

NJF Kongressen 1999, Sammenligning av ulike produksjonssystem, onsdag 30. juli kl. 8.30 - 12.00

## ENERGIFORBRUG I FORSKELLIGE DYRKNINGSSYSTEMER

*Niels Halberg, Karen Refsgaard & Tommy Dalgaard*

Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Jordbrugssystemer, Forskningscenter Foulum, Postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 0045 89 99 12 06.

[Niels.Halberg@agrsci.dk](mailto:Niels.Halberg@agrsci.dk)

### *Abstract*

Energiforbruget i jordbrugsproduktionen er interessant både fra et ressource synspunkt og fordi udledningen af CO<sub>2</sub> fra forbrænding af fossil energi bidrager til drivhuseffekten. Både i målsætningerne for den danske Landsforening for økologisk jordbrug (LØJ) og i landboorganisationernes oplæg til Godt landmandsskab år 2000 indgår desuden indgår mål om at reducere forbruget af fossil energi og få den bedst mulige energiudnyttelse. Ved en kombination af studier i økologiske og konventionelle kvægbrug og brug af standardværdier for dieselforbrug til de enkelte markoperationer er der opstillet modeller for energiforbruget i mark og stald. I energiregnskaberne indgår både **det direkte (diesel + el) og det indirekte energiforbrug (f.eks. energi medgået til produktion af den anvendte gødning)**. Modellerne viste at dieselforbruget per ha er næsten ens i økologisk og konventionel produktion. Det ekstra dieselforbrug til ukrudtsharvning i de økologiske afgrøder opvejes stort set af dieselforbrug til udkørsel af handelsgødning og pesticider i de konventionelle afgrøder. I konventionel produktion udgjorde gødningsforbruget en stor del af energiforbruget, hvorfor energiforbruget per kg korn var henholdsvis 6, 15 og 18% lavere i økologisk produktion på vandet sandjord, lerjord og uvandet sandjord. Energiforbruget per FE græs var tilsvarende 41, 66 og 68 % lavere i økologisk produktion på de tre jordtyper. Udbyttet i økologisk produktion var 15-30% lavere, hvorfor denne produktionsform beslaglægger et større areal til produktion af en given mængde korn og mælk. Dette forhold bør tages i betragtning ved vurdering af energieffektiviteten i de to produktionssystemer, f.eks. ved at modregne den potentielle nettoenergiproduktion på det overskydende areal i konventionel produktion. Jordbrugets samlede udledning af drivhusgasser ville formentlig kunne reduceres med op til 13% regnet i CO<sub>2</sub> ækvivalenter ved omlægning til økologisk produktion med fastholdelse af den nuværende animalske produktion.

### *Indledning*

Det moderne landbrug bruger store mængder fossil energi, og den store stigning i arbejdsproduktivitet, der skete igennem et par generationer, er bl.a. muliggjort ved indførelsen af energiintensive produktionsmetoder. Energien bruges både direkte i produktionen i form af el og diesel og indirekte i form af hjælpestoffer som gødning og kraftfoder. Landbrugets direkte energiforbrug i form af el og brændstof i selve primærproduktionen udgjorde i 1991-96 ca. 4% af Danmarks

samlede bruttoenergiforbrug. Hertil bør imidlertid tillægges energi brugt til fremstilling og transport af hjælpestoffer såsom foderstoffer, kalk, handelsgødning og pesticider samt forbruget af energi til udenlandsk produktion og forarbejdning af fodermidler. I 1982/83 blev det indirekte energiforbrug beregnet til at udgøre 68% af det totale energiforbrug i primærproduktionen, dvs. over dobbelt så stort som det direkte forbrug. Samlet set er landbrugets energiforbrug og den medfølgende CO<sub>2</sub> frigivelse derfor af en vis betydning. Energiforbruget i jordbrugsproduktionen er interessant både fra et ressource synspunkt og fordi udledningen af CO<sub>2</sub> fra forbrænding af fossil energi bidrager til drivhuseffekten. Dertil kommer, at jordbruget i princippet kunne være selvforsynende med energi gennem binding af solens energiindstråling i biomasse, konsekvenserne ville imidlertid være en betydelig reduceret produktion. Både i målsætningerne for den danske Landsforening for økologisk jordbrug (LØJ) og i landboorganisationernes oplæg til Godt landmandsskab år 2000 indgår desuden mål om at reducere forbruget af fossil energi og få den bedst mulige energiudnyttelse. Det har derfor været diskuteret, hvorvidt økologisk jordbrug reelt er mindre energikrævende end konventionelt eller om den øgede brug af f.eks. mekanisk ukrudtskontrol forøger energiforbruget sammenlignet med konventionelt jordbrug.

Uanset hvilket motiv man måtte have for at interessere sig for jordbrugets energiforbrug er det imidlertid nødvendigt at afgrænse sig med hensyn til hvilke indirekte energiposter, som skal medregnes i energiforbruget. Problemstillingen for analysen er afgørende for, hvad som skal inkluderes, og hvad energiforbruget skal sættes i forhold til. Vil man f.eks. udtrykke det i MJ per ha, per produceret enhed eller per MJ metabolisk energi som i en input-output balance? I det følgende gennemgås nogle sammenlignende analyser af energiforbruget per kg korn og mælk m.m. i konventionelt og økologisk jordbrug baseret på empiri og modelsimuleringer.

Derefter diskuteres de principielle overvejelser og grundlaget for forskellige opgørelsesmetoder især ved sammenlignende analyser. Forskellenes størrelse perspektiveres ved sammenligning af CO<sub>2</sub> udslip i forskellige produktionssystemer.

### *Energiforbrug i afgrødeproduktionen*

Refsgaard et al. (1998) modellerede energiforbruget i afgrøderne på 31 kvægbedrifter ved en statistisk behandling af indsats og udbytter i 1990-92. I tabel 1 og 2 er vist de modellerede energiomkostninger i MJ per kg korn og per FE græs under økologisk og konventionel drift på tre jordtyper. Detaljer vedr. standardværdier for energi pr. kg gødning og foder samt for maskiner, bygninger og inventar fremgår af Refsgaard et al. (1998) og Dalgaard et al. (1998), hvortil der også henvises for referencer til den internationale litteratur. Det forventede dieselforbrug blev beregnet ud fra en kombination af forventede og registrerede markoperationer og standardværdier for hver operation fundet i eksperimentelle undersøgelser. Det totale forventede årlige dieselforbrug per bedrift blev sammenlignet med det registrerede dieselforbrug -fratrasket evt. privatforbrug mm. I gennemsnit var bedrifternes dieselforbrug 47% højere end forventet ud fra standardværdierne og der var ingen systematisk forskel på størrelsen af denne uforklarede rest mellem jordtyper eller produktionssystemer. Derfor blev det forventede dieselforbrug i de forskellige afgrøder korrigeret med en fælles faktor for at kunne tilsvare det totale registrerede dieselforbrug ("Diesel, uforklaret" i Tabel 1 og 2). Mulige forklaringer på at dieselforbruget var højere end forventet fra standardværdier er at jordbehandling i praksis ikke altid udføres på optimale tidspunkter pga. tids- og arbejdspress. At maskinerne ikke er lige så godt vedligeholdt på kvægbrugene som de maskiner, der er indgået estimeringen af standardværdier. Endelig at dieselforbruget til håndtering af foder og halm i siloanlæg og stalde er underestimeret i modellerne.

**TABEL 1. ENERGIFORBRUG (MJ/HA) I ØKOLOGISK OG KONVENTIONEL VÅRSÆD**

	SANDJORD		VANDET SAND		LERJORD	
	ØKO	KONV	ØKO	KONV	ØKO	KONV
EL, VANDING OG TØRRING	195	246	2210	2289	239	311
DIESEL, HUSDYRGØDNING	611	521	611	521	611	521
ETABLERING OG PLANTEBESKYTTELSE	1399	1568	1399	1568	1399	1568
HØST OG TRANSPORT	577	577	577	577	577	577
DIESEL, UFORKLARET	1170	1208	1170	1208	1170	1208
SUM, DIREKTE ENERGI	3952	4120	5967	6163	3996	4185
UDSÆD	459	358	459	358	459	358
HANDELSGØDNING		3272		3272		3272
PESTICIDER		218		218		218
KALK OG UDSPREDNING	150	150	150	150	150	150
AFSKRIVNING MASKINER	1968	1936	1968	1936	1968	1936
SUM, INDIREKTE ENERGI	2577	5934	2577	5934	2577	5934
ENERGIFORBRUG IALT	6529	10054	8544	12097	6573	10119
UDBYTTE, KG	2700	3400	3300	4400	3300	4300
ENERGIPRIS, MJ/KG	2,4	3,0	2,6	2,7	2,0	2,4
FORSKEL I %	18		6		15	

For begge afgrøder var energiforbruget pr. kg hhv. FE lavest i det økologiske system, mens forskellen mellem systemerne var mindst i korn. Forskellen i dieselforbrug til etablering og plantebeskyttelse er relativt lille i modellerne. Forskellene i antal overkørsler med hhv. ukrudtsharve og gødningsspreder/sprøjte imellem de to systemer giver kun ubetydelige forskelle i dieselforbrug per ha. Dieselforbruget til ukrudtsharvning er ifølge standardtal kun 2-4 l/ha per overkørsel, mens en gødningsspredning koster 1,5-2 l diesel/ha og en pløjning 20-24 l/ha.

Forskellen i energiforbrug per kg hhv. FE var mindst på vandet sandjord i begge afgrøder, idet energiforbruget ved vanding var det samme i begge systemer. Effekten af vanding på udbyttet er større for korn end for græs, hvilket kan have sammenhæng med, at græs har kompensatorisk vækst. For de konventionelle afgrøder er handelsgødningen en væsentlig energiomkostning, som imidlertid relativt let vil kunne reduceres, hvorved forskellen mellem systemerne bliver mindre.

**TABEL 2. ENERGIFORBRUG (MJ/HA) I ØKOLOGISK OG KONVENTIONEL KLØVERGRÆS (51% UDB. HØSTET/ENSILERET)**

	SANDJORD		VANDET SAND		LERJORD	
	ØKO	KONV	ØKO	KONV	ØKO	KONV
EL, VANDING			5824	5824		
DIESEL, HUSDYRGØDNING	425	168	425	168	425	168
ETABLERING	137	322	137	322	137	322
HØST OG TRANSPORT	1656	1911	1877	2261	1942	2196
DIESEL, UFORKLARET	236	345	251	367	255	363
SUM, DIREKTE ENERGI	2454	2746	8514	8942	2759	3049
UDSÆD	94	65	65	65	94	65
HANDELSGØDNING		9254		9650		9128
PESTICIDER		72		72		72
KALK OG UDSPREDNING	150	150	150	150	150	150
AFSKRIVNING MASKINER	1134	1381	1134	1381	1134	1381
SUM, INDIREKTE ENERGI	1378	10922	1349	11318	1378	10796
ENERGIFORBRUG IALT	3832	13668	9863	20260	4137	13845
UDBYTTE, FE	5200	6000	5900	7100	6100	6900
ENERGIPRIS, MJ/FE	0,7	2,3	1,7	2,9	0,7	2,0
FORSKEL I %	68		41		66	

Følsomhedsanalyser vist i Refsgaard et al. (1998) antyder således, at der især på vandet sandjord vil kunne findes kornafgrøder med tilførsel af en mindre mængde handelsgødning, som vil have en højere energieffektivitet end de her viste systemer. Formentlig gælder dette ikke for korn på lerjord eller i grovfoderafgrøderne, hvor forskellene i energieffektivitet mellem konventionel og økologisk produktion var større.

### *Energiforbrug i mælkeproduktionen*

De viste afgrødemodeller blev i Refsgaard et al. (1998) suppleret med modeller for sædskifte og fodring i økologisk og konventionel mælkeproduktion og anvendt til simulering af energiforbruget per kg mælk. Ifølge disse modeller var energiforbruget henholdsvis 2,7 og 3,3 MJ per kg mælk i økologisk og konventionel produktion på vandet sandjord ved antagelser om sædskifte og foderforbrug som i økologisk produktion. På lerjord og uvandet sandjord var den forventede forskel mellem økologisk og konventionel mælkeproduktion større end på vandet sandjord. Ved en for konventionelle gårde mere typisk foderration og sædskifte (mere kraftfoder og mindre græs end på økologiske) var forskellen større (2,7 vs. 3,6 MJ/kg mælk på vandet sandjord), hvilket stemmer overens med nyere tal beregnet for 15 kvægbedrifter over tre år (Halberg, 1999). Halberg (1999) fandt desuden at energiforbruget per kg mælk varierede mere mellem bedrifterne end mellem år på den samme bedrift. Derimod var der en stor årsvariation

indenfor samme bedrift i energiforbruget per kg korn som følge af forskelle i vandingsbehov i de tre sæsoner.

Eftersom afgrødemodellerne i Refsgaard et al. (1998) blev brugt til beregning af energiforbruget på kvægbrug hvor de fleste afgrøder opfodres, var det ikke afgørende for resultaterne, at den uforklarede rest blev fordelt proportionalt mellem afgrøderne. Imidlertid er det sandsynligt at dieselforbruget herved blev overvurderet i kornafgrøder, såfremt en betydelig del af den uforklarede rest skyldes håndtering af grovfoder mv. Derfor er der behov for bedre modeller til sammenligning af energieffektiviteten i salgsafgrøder, og til brug ved evaluering af forskellige sædskifter og foderplaner på kvægbrug.

### *Energiforbrug og CO<sub>2</sub> udslip*

Dalgaard et al. (1999) opstillede på baggrund af yderligere undersøgelser en forbedret model for dieselforbruget i mark og stald til brug for beregning af det samlede energiforbrug og CO<sub>2</sub> udledning før og efter en 100% omlægning til økologisk jordbrug. I denne forbindelse beregnedes et forventet totalt dieselforbrug for dansk landbrug før og efter omlægning ved at multiplicere afgrødemodellerne med arealfordelingen efter Mikkelsen et al. (1999). Det forventede dieselforbrug i nuscenariet var i god overensstemmelse med Danmarks Statistiks opgørelser af landbrugets dieselforbrug, hvorfor det antages at modellerne repræsenterer gennemsnitlig praksis. Dalgaard et al.'s modeller inkluderer forbrug af hjælpestoffer ifølge Mikkelsen et al. (1999) hvilket er lidt lavere end i Refsgaard et al. (1998), hvilket bl.a. afspejler en ændret driftspraksis fra 1992 til 1997. Modellerne i Dalgaard et al. (1999) viser imidlertid også et lavere energiforbrug per kg korn og per FE grovfoder i de økologiske afgrøder sammenlignet med de konventionelle. I et arealkorrigeret gennemsnit over de dominerende danske jordtyper er det modellerede energiforbrug i økologisk dyrket kløvergræs, korn og foderroer henholdsvis 35, 50 og 65% af forbruget i de konventionelle afgrøder. Dieselforbruget per ha er ifølge modellerne omtrent ens i de to systemer.

I et scenarie hvor den nuværende animalske produktion opretholdes men som 100% økologisk vil energiforbruget mindskes med mellem 9 og 16% og CO<sub>2</sub> udledningen vil mindskes tilsvarende. Dertil kommer et fald i udledningen af lattergas og metan således at den samlede reduktion i CO<sub>2</sub> ækvivalenter antages at være i størrelsesordenen 8-13%. I scenarier, hvor den animalske produktion mindskes samtidigt med omlægning til økologisk produktion, er det beregnede fald i udledningen af drivhusgasser fra jordbruget på op til 34% regnet i CO<sub>2</sub> ækvivalenter. CO<sub>2</sub> udgør både i det konventionelle og det økologiske scenarier ca. 1/3 af udledningen af drivhusgasser. Reduktioner i jordbrugets udledning af drivhusgasser af mindst samme størrelsesorden som de nævnte kunne formentlig også opnås ved fortsat konventionel drift gennem øget brug af halm og andre afgrøder til energiproduktion.

### *Problemer ved sammenligning af energiforbruget i jordbrugssystemer*

Det er i princippet lige meget, hvor den fossile energi afbrændes, hvis den i sidste ende bruges for at producere et kilo agurker, korn, mælk eller kød. Derfor bør opgørelsen af det samlede energiforbrug inkludere både **det direkte (diesel + el) og det indirekte energiforbrug (f.eks. energi medgået til produktion af den anvendte gødning)**. Summen af disse poster er en målestok for produktionens afhængighed af ikke fornyelige energikilder. Dette giver et afgrænsningsproblem, idet man altid vil kunne gå et trin tilbage i en produktionsproces og spørge: Hvilken energi blev brugt til at fremstille de maskiner, som blev brugt til at fremstille en anden maskine, som bruges til at producere et hjælpemiddel, der i sidste ende forbruges på en gård?

Imidlertid vil over 90% af energiforbruget ved fremstilling af de fleste hjælpestoffer til landbruget (inkl. transport mv.) sandsynligvis ligge i de to sidste led af produktionsprocessen, hvorfor den uendelige regress stoppes ét trin tilbage fra gården. Derfor medregnes energi til fremstilling af handelsgødning og traktorer men ikke energi til fremstilling af fabriksinventaret på gødnings- og maskinfabrikkerne.

Energiforbruget kan i princippet enten sættes i forhold til produkternes omsættelige energi for mennesker (energiforholdet) eller opgøres pr. produceret enhed (energiintensitet, energieffektivitet). Ud fra en stringent energimæssig betragtning, hvor målet kunne være at producere en givet mængde omsættelig energi til mennesker med den mindst mulige tæring på ikke-fornyelige ressourcer, ville en beregning af energiforholdet være den mest relevante. F.eks. kunne den enkelte forbruger spare energi ved at erstatte forbruget af kød, som har et højt energiforbrug pr. MJ omsættelig energi med andre proteinkilder såsom tørrede bønner med et bedre energiforhold.

Hele fundamentet for moderne fødevarerproduktion i den rige del af verden bygger imidlertid på rige og frie menneskers efterspørgsel efter varer, som kan dække en bred vifte af præferencer og ikke blot nogle ernæringsmæssige behov. Dette gælder i særdeleshed den intensive danske husdyrproduktion, som delvist bygger på import af energi- og proteinrige fodermidler. Det kan derfor være af interesse at kunne sammenligne energiforbruget til den samme vare under forskellige produktionsformer. Derfor er det her valgt at vise energiforbruget pr. produceret enhed. Dette udelukker imidlertid ikke, at produkternes energiindhold kan sættes i forhold til forbruget af fossil energi, hvis dette er interessant i andre situationer.

Ved sammenligning af økologiske og konventionelle produktionssystemer og deres eksternaliteter er det imidlertid et velkendt problem, at der ofte er forskel både i sammensætningen af produkter og i udbytterne per ha og dyr. Derfor er en simpel sammenligning af f.eks. energiforbruget i de enkelte produktionsgrene ikke tilstrækkelig. Energieffektiviteten i afgrøde- og husdyrproduktionen må derfor bestemmes ud fra en helhedsbetragtning på bedriftsniveau og både det indirekte og det direkte energiforbrug skal tælles med. Dette er forsøgt illustreret med eksempler fra mælkeproduktion. Den samme tankegang kan imidlertid give anledning til at vurdere energieffektiviteten i primærproduktionen på et højere niveau, f.eks. regionalt eller nationalt. Her er det især vigtigt at gøre sig klart, at land er den begrænsende faktor i bestræbelserne på at fastholde mest mulig solenergi via fotosyntesen i planterne. Derfor er det ikke ligegyldigt, hvor store udbytter der høstes på et givet areal. I eksemplet ovenfor blev det vist at energiforbruget pr. foderenhed og pr. kg mælk var lavere under økologisk produktion end under konventionel. Men udbytterne i marken var også lavere, hvorfor der skal et større areal til at producere en given mælkemængde i det økologiske system. Foreløbige beregninger antyder således, at hvis denne forskel i arealkrav blev indregnet som energiafgrøder, der modregnes i de konventionelle bedrifters energiforbrug, ville dette opveje forskellen i energiforbruget ved en given mælkemængde (Dalgaard et al. in prep.). Der er dog vanskeligheder med at indregne forskellen i indkøbt kraftfoder i de to systemer, hvorfor der er behov for yderligere overvejelser og beregninger.

I beregningerne af CO<sub>2</sub> belastningen fra økologisk vs. konventionel produktion på nationalt plan er forskellen i udbytte per ha forsøgt indregnet ved at modregne en korneksport i det konventionelle scenarie i energiforbruget til importeret foder. Der er mere principielt behov for at foretage scenariestudier over muligheden for at kombinere energiafgrøder med anden landbrugsproduktion for bl.a. at kunne vurdere mulighederne for at øge selvforsyningsgraden med energi i landbruget set på regionalt eller nationalt plan.

## *Konklusion*

Dieselforbruget per ha til en given afgrøde er af samme størrelsesorden i konventionel og økologisk produktion. Indsatsen af handelsgødning i de konventionelle afgrøder udgør mellem x og 60 % af det samlede energiforbrug per ha og er hovedårsagen til det højere energiforbrug per kg korn og per FE i forhold til økologisk dyrkede afgrøder. Forskellen er mindst på vandet sandjord hvor energiforbruget til vanding belaster de økologiske afgrøders energieffektivitet relativt mere end i de konventionelle pga. det lavere udbytte. Modellering af energiforbruget i forhold til indsatsen af hjælpestoffer tyder på at konventionelle kornafgrøder med en lav indsats af handelsgødning vil kunne være mere energi-effektive end de nuværende konventionelle og økologiske afgrøder især på vandet sandjord.

## *Referencer*

- Dalgaard, T. et al. 1998: Forbrug af fossil energi og udledning af drifhusgasser. Delrapport A.3.2 om Miljø- og sundhedsmæssige konsekvenser af 100% omlægning til økologisk jordbrug i Danmark. Forskningscenter for Økologisk Jordbrug. 55 pp.
- Halberg, N. 1999: Indicators of resource use and environmental impact to be used in an ethical account for a livestock farm. *Agriculture, Ecosystems & Environmental*. Accepted.
- Mikkelsen, G. et al. 1998: Sædskiftemodeller som grundlag for vurdering af produktion af økonomi ved nuværende og ingen anvendelse af pesticider. Rapport til Bicheludvalget. DJF.
- Refsgaard, K. et al. 1998: Energy utilisation in crop production on organic and conventional livestock farms. *Agricultural Systems* (57) 599-630.