomassen indtager en nøglerolle i forbindelse med transportsektorens omlægning til drivmidler baseret på vedvarende energi. På den ene side kan den bruges på mange forskellige måder, idet den fx kan konverteres til gasformige og flydende biobrændstoffer, til brint og til el, der alle kan bruges som drivmiddel i transportmidler. På den anden side har biomasseressourcerne begrænsninger i langt højere grad end det er tilfældet for de fleste andre vedvarende energikilder.

Denne begrænsning har praktisk betydning, selv når der ses på de teoretiske biomassepotentiale, og hænger sammen med at kun en meget lille del af solens energi omdannes til biomasse ved fotosyntesen (typisk 1 % eller mindre). Hvis man laver det hypotetiske regnestykke at hele Danmarks areal afsættes til biomasseproduktion med typiske udbytter for danske forhold får man en biomasseproduktion i samme størrelsesorden som det samlede danske bruttoenergiforbrug, nemlig ca. 800-900 PJ/år. Dette har der være konsensus om i opgørelser over en lang årrække (Energistyrelsen 1990, Energistyrelsen 1996, Jørgensen 1998). Det er værd at være opmærksom på at dette overslag er i bruttotermer og ikke forholder sig til problemstillingen om hvor effektivt fremstillingen af drivmidler er. Men man har allerede på dette niveau den relative knaphed af biomassen inde på livet.

I praksis er dette tankeeksperiment naturligvis ikke tilnærmelsesvist realiserbart, da der både er arealer hvor man ikke kan dyrke biomasse og mange tilfælde hvor man ikke vil eller kan fjerne den fra kredsløbet, ligesom en stor del bruges til andre formål, herunder til energi. Men det illustrerer vigtigheden af at man ikke blot blindt fremmer biomasse-baserede drivmidler, men dels er omhyggelig med en samler prioritering af forskellige anvendelsesmuligheder der også medtager et bredere spektrum af muligheder.

Da biomasseproduktionen hænger sammen med landenes areal, kan man få en første grove indikator af biomassens muligheder i et geografisk område ved et nøgletal der sætter områdets bruttoenergiforbrug i forhold til dets areal. Figur 1 viser dette nøgletal for Danmark og udvalgte landområder. For Danmark er dette tal lidt under 200 GJ/ha, hvilket er i samme størrelsesorden som det bruttoudbytte af biomasse der typisk kan forventes. Det ses af figuren at EU ligner Danmark meget med hensyn til dette nøgletal, mens USA og - især - Norden og verden som helhed står væsentlig bedre. Hvis man baserer nøgletallene på landbrugsareal i stedet for

totalt landareal - hvilket giver et andet om end ikke nødvendigvis udtømmende billede af hvilke arealer der reelt er til rådighed - fås en helt anderledes indbyrdes placering. Denne ændring betyder relativt lidt i Danmark, hvor landbruget lægger beslag på 2/3 af arealet, mens det tegner sig for mindre (40-50%) for de andre områder, og meget lidt (ca. 10%) for Norden som helhed. Overordnet kan man sige at med typiske biomasseudbytter på 100-200 GJ/ha over større områder er biomassens begrænsninger ikke neglige, heller ikke for verden som helhed og uanset om man baserer overvejelserne på landbrugsarealer eller samlede landarealer.



Figur 1. Nøgletal der viser årligt energiforbrug sat i forhold til landareal for udvalgte lande og landområder (GJ/ha).

### ***Fremgangsmåde***

Biomasse dannes gennem planternes omdannelse af sollys til kemisk energi der lagres i planterne som organiske materialer. Sammen med de naturlige henfaldsprocesser indgår biomassen som foder, føde, råvarer, brændsel mv. i samfundsmæssige processer og indgår derfor som bestanddel af forskellige affalds- og overskudsprodukter, fx husholdningsaffald, industriaffald, husdyrgødning mv.

Biomassekredsløbet kan i stærkt simplificeret form beskrives således:

- a) Udgangspunktet er den årlige biomasseproduktion på det givne areal, bestemt gennem arealanvendelsen samt de forskellige arealtypers gennemsnitlige udbyttetal. Biomasseproduktionen - korrigeret for eventuel eksport/import og for eventuelle lagerændringer - angiver principielt rammen for biomassepotentialerne
- b) Biomassen indgår på en række måder i samfundsmæssige processer som føde, foder, råvarer for industri, energiråvare mv. - og i forbindelse hermed som grundlag for op-

retholdelse af husdyrholdet. Landbrugets animalske produkter - kød, mælk, æg etc. - er i sidste instans baseret på biomasse.

- c) Affalds- og restprodukter, herunder varme og affald fra de animalske produkter Det er vigtigt at være opmærksom på at udnyttelse af affalds- og overskudsprodukter, herunder fx husdyrgødning og affald fra produkter der indirekte er baseret på biomasse (bl.a. kødaffald) ikke er noget der kommer ved siden af biomasseproduktionen under pkt. a), men derimod forudsætning for at potentialet udnyttes effektivt. Det er den forbindelse værd at notere sig at der siden 70'erne har været regnet med udnyttelse af husdyrgødning, overskudshalm, træaffald mv.
- d) Det naturlige biologiske henfald, der også udfører vigtige roller i naturen og som grundlag for landbruget.

I praksis er billedet langt mere komplekst med underkredsløb og tilbagekoblinger, hvor det er svært at tegne et enkelt billede af kredsløbet. Problemstillingen kan heller ikke reduceres til et spørgsmål om at udnytte biomassen mest muligt, idet der er andre hensyn, ikke mindst til landskabelige værdier og til naturens komplicerede processer.

Der er mange variable i dette kredsløb og dermed også mange muligheder for at forøge det bidrag biomassen kan bidrage med. For det første kan selve biomasseproduktionen forøges gennem ændret arealanvendelse, gennem ændrede valg af planter og ændring af dyrkningsmæssige forhold. Dernæst kan man forbedre udnyttelsen af biomassen, gennem minimering af spild, og ved at udnytte spild.

Men der er også mange faktorer der trækker i den modsatte retning, i form af ulemper, omkostninger, grænser mv. En del af ressourcerne lader sig reelt ikke udnytte rent praktisk, eller kun under meget idealiserede forudsætninger, der ofte hænger sammen store indgreb i omgivelserne. Derfor er de tekniske potentialer der tager hensyn til disse begrænsninger mindre end de teoretiske potentialer. Der er ofte en afvejning mellem ressourcemæssige hensyn - at maksimere biomassepotentialet - på den ene side og miljømæssige hensyn på den anden, idet mange af midlerne til dette (ikke mindst gødning) øger energiforbrug og skadelige emissioner.. Andre miljømæssige hensyn der kan give problemer i denne sammenhæng er biologisk mangfoldighed.

### ***Biomasseproduktion i Danmark***

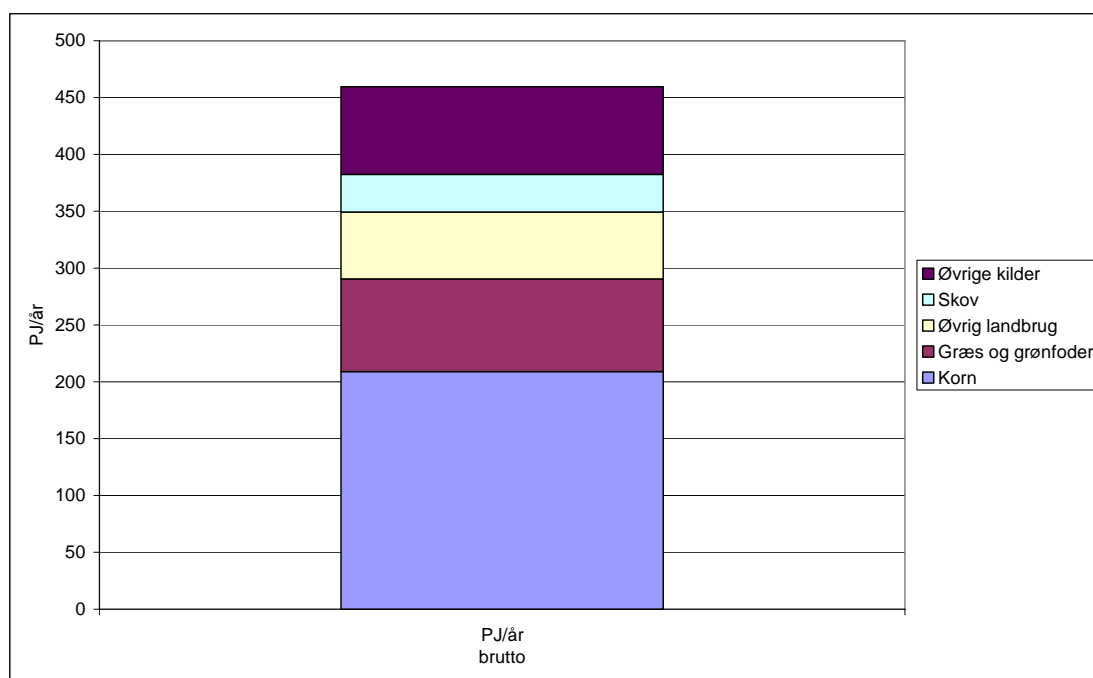
Der er lavet et estimat over biomasseproduktionen i Danmark i 2003, baseret på den faktiske arealanvendelse af arealet på land samt gennemsnitlige udbyttotal. Det er antaget der dyrkes efterafgrøder<sup>1</sup> på 750.000 ha (primært arealer med vårbyg og kartofler). Dette estimat giver en ramme for de årlige biomassepotentialer der er til rådighed, men i praksis er det kun en del heraf der reelt er til rådighed for energianvendelser. Som figur 2 viser, er denne beregnede produktion noget mindre end det danske bruttoenergiforbrug. Produktionen kan forøges gennem valg af planter med højere udbytte, og eksempelvis gennem brug af efterafgrøder, dvs. ekstra-afgrøder på visse af arealerne<sup>2</sup>.

Sat i forhold til Danmarks samlede areal svarer biomasse-estimatet til et gennemsnitligt specifikt udbytte på ca. 100 GJ/ha.

---

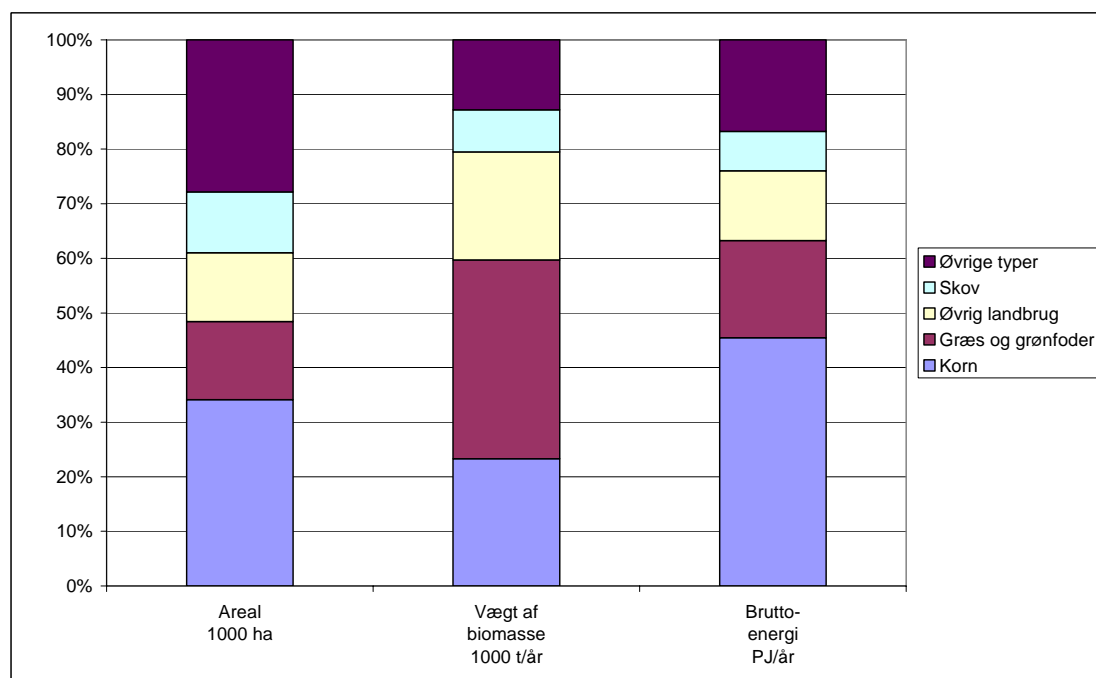
<sup>1</sup> Dvs. ekstra afgrøder inden for det givne dyrkningsmønster

<sup>2</sup> I dette estimat er det antaget at de ca. 10% af arealet der udgør kunstige overflader ikke bidrager til biomasseproduktionen.



Figur 2. Overslag over årlig biomasseproduktion på dansk landareal i 2003.

Der er store variationer i udbyttet for de forskellige delbidrag. Figur 3 viser den procentvise fordeling af biomasseproduktionen på forskellige hovedkategorier, fordelt henholdsvis efter areal, biomassevægt og energiindhold. Det ses at landbruget står for godt 60 % på basis af areal, men ca.  $\frac{1}{3}$  efter energiindhold. Skove tegnede sig for ca. 5 % efter både areal og energiindhold.

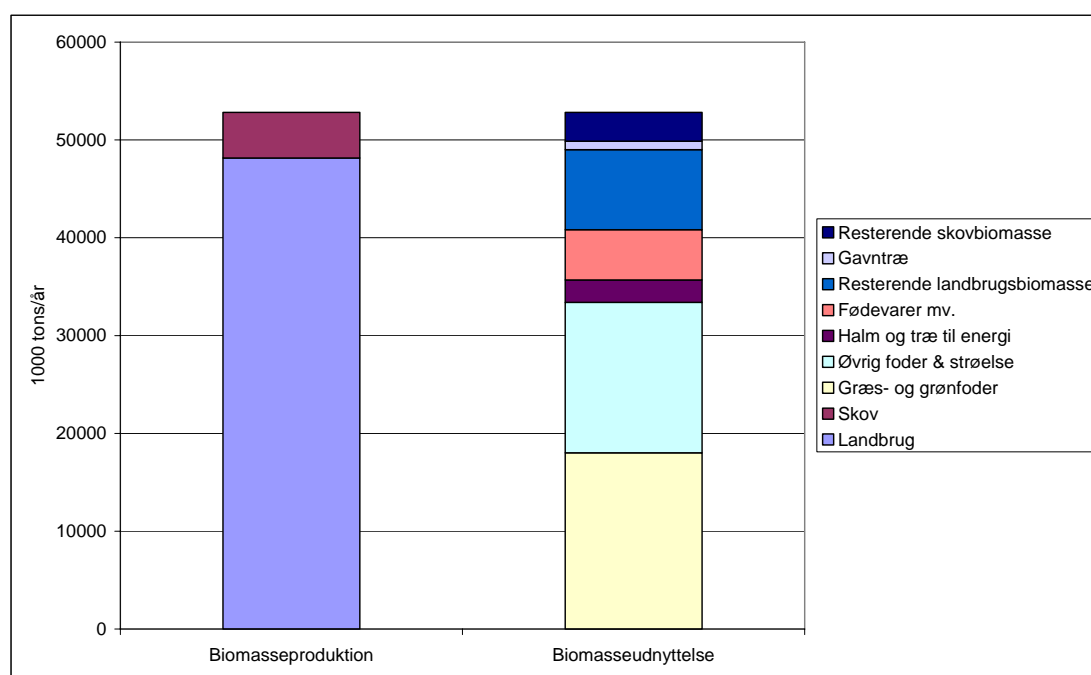


Figur 3. Fordeling af den beregnede biomasseproduktion i 2003 på basis af areal, vægt og energiindhold

Dyrkning af braklagte arealer er en ændring af dyrkningsmønstret inden for det areal der er med i overslaget i figur 2. Formålet kan være at hæve det specifikke udbytte, men også at få afgrøder der er mere egnede til energianvendelserne.

### **Biomassekredsløb i Danmark**

Figur 4 viser et overslag over fordelingen af biomasseproduktionen fra landbrug og skove i 2003 (mere end 85 % af den totale biomasseproduktion) på forskellige udnyttelser, opgjort på basis af vægt. Knapt 2/3 af denne biomasse anvendes til foder og ca. halvdelen heraf i form af græs- og grønfoeder. Knapt 5 % anvendes i dag til energiformål i form af henholdsvis halm og træ. Biomasse der bruges til fødevarer tegner sig for ca. 10 % af denne biomasseproduktion, men heri indgår ikke landbrugets animalske produktion, der stort set kun drejer sig om fødevarerproduktion. Derfor kan hovedparten af foderforbruget ses som indirekte fødevarerproduktion. Anvendelsen til gavnræ - 2 % - er af marginal betydning. De to restgrupper inden for henholdsvis landbrug og skov dækker over dels små grupper af typer af anvendelser der ikke er opgjort, dels, og især, biomasse der ikke anvendes (fjernes), herunder spild. Disse to grupper tegner sig for ca. 30 % af den samlede biomasseproduktion i landbrug og skov - eller, omregnet til bruttoenergiindhold til ca. 80 PJ/år, fordelt med ca. 2/3 til resterende landbrugsprodukter og 1/3 til skov.



Figur 4. Skov og landbrugs biomasseproduktion i 2003 og skønnet fordeling på udnyttelser

En stor del af biomassen anvendes som det fremgår til foder, hvilket betyder at der i forlængelse heraf bliver et potentiale for biomasseressourcer i form af husdyrgødning. Det gælder dog ikke den del af foderet der indtages ved afgræsning, hvilket er tilfældet for ca. 1/3 (20 % af det samlede). Resten af foderet, med et bruttoenergiindhold på ca. 90 PJ/år i dette overslag, bruges til foder under forhold hvor husdyrgødningen i princippet kan udnyttes til energifor-

mål. Gødningens energiindhold udgør typisk 20-25 % af foderets, dvs. i dette overslag omkring 20 PJ/år. Dertil kommer organisk affald baseret på kødaffald mv.

Ovennævnte er et teknisk potentiale hvor der hverken er taget miljømæssige eller økonomiske hensyn i fastlæggelsen af grænserne. Det Europæiske Miljøagentur, EEA, har lavet en vurdering af hvor store biomasseressourcer der kan udnyttes på en miljømæssigt forsvarlig måde (EEA 2006). Den dækker alle 25 EU-lande, herunder Danmark, og anslår et miljømæssigt forsvarligt potentiale på 120 PJ/år. I forbindelse med den nationale danske energiplanlægning har Energistyrelsen ved flere lejligheder lavet vurderinger af det danske biomassepotentiale. Som en del af baggrundsmaterialet til Energi 21 blev lavet en mere grundlæggende analyse af potentialerne under hensyntagen til de miljømæssige forhold (Energistyrelsen 1996), der siden blev opdateret i 1999 og for dele af opgørelsen i 2001 (Gylling et al 2001). I Energi 21 blev det aktuelle potentiale på daværende tidspunkt (1996) opgjort til 123 PJ/år (18 % af Danmarks energiforbrug), og det blev brugt som grundlag som scenarier for den fremtidige biomasseudvikling.

Der er på det overordnede plan god overensstemmelse mellem de biomassepotentialer der er til rådighed for energiformål ifølge disse ressourcevurderinger og de der kan udledes af estimatet for 2003 i "Towards a hydrogen-based society". I den danske energipolitik er disse potentialer nu tænkt benyttet til stationære energiformål, først og fremmest el- og varmeproduktion. Det betyder at hvis der skal være plads til biomasse-baserede transportbrændstoffer, skal dette i udgangspunktet tages fra de stationære anvendelser, med mindre der findes måder at forøge udbyttet inden for den aktuelle arealanvendelse eller hvis behovet for biomasse reduceres gennem minimering af tab. En mulighed for førstnævnte er dyrkning af efterafgrøder, men det skønnes maksimalt at kunne give et potentiale på ca. 20-30 PJ/år.

Alternativt kunne man forestille sig at en del af de arealer der bruges til at producere foder på, omlægges til produktion af biomasse til energiformål.

### ***Biomasseressourcer i udlandet***

De øvrige nordiske lande har betydeligt bedre betingelser for at have rigelige biomasseressourcer end Danmark pga. af deres langt større størrelse. Danmark skiller sig dog ikke ud fra de andre nordiske lande hvad angår landbrugsareal.

Det Europæiske Miljøagents analyse af grænserne for at udnytte biomasse på en miljømæssigt bæredygtig måde (EEA 2006) fastlægger at sådant potentiale for hele det nuværende EU-25 på ca. 8000 PJ/år, svarende til ca. 12 % af det samlede energiforbrug i EU-25, stigende til ca. 12000 PJ/år i 2030. For Danmark opgør EEA det tilsvarende potentiale til ca. 120 PJ/år, svarende til 15 % af det danske bruttoenergiforbrug. Med andre ord bekræftes antagelsen om at Danmark ligner EU som helhed en del, og faktisk med relativt mindre potentialer for EU som helhed (man ville få det samme billede hvis man så på de EU-15). Med andre ord kan man ikke uden videre basere danske biomasse-initiativer på import fra EU. Blandt de store lande ligner Frankrig og Spanien EU-25's gennemsnit meget med miljøtilpassede biomassepotentialer på ca. 12-13 % af landets bruttoenergiforbrug, mens der er relativt få ressourcer i Tyskland (8 %), Storbritannien (6 %) og til dels Italien (9 %).

Et enkelt land i EU skiller ud ved dels at have relativt store miljøtilpassede biomasseressourcer til energiformål, og dels være blandt de store lande, nemlig Polen. Det har i EEA's analy-

se biomasseenergiressourcer på ca. 1000 PJ/år (ca. 35 % af Polens bruttoenergiforbrug), stigende til ca. 1700 PJ/år i 2030.

### ***Well-to-Wheel effektivitet***

Når man skal vurdere de faktiske potentialer i biomasseressourcerne er det vigtigt at kende effektiviteten af den samlede energikæde fra ressource til forbrugsstedet (dvs. de drivende hjul mv.), både for biomasse-løsningen og for de løsninger man sammenligner med. Det er imidlertid ikke helt enkelt, idet der fx er biprodukter der måske/måske ikke nyttiggøres. Desuden er der, udover tabene ved de enkelte procestrin, som regel et forbrug af fossil energi og dermed CO<sub>2</sub>-udslip i forbindelse med forskellige hjælpeprocesser (fx ved gødning eller transport af ressourcer og brændstoffer). Begge aspekter belyses i de såkaldte "Well-to-Wheel"-analyser (W-t-W), der sætter beregnet fossil energi og CO<sub>2</sub>-emissioner i forhold til drivmidlets energiforbrug. W-t-W-analyser behandler således både forholdene ombord i transportmidlerne (kaldet "Tank-to-Wheel") og i det stationære energisystem ("Well-to-Tank"). Der er et meget stort antal tekniske løsninger og ofte vil teknologien ombord i køretøjet lægge begrænsninger på valgmulighederne, hvorfor man ikke kan adskille de stationære og mobile dele af analysen. Dertil kommer det teknologiske udviklingsperspektiv. Det er derfor et meget stort og uoverskueligt projekt at lave blot nogenlunde udtømmende W-T-W-analyser. Samtidig er det ofte svært at sammenligne analyserne på tværs pga. meget forskellige forudsætninger. På Europæisk niveau er der i EU-regi, med inddragelse af bil- og olieindustrierne, lavet en meget detaljeret, flere gange opdateret, W-t-W-analyse af feltet (Edwards et al 2006). Endvidere er (Wurster et al 2002), der er en europæisk udgave af et tidligere omfattende amerikansk studie på initiativ af General Motors. Der er lavet flere, større amerikanske studier siden midt i 1990'erne.

Energistyrelsen har som grundlag for regeringens beslutning om at forbeholde biomassen til stationære energiformål gennemført beregninger af specifikke omkostninger pr. tons reduceret CO<sub>2</sub>-udledning for initiativer både i og uden for transportsektoren. Det er disse beregninger der peger på at den bedste anvendelse af biomassen fra denne synsvinkel er i kraftvarmeanlæg, ikke mindst pga. at man her kan fortrænge kul med meget store CO<sub>2</sub>-udslip pr. energienhed.

### ***Resultater og konklusioner***

Både for Danmark og for EU som helhed gælder at selv hvis hele den biomasse der teoretisk dyrke på deres landområde blev udnyttet til energiformål ville det ikke være nok til at dække hele energiforbruget, og det er endnu mindre tilfældet med den biomasse der på miljømæssigt forsvarligt grundlag kan udnyttes. EU som helhed er stillet lidt dårligere end Danmark hvad angår biomassepotentialer set i forhold til bruttoenergiforbrug, og blandt de store lande er Tyskland og Storbritannien stillet væsentlig dårligere end Danmark. Blandt de store europæiske lande er det kun Polen der er stillet markant bedre end Danmark, og selv for Polen er der ikke tale om et overskud. På globalt niveau som helhed er der bedre muligheder for at få leveret biomasseressourcer, men også her gælder at der ikke er tale om ubegrænsede ressourcer i forhold til behov.

Det betyder at vurderingen af de forskellige biomasse-baserede brændstoffer bør inddrage ressourceaspektet og ikke bare konsekvenserne for miljø, økonomi mv. for den konkrete løsning. Et vigtigt aspekt er fleksibiliteten af den valgte energibærer: hvor mange primære energikilder kan den baseres på og med hvilke konsekvenser? Biobrændstoffer er normalt begrænset til biomasse (blandt de vedvarende energikilder) som udgangspunkt med mindre man

accepterer meget store konverteringstab. El- og brintkæderne er betydeligt mere fleksible, men brintkæden har normalt en dårligere energieffektivitet end el, specielt for visse løsninger (bl.a. flydende brint). Til gengæld har brinten funktionsmæssige fordele der gør at den kan foretrækkes i nogle situationer.

### **Referencer**

Bentsen, Niclas Scott et al (2006), "Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark". Center for Skov, Landskab og Planlægning, KVL, Frederiksberg.

Biofuels Research Advisory Council, "Biofuels in the European Union – a vision for 2030 and beyond". Bruxelles 2006.

Danmarks Statistik, Statistikbanken, statistikdata om landbrug mv.

Edwards, R. et al (2006), "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context: CONCAWE, EUCAR and the Joint Research Centre of the EU Commission, Ispra, Version 2b". URL: <http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.html>

Energistyrelsen (1990), "Vurdering af biomasse til energiforsyning. Baggrundsrapport nr. 5 til Energi 2000". , København.

Energistyrelsen (1996), "Danmarks vedvarende energiressourcer". København.

Energistyrelsen (2003). "Dokumentation for beregning af CO2-reduktionsomkostningerne ved anvendelse af biodiesel - revideret udgave". København, 8. december.

Energistyrelsen (2005), "Strategi for forskning og udvikling vedr. fremstilling af flydende biobrændstoffer". København, juni.

EU-Kommisionen (2006), "An EU strategy for biofuels" (COM 34/2006). Bruxelles 2006

European Environmental Agency (2006), "How much bioenergy can Europe produce without harming the environment" (EEA Report 7/2006). København

Fischer, G & L Schrattenholzer (2001), "Global bioenergy potentials through 2050", Biomass & Bioenergy Vol. 20, pp. 151-159.

Gerboni, Raffaella & Emanuele Bellerate (2006), "A comparison of vehicles life cycle energy consumption: conventional vs. fuel cell propulsion systems". 16<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference, 13.-16. juni, Lyon, Frankrig.

Gylling, Morten et al (2001), "Langsigtede biomasseressourcer til energiformål - mængder, omkostninger og markedets betingelser" (Rapport nr. 125). SJFI, Fødevarerministeriet, Frederiksberg.

Gylling, Morten et al (2004), "Trends and perspectives in bioenergy supply in Denmark", in: H. Larsen et al (eds), Risø Energy Report 2, New and emerging bioenergy technologies, Forskningscenter Risø, Roskilde.



Hougs Lind, Carsten (1994), "Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha - opgørelse og prognose". Forskningscenter for Skov og Landskab, Landbrugsministeriet, Lyngby.

IEA (2004), "Biofuels for transport – an international perspective". Paris

Jørgensen, Kaj (1998): *Transport and Sustainability - with Special Emphasis on Grocery Distribution*. Rapport R-028, Institut for Bygninger og Energi, DTU, Lyngby.

Jørgensen, Kaj & Jesper Gundermann (1983), "Energiforsyning i en landkommune". Fysisk Laboratorium III, DTU, Lyngby.

Kavalov, Boyan (2004), "Biofuel potentials in the EU" (Report EUR 21012). Institute for Prospective Technology Studies, European Commission, January.

Kavalov, Boyan et al (2003), "Biofuel production potential of EU-Candidate countries" (Report EUR 20835). Institute for Prospective Technology Studies, European Commission, January

Nord-Larsen, Thomas & Niels Heding (2003), "Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha - opgørelse og prognose 2002". Dansk Skovbrugs Tidsskrift Vol. 87, No. 1, p. 1-72.

Nord-Larsen, Thomas & B Talbot (2004), "Assessment of forest-fuel resources in Denmark: technical and economical availability". Biomass & Bioenergy Vol. 27, pp. 97-109.

Smeets, E. et al (2004), "A quickscan of global bioenergy potentials to 2050. Report NWS-E-2004-109". Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Utrecht March 2004.

Sørensen, Bent (2004). "Renewable Energy – its physics, engineering, environmental impacts, economics and planning. Second edition". Elsevier Academic Press, London.

Sørensen, Bent et al (2001), "Scenarier for samlet udnyttelse af brint som energibærer i Danmarks fremtidige energisystem. Slutrapport" (IMFUFA-tekster 390). RUC, Roskilde. Rapporten kan ses på: <http://mmf.ruc.dk/energy>

Teknologirådet (2006), "Grøn transport – kan vi, og vil vi?. Resumé og redigeret udskrift af høring i Folketinget den 5. april 2006" (Teknologirådets rapporter 2006/6). København.

Wakker, A. et al (2005), "Biofuel and bioenergy implementation scenarios - Final report of the VIEWLS WP5". November URL: [http://gave.novem.nl/novem\\_2005/index.asp?id=8](http://gave.novem.nl/novem_2005/index.asp?id=8)

World Energy Council (2001), "2001 Survey of world energy sources". WEC, London.

Wurster, Reinhold et al (2002), "GM Well-to-Wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems – a European study". Ottobrun, Tyskland.