

Energiutnytting som mål for virkning av produksjonsfaktorer i jordbruket

Av Arnor Njøs.

Innledning.

De senere årene har to ord gått igjen i diskusjonen om jordbrukets rolle i samfunnet. Disse to ordene er energi og ressurser. Det siste ordet har etter hvert blitt slitt og overbrukt. Før 1960—70 brukte vi begreper som råstoffer, evner, kunnskap, tilganger, verdier, midler, kapital. I dag er det bare snakk om ressurser. Sosionomer og sosialpolitikere snakker om ressurssterke personer (klienter) og mener folk med en viss minstemengde av evner, fysisk helse og viljestyrke, kort sagt folk som betaler skatt! Hvorfor ikke si det, da? Det andre ordet, energi, er det vanskelig å greie seg uten, fordi det har en bestemt fysisk mening. I termodynamikken blir energi forklart som «den egenskap hos et system som avtar når systemet gjør arbeid på omgivelsene», eller «evne til å utføre arbeid». Energi måles i joule (J), newtonmeter (Nm), wattsekund (Ws). $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$. Videre er $1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$.

Disse enhetene er svært små. Derfor bruker vi forstavelsene kilo (k), mega (M), giga (G), tera (T), osv. for å markere større mengder av energi.

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} = 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 1\,000\,000 \text{ J} = 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ GJ} = 1\,000\,000\,000 \text{ J} = 10^9 \text{ J}$$

$$1 \text{ TJ} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ J} = 10^{12} \text{ J}$$

Mega betyr million, giga milliard osv. Dessuten har vi den nyttige enheten kilowatt-time (kWh).

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ watt} \cdot 3600 \text{ sekunder} = 3\,600\,000 \text{ W s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

En praktisk enhet er 1 kg oljeekvivalent (oe). $1 \text{ kg oe} = 42,3 \text{ MJ} = 11,6 \text{ kWh} = 10\,100 \text{ kcal}$. Her er det regnet med dieselolje.

I dette århundret har oljen etter hvert

blitt en dominerende energibærer i de vestlige land. Oljen har langt på vei blitt betraktet som et fritt gode, som kunne tas direkte ut fra et stort lager. Den har vært så billig at enkelte land har finansiert et økt offentlig forbruk ved å legge avgifter på den.

Denne tilstanden ble raskt endret i løpet av 1970-årene. Om vi ser tilbake, vil vi oppdage at prisen på fyringsolje har steget til det 8-dobbelte fra midten av 1960-årene. Kan denne raske prisstigningen fortsette? Neppe, for hittil har ikke noe tre vokst inn i himmelen. Loven om etterspørsel og tilbud gjelder nok også i energisektoren. Oljeprisen vil nærme seg et tak som er prisen på alternative energibærere: kull, etanol fra sukker, brenselolje fra oljevekster, olje fra oljeskifer, og ikke minst kjerneenergi, som er konkurransedyktig, men gir politiske problemer.

— Det er temmelig opplagt at det må bli slutt på å legge avgifter på olje, særlig i et land der transport er av så stor betydning som i Norge.

— Også i matsektoren vil de store endringene i oljeprisene slå inn. I det norske jordbruket sank andelen av planteprodukter til mat fra 33 % i 1949 til 22 % i 1979, mens andelen av husdyrprodukter økte fra 67 til 78 % i samme tidsrom (NLVF-utredning nr. 111, 1980). Det er ikke trolig at denne utviklingen kan fortsette. Med stigende energipris blir det økende interesse for dyrking av energiplanter. Dermed blir det konkurranse om åkerarealene i eksportlandene. Dette vil så resultere i mindre mengder og dyrere import av kraftfôr. En må vente stigende og ustabile kornpriser fordi overskuddslagrene etter hvert vil bli borte. Under slike forhold kan

et land som Norge opprettholde høyt forbruk av husdyrprodukter ved hjelp av forbrukerstøtte, f.eks. til kjøtt.

— Men vi bør i det minste være interessert i å se på hele matsektoren i forhold til stigende energipriser. Der-

med er det også av betydning å vurdere energiutnyttningen i ulike biologiske produksjoner. Se tabell 1. Virkningsgraden er forholdstallet mellom omsettbare energi i produktet og hjelpeenergi som har gått med i produksjonen.

Tabell 1. Virkningsgrader (energikvoter)

Produksjon	Virkningsgrad	Forfatter
<i>Jordbruk, planteproduksjon</i>		
Bygg, England	2,4	Leach 1976
Sukkerbete, England	4,2	» »
Mais, USA	2,6	Pimentel et al 1973
Poteter, Storbritannia	1,6	Leach 1976
Hvete, Storbritannia	3,4	» »
<i>Jordbruk, husdyrproduksjon</i>		
Melk, komb. m. kjøtt	0,14—0,20	Bickel 1978
Melk, ku	0,37	Leach 1976
Kjøtt, storfe	0,07	Bickel 1978
Kjøtt, storfe	0,23	ARC 1974
Kjøtt, svin	0,28	Bickel 1978
Kjøtt, broiler	0,10	Leach 1976
Egg	0,14	» »
<i>Hagebruk</i>		
Gulrot, England	1,1	Leach 1976
Rosenkål, England	0,2	» »
Veksthussalat, England	0,002	» »
<i>Skogbruk</i>		
Skogbruk, Sverige	45	Renborg & Uhlin 1975
<i>Fiske</i>		
Fiske, Adriaterhavet	0,01	Leach 1975
Alt fiske, Storbritannia	0,05	» »
Kystfiske, sjark, skøyte	0,4—0,6	Lorentzen 1978
<i>Encelleprotein</i>		
ved produksjon av svinekjøtt	0,017	Opsahl m. fl. 1975
ved produksjon av egg	0,020	» » »

Energiutnyttning.

For termodynamiske prosesser brukes uttrykket virkningsgrad om forholdet

mellom nyttbar energi = arbeid, og innsett energi

$$\text{Virkningsgrad} = \frac{\text{Arbeid}}{\text{Innsatt energi}} \quad (1)$$

I landbruket kan det også opereres med en virkningsgrad.

$$e = \frac{\text{Energi i produkt}}{\text{Energi til framstilling av produkt}} \quad (2)$$

Enkelte kaller dette forholdstallet for energikvote.

I planteproduksjonen er det vanlig å bruke uttrykket hjelpeenergi om nevnenen i (2), fordi solenergien ikke blir tatt med i beregningen. Hvis det skal dyrkes energiplanter, f.eks. raps til brenselolje eller sukkerbete til etanol, vil det være forbrenningsenergien i produktet som går inn i telleren. Vi kan i det tilfellet

bruke $e = 1,0$ som et optimalpunkt. Så lenge e er større enn 1,0 vil vi få mer energi ut enn den hjelpeenergi som blir satt inn i produksjonen.

Hvis produktet skal brukes til mat eller fôr, vil ikke forbrenningsenergien, men den omsettbare energien, gå inn i telleren

$$e = \frac{\text{Omsettbare energi i produkt}}{\text{Hjelpeenergi til framstilling av produkt}} \quad (3)$$

Prinsipielt er det ikke noen stor forskjell på (2) og (3), og vi kan også her se på $e = 1,0$ som et interessant punkt m.h.t. forbruket av hjelpeenergi. Termodynamisk er likheten slående, men økonomisk-praktisk vil selvsagt mat og dieselolje alltid bli to ulike størrelser. Vi har hittil satt en helt annen pris på mat og fôr enn på olje og N-gjødsel.

Virkningsgraden eller energikvoten er ikke et fullgodt mål for energiutnyttning i jordbruket. I et tilfelle hvor vi kan velge mellom to alternativer, vil imidlertid virkningsgraden gi verdifulle opplysninger. Et svært enkelt eksempel er valg mellom å bruke et areal til planteprodukter for mat eller å bruke det samme arealet til fôr som igjen kan gi husdyrprodukter for mat. Hvis vi forutsetter matkornproduksjonen med $e = 2,0$ og husdyrproduksjon med $e = 0,25$, kan vi si at «ett dekar jord til matkorn er like mye verd som 8 dekar jord til gras». Har vi ikke alternativet matkorn, kan vi se det slik at i et land med liten selvforsyningsgrad er alle tilskudd til matproduksjonen av betydning, også de som produseres i fjellområdene og langt mot nord. I en stor del av de høyereliggende og nordlige områ-

dene vil det være mulig å produsere en del vekster som kan brukes direkte til mat. Av disse vekstene er poteten av særlig stor betydning. Vi bør heller ikke se bort fra at det er dagens økonomi og teknologi som har flyttet kornproduksjonen sydover og nedover. Vi bør derfor utarbeide en beredskapsteknologi for dyrking av matvekster i nordlige og høyereliggende områder i landet. Det vil likevel bli tilbake enkelte rene fôrdyringsområder som må utnyttes via husdyrene.

Indirekte kan energivirkningsgraden brukes til å klassifisere jordbruksarealer. Det er valgfriheten med hensyn til vekster og driftsmåter som blir det bærende prinsippet i denne dyrkingsklassifikasjonen. Spektret vil gå fra matkorn/grønnsaker/sukkerbeter over fôr-korn/poteter til ren grasdyrking. En dyrkingsklassifikasjon vil ha to grunnlag, 1) klima-, terreng- og jordkvalitet og 2) teknologi og økonomi.

Energiutnyttning for de enkelte innsatsfaktorer.

Virkningsgraden, eller energikvoten, kan gi et verdifullt bidrag til vurdering av de enkelte innsatsfaktorer. I det

minste kan vi beregne et grenseområde der videre innsats er diskutabel. Vi kan sette opp følgende formel for én enkelt innsatsfaktor, f.eks. gjødsel

$$e_f = \frac{\Delta EP}{\Delta EH_f} \quad (4)$$

e_f = virkningsgrad av faktor f
 ΔEP = tilvekst i produkt-energi
 ΔEH_f = tilvekst i hjelpeenergi ved bruk av faktor f

Vi kan altså kalle e_f en faktorvirkningsgrad. Dersom $e_f = 1,0$ vil det bety at den sist innsatte enheten av f har gitt akkurat like mye energi i merprodukt som økningen i hjelpeenergi ved den økte innsatsen av f.

1 kg N	— 65	MJ, eller
1 kg P	— 16—26	MJ,
1 kg K	— 9	MJ,
1 kg kalk	— 1	MJ,

De laveste tallene for P svarer til P i fullgjødsel (utnytting av salpetersyre til oppslutning) mens de høyeste svarer til P i fosfatgjødsel.

I 1977 var Norges primære energiforbruk ca. 700 PJ (1 PJ = 1 petajoule = 10^{15} J) eller ca. 17 millioner tonn oljeekvivalenter. Samme år var forbruket av nitrogen i kunstgjødsel 94 143 tonn som tilsvarer 6,2 PJ eller 0,89 % av det primære energiforbruket. Hvis det primære energiforbruket korrigeres for omdanningstap, utgjør forbruket til N-produksjon 1,04 %. Det er derfor ikke mye feil å si at N i kunstgjødsel representerer rundt 1 % av Norges samlede energibruk. Ser vi så på jordbrukets samlede energibruk til matproduksjon var det 4,9 % i 1979 (NLVF-utredning 111, 1980). I 1949 brukte jordbruket 6,7 % av den totale energimengden.

Energiforbruk ved produksjon av kunstgjødsel.

Bruken av kunstgjødsel har vært sterkt kritisert av amatørøkologer og andre med klare oppfatninger om hvordan jordbruket skal drives. Det er av og til en får inntrykk av at jordbruket er et gigantisk feilskjær for menneskeheten. Vi burde visst ha holdt oss til jeger- og samlerstadiet. Det hadde vært en løsning, men i Norge ville det neppe ha gitt levevei for mer enn 10 000—20 000 mennesker. Det rare er at en kan få inntrykk av at denne elitegruppen skulle ha tid og råd til å studere, bo i hus, se på naturreportasjer i TV, kanskje ha en sykkel, eller til og med en bil, eller i hvert fall en brukt folkevogn.

I NLVF-utredning nr. 111 (1980) er det oppgitt energi-ekvivalenter for en del driftsmidler:

1,6	kg oljeekvivalenter
0,4—0,6	kg —»—
0,2	kg —»—
0,025	kg —»—

Nitrogengjødsel er etter dette en svært viktig innsatsfaktor, og det er naturlig å se nærmere på utnyttingsgraden for nitrogen i planteproduksjonen.

Hvordan kan vi måle energiutnytting for N-gjødsel? Vi kan definere en energi-virkningsgrad for N-gjødsel:

$$e_N = \frac{k \cdot \Delta A}{h \cdot \Delta N} \quad (5)$$

hvor e_N = energi-virkningsgrad for N

k = innhold av omsettbar energi pr. kg avling

ΔA = meravling, kg

h = hjelpeenergi pr. kg nitrogen i N-gjødsel

ΔN = mergjødsling, kg nitrogen

Formelen kan brukes for alle plante-

produkter. Verdien av k vil avhenge av hvordan avlingen brukes. Det vil være forskjellig k for mat og fôr og k-verdien kan variere mellom ulike husdyrproduksjoner for samme planteslag.

En tilsvarende formel kan brukes for andre innsatsfaktorer. Den virkningsgraden vi nå snakker om, er en faktorvirkningsgrad, og vi bruker en såkalt marginal betraktningmåte.

En faktor-virkningsgrad på 1,0 vil si at den siste innsatte enheten hjelpeenergi for vedkommende faktor gir én enhet omsettbart energi i avling. Dette kan vi kalle et energimessig optimalpunkt for vedkommende innsatsfaktor. Fordelen med å bruke et slikt mål er at det er uavhengig av priser. Ulempen er at hverken bønder eller andre produsenter reagerer på energioptimum. De vil naturlig nok være opptatt av det økonomiske resultatet.

N-gjødsling til korn.

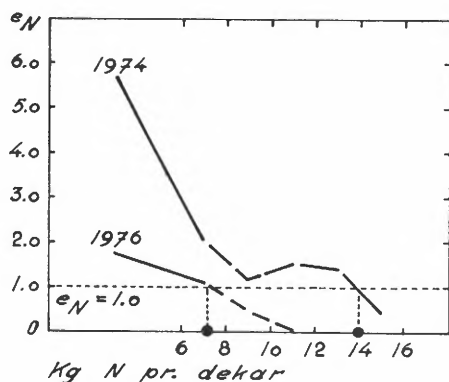
I fig. 1 a er vist kornavlinger ved stigende N-gjødsling til korn på Østlandet (Lyngstad 1977). I fig. 1 b er disse opp-

lysningene brukt til å beregne faktorvirkningsgrad for nitrogen.

Vi ser at utnyttingsgraden for N-gjødsel faller med økende N-mengde, og at den går under 1,0 ved 14 kg N/daa i 1974 og ved 7 kg N/daa i 1976. Året 1974 var det store kornåret på Østlandet, mens 1976 var et tørkeår. Ellers er det klart at avlingen ved 0 kg N/daa i dette materialet ligger adskillig høyere enn hva en kunne vente i flerårige forsøk. I dette materialet må vi regne at det er betydelig ettervirkning av N-gjødsling i tidlige år.

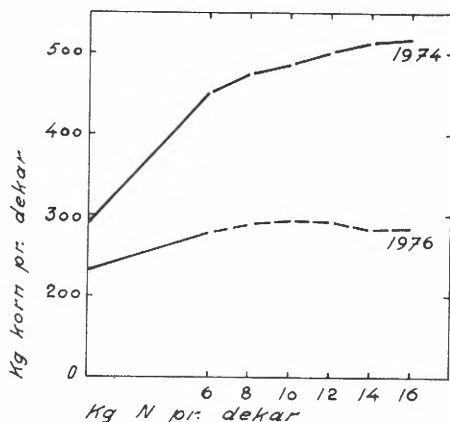
Når det gjelder bruken av N-gjødsel til korn, er det neppe tvil om at tidlig våronn og tørr ettersommer i første del av 1970-årene har ført til at mange Østlandsbønder har hatt små problemer med legde. I 1978–80 har det vært større fuktighet i vekst- og høstperioden. Under slike forhold vil for sterk N-gjødsling resultere i mye legde, forsinket modning, nedsatt avling, nedsatt kvalitet, mer ugras og større tørkeutgifter. Faren for utvasking av N, og dermed forurensing av vassdragene, er

FIG. 1. AVLING OG ENERGIUTNYTTINGSGRAD VED STIGENDE



N-GJØDSLING TIL KORN

e_N = Energiutnyttingsgrad for nitrogen.
Utnytting: Føring av gris



$e_N = 1,0$ ved 7 kg N/daa 1976
 $e_N = 1,0$ ved 14 kg N/daa 1974

størst etter tørre år med små avlinger.

Dersom halmen hadde vært brukt til fôr eller brensel, ville vi ha fått en høyere faktorvirkningsgrad ved alle N-trinn.

Mens energioptimum ligger ved en meravling på ca. 4,5 kg korn (bygg) pr. kg N ved føring av gris, vil det økonomiske optimum ligge ved ca. 2 kg meravling ved 1981 års priser.

Siden prisene på nitrogen er stigende, er det trolig at denne forskjellen kan jamne seg ut med tiden. Tar vi imidlertid i betraktning alle de uheldige følgene av for sterk N-gjødsling, f.eks. færre skurtreskerdager ved utsatt modning, større energiforbruk til tørking, og på lengre sikt større energiinnsats mot økte ugrasmengder, vil det økonomiske optimum selv i dag forskyves nedover mot energimessig optimum. Det må ellers sies at når vi her snakker om 2 eller 4,5 kg meravling, må dette være statistisk sikre meravlinger, ikke et tilfeldig utslag.

I tabell 2 er vist avling og kvekeprosent i et langvarig forsøk med jordarbeiding og nitrogen ved Institutt for jordkultur.

Tabell 2. Avling og kvekeprosent i et langvarig forsøk med jordarbeiding og stigende N-mengder på lettleire i Ås. Bedømmelse 1979. Ulik N-gjødsling fra 1962.

Kg N pr. daa	Avling kg korn/daa	Kveke- prosent
5	501	8
10	576	13
15	599	19
LSD 5 %	60	6

Kvekemengden har økt tydelig med stigende N-gjødsling. Meravlingen for økning av N-mengden fra 10—15 kg N var ikke signifikant og e_N var bare ca. 0,7 for dette tillegget i N-gjødsling. Økningen i kvekemengden var signifikant.

Det er ingen betingelse og ingen sikring av store avlinger å ha legde. Tvert imot, målsettingen må være å få jorda i slik stand og tilpasse gjødslingen på en slik måte at det ikke blir hverken legdeflekker eller tomflekker på et jorde.

Vi ser av fig. 1 at dette kan bli vanskelig så lenge årsvariasjonen er så stor.

Tabell 3 a. Avling av korn, kg/daa og meravling for N-gjødsel i et forsøk med

Såtid	N × såtid.			
	2,3	4,6	6,9	9,2
3. mai	319	+ 62	+ 45	+ 27
1. juni	302	+ 36	+ 9	+ 3

Tabell 3 b. Faktorvirkningsgrad, e_N beregnet for hvert N-trinn for resultater i tabell 3 a, ved bruk av korn til mat.

Såtid	N-trinn, kg/daa			
	2,3—4,6	4,6—6,9	6,9—9,2	Middel
3. mai	4,2	3,0	1,8	3,0
1. juni	2,4	0,6	0,2	1,1

Samspillet nitrogen × Såtid.

I tabell 3 a er vist avlinger av korn i et forsøk med N × såtid (Lyngstad 1973)

og i tabell 3 b er vist beregnede virkningsgrader for disse resultatene.

Det er regnet med 10 MJ omsetbar energi pr. kg korn. Vi ser at e_N ved første såtid har variert fra 4,2 til 1,8 når N-mengden har økt fra 2,3 til 9,2 kg N/daa. Ved siste såtid har e_N vært 2,4 for første N-tillegg og under 1,0 ved videre økning av N-mengden. Ved måling av rotmengde viste det seg at stigende N-mengde økte mengden av kronrøtter i matjordlaget. Denne økningen fortsatte til største N-mengde ved tidligste såtid, mens økningen stoppet opp allerede ved 6,9 kg N ved siste såtid (Njøs 1976). Tabell 3 b viser at ved tid-

ligste såing burde det ha vært gitt større N-mengde enn 9,2 kg pr. dekar for å nå et energimessig optimum.

Halmen har en stor brennverdi og det betyr at faktorvirkningsgraden for nitrogen øker mye med å ta halmen med — under forutsetning av at den kan brukes til brensel. I tabell 4 er vist en beregning av faktorvirkningsgrad for nitrogen under forutsetning av at kornet brukes til mat og halmen til brensel. Halmavlingene er beregnet ut fra Lyngstad (1973).

Tabell 4. Faktorvirkningsgrad, e_N , for nitrogengjødsel, for korn til mat + halm til brensel for samme forsøksmateriale som i tabell 3.

Såtid	N-trinn kg/daa			Middel
	2,3—4,6	4,6—6,9	6,9—9,2	
3. mai	11,0	8,3	5,5	8,3
1. juni	8,7	3,8	2,0	4,8

Bruttoenergi = brennverdi for halm er satt = 18 MJ pr. kg tørrstoff. Virkningsgradene er her mye høyere og alle er større enn 1,0, men det er fortsatt stor forskjell mellom såtider.

Endelig kan det regnes bruttoenergi-

innhold både i korn og halm. Dette er energimessig en like riktig beregning som det vi har vist i tabellene 3 og 4.

Tabell 5 viser resultatet av bruttoenergi (brenselverdi)-beregningen.

Tabell 5. Faktorvirkningsgrad, e_N , for nitrogengjødsel, ved beregning av bruttoenergi i avlingen. Samme forsøksmateriale som i tabell 3. Bruttoenergi = 18 MJ pr. kg tørrstoff.

Såtid	N-trinn kg/daa			Middel
	2,3—4,6	4,6—6,9	6,9—9,2	
3. mai	13,2	9,9	5,9	9,7
1. juni	9,0	4,1	2,2	5,1

Dette gir enda større faktorvirkningsgrad for N-gjødsel. Det er denne typen beregning som er riktig hvis planteproduktet skal brukes til brensel. Vi ser at forskjellen mellom såtidene fortsatt er helt tydelig.

Vi kunne også tatt med én beregning til, nemlig halm brukt til fôr og da henholdsvis som tørr halm og ammoniakkebehandlet halm. Dette ville ha gitt

faktorvirkningsgrader mellom de i tabell 3 og tabell 4.

Virkning av vanning til korn.

Den store variasjonen for energiopptima som er vist i fig. 1, kan strengt tatt ikke aksepteres i et moderne jordbruk. I forrige avsnitt så vi den sterke virkningen av tidlig såing i retning av å flytte optimalpunktet mot større N-

mengde. Hvis vi tenker på tørkeåret 1976 (fig. 1) var sannsynligvis såtidseffekten utnyttet på svært mange av forsøksfeltene. Vanntilgangen har vi stort sett ingen annen mulighet til å regulere enn gjennom vanning, selv om djuparbeiding/jordblanding på sandjord kan gi en viss bedring (Njøs 1980).

Utenlandske erfaringer (f.eks. Slogget 1977) viser at energiforbruket ved vanning har vært rundt 2,8 MJ pr. m³ tilført vann, mens egne beregninger basert på et par større fellesanlegg i Norge viser litt større tall (3,6—4,9 MJ/m³). Hvis vi forutsetter et energiforbruk på 3,6 MJ pr. mm pr. dekar (1 m³ vann = 1 mm/dekar) kan vi regne ut fra de meravlingene som er vanlig å oppnå i

Vanningstrinn:	0—30 mm	30—60 mm	60—90 mm
Meravling:	+ 114 kg	+ 57 kg	÷ 25 kg
e _v :	14,8	7,4	÷ 3,2

Det er en skarp overgang fra energigjenvinst til energitap ved økning fra 60 til 90 mm vanning.

Hansen (1980) viste at et åkerbrukssystem med 0-arbeiding og én vanning med i alt 100 mm vann før strekningsskyting kom ut svært gunstig energimessig i forhold til vanning etter behov (500 mm) i et tørkeområde i USA. Vekstene var sorghum og kveite.

Særlig i leirjordsområdene i Norge,

vanningsforsøk (se f.eks. NLVF-utredning nr. 83). Vi forutsetter en moderat avlingsøkning på ca. 0,8 kg korn for 1 mm vann, noe som gir e_v = energivirkningsgrad for vann, ca. 2,2 for utnyttning av korn (bygg) til mat og 3,1 til grisefôr. Tallene ligger godt over 1,0, men det er grunn til å understreke at det trengs flere data på dette området.

Forsøk i Finland (ELONEN 1981) har gitt betydelige meravlinger for vanning til hvete, spesielt ved tidlig vanning. N-gjødslingen var her 13,6 kg N pr. daa. Hvis en regner 14 MJ omsetbar energi pr. kg hvete og 3,6 MJ pr. dekar-mm, kan det beregnes følgende energivirkningsgrader, e_v, for vanning:

kan en tidlig vanning, for å sikre full spiring og busking, tidlig næringsopptak og ensartet, tidlig modning, ha stor praktisk betydning og gi en høy energivirkningsgrad.

N-gjødsling til poteter.

Noen forsøksresultater av Bærug og Enge (1971) er brukt som basis for beregning av e_N i poteter. Se tabell 6.

Tabell 6. Energivirkningsgrad, e_N, for stigende mengder N-gjødsel til poteter beregnet ut fra et materiale av Bærug og Enge (1971) ved bruk av poteter til mat.

	N-trinn kg/daa			Middel
	5—10	10—15	15—20	
Meravling, kg knoller pr. kg N	+ 124	+ 76	+ 29	
e _N	5,7	3,5	1,3	3,5

Det er regnet med 3 MJ pr. kg knoller eller 12,5 MJ pr. kg tørrstoff. Den midlere potetavlingen ved 5 kg N/daa var 3610 kg/daa. Vi ser her at e_N har vært

større enn 1,0 selv ved økning i N-mengde fra 15 til 20 kg/daa. Hvis en skal bruke potetene til matpoteter, kommer selvsagt kvaliteten inn i bildet. Ved

dyrking av poteter som energivest, f.eks. til etanolproduksjon, kan e_N være en svært nyttig parameter. Da måtte en regne på etanol laget av poteter. Sannsynligvis er meravlingene i dette materialet noe større enn vanlig.

N-gjødsling til eng.

Et materiale som omfatter høstetid og N-gjødsling til eng er publisert av Pestalozzi (1980). I dette materialet var det

adskillig mindre tørrstoffavling ved 3 høstinger enn ved 2 høstinger, og selv om en regnet på førenhetsbasis var det omtrent ikke forskjell.

Som vist i tabell 7 var imidlertid energivirkningsgraden for N-gjødsling større ved 3 enn ved 2 høstinger. Tallene er beregnet ut fra korrigerte tørrstoffavlinger slik at større energiinnhold ved tidlig høstestadium skulle komme fram.

Tabell 7. Faktorvirkningsgrad for N-gjødsling ved 2 og 3 høstinger i gras på Sør- og Vestlandet, samt tørrstoffavling pr. dekar ved minste og største N-mengde. Beregnet på grunnlag av Pestalozzi (1980). 102 årsfelter.

Antall høstinger	Avling	Avling	e_N ved N-trinn			
	kg tst/daa minste N-mengde	kg tst/daa største N-mengde	16—20	20—24	24—28	28—32
2	1039	1101	1,5	0,5	0,4	
3	898	995		2,0	1,2	0,6
Mindre-avling ved 3 høstinger	141	106				

Det er forutsatt at føret er brukt til melkeku. Vi ser at e_N er større enn 1,0 ved økning i N-gjødsling fra 16—20 kg ved 2 høstinger, men opp til 24—28 kg N ved 3 høstinger. Den totale energiutnytingen er imidlertid mindre ved tre høstinger på grunn av ekstra energiinnsats ved gjødsling, slått og transport, samtidig som det er ubetydelig økning i omsettbar energi i føret.

Bærug (1977) har publisert en melding om engforsøk på Sørøstlandet, der det var gitt 12—24—32 kg N/daa. e_N for trinnet 12—24 kg N var 1,2 mens e_N for trinnet 24—32 kg N var 0,5, noe som viser at ett eller annet sted rundt 20 kg N/daa faller e_N under 1. Avlingsnivået ved 12 kg N/daa var i Bærugs materiale 739 kg grastørrstoff pr. dekar.

Etter beregningene ovenfor er det grunn til å vise en viss forsiktighet med svært store N-mengder. Som en grov regel kan en si at det kreves ca. 6—7 kg meravling av tørt gras for at den

siste innsatte kg nitrogen skal gi like mye energi ut som medgått hjelpeenergi.

Når det gjelder proteinproduksjonen, viser Pestalozzis tall mest økning i råprotein pr. førenhet ved 1. og 2. slått, og mindre ved 3. slått for stigende N-mengder. Men samtidig var det en klar stigning i råproteininnhold pr. førenhet fra 2 til 3 høstinger.

Ved dagens engdyrking er det en rekke problemer som henger sammen med kravet til høg førkvalitet, med stort husdyrtall i forhold til gårdens heimeareal og med stort forbruk av fôr produsert utenfor gårdens heimeareal. Driftsmåten fører med seg stor trafikk på jorda ved vannkjøring til fjøset i form av rått gras, og fra fjøset i form av bløtgjødsel. Resultatet er mange hjulspor, for store mengder bløtgjødsel, dårlig overvintring av graset, overflateavrenning av fosfater og utvasking av N til vassdragene. Det er heller ikke noen økonomisk opp-

muntring til en langsiktig, god planteproduksjon på egne arealer.

White (1980) har gjort beregninger over energiforbruket ved ulike N-gjødsling og antall høstinger. Ved 25 kg N pr. daa og 250 dekar høstearreal kom han til at energiforbruket totalt (forutsatt ensilering) var 3,48 — 3,77 — 4,05 MJ/kg tørrstoff ved 2 - 3 - 4 høstinger. Ved ulike førkonserveringsmetoder fant han en totalvirkningsgrad for energi (energi-kvote) på 2,0 for ensilering med maursyre, 1,5 ved låvetørking av høy, og 0,4 ved høy-temperatur grastørking.

Energimessig og beredskapsmessig er det god grunn til å se nærmere på produksjonskanaliseringen i jordbruket.

Diskusjon.

Stort sett blir alle handlinger i jordbruket i likhet med andre næringer, diktert av økonomiske målsettinger. Optimalpunktet for innsatsfaktorene forskyver seg i ulike retninger med prisene. Bare for én innsatsfaktor, arbeid, kan det se ut som om optimum alltid ligger i retning av minimum. Dette skyldes enkle økonomiske lover. Prisforholdet mellom arbeid og annen hjelpeenergi, regnet pr. kWh, kan ligge i området 50—100. I jordbrukets planteproduksjon steg prisforholdet fra ca. 70 i 1973 til ca. 90 i 1976 (Njøs 1978). Dette må resultere i en sterk mekanisering. Maskiner er et alternativ til arbeidskraft. I en viss monn kan en også snakke om maskiner som en biologisk produksjonsfaktor, f.eks. ved innsats mot ugras, og ved at veksttida kan utnyttes bedre.

Det er likevel næringsstoffer og vann som tilsammen utgjør hovednøkkelen for et stort energiutbytte i planteproduksjonen.

Mens brensel til jordbruksformål utgjør ca. 0,6—0,7 % av Norges samlede energiforbruk, utgjør nitrogengjødsel ca. 1,0 %. Det er derfor særlig grunn til å

legge vekt på at nitrogengjødsla blir utnyttet på en energimessig forsvarlig måte. For lite og for mye er like dårlig utnytting. Som vi har sett, ligger energimessig optimum i kornproduksjonen litt lavere enn økonomisk optimum, men med stigende oljepriser vil de to nærme seg hverandre. Det er til og med tenkbart at de kan skifte rekkefølge, noe som kan forekomme i U-land. Selv om det ikke er grunn til å legge alt for stor vekt på energimessig optimalisering, er den nyttig ved at den ikke endrer seg med prisnivået.

De tallene som er presentert i denne artikkelen, skulle nokså klart vise at den til dels stormende kritikken mot bruk av kunstgjødsel på energibasis må skyldes manglende kunnskap eller vilje til å sette seg inn i jordbrukets energihusholdning. Gjennom hele Middealderen og til langt inn i det 20. århundre var næringsmangel det alvorligste problem for store deler av den norske planteproduksjonen. Høy fra utslåtter og lauvsanke i skogen var med å produsere husdyrgjødsel som ble brukt til å vedlikeholde næringstilstanden på et areal nærmest tunet. På moldrik jord innen deler av kambrosilurumrådene er det delvis så stor N-reserve at en kan tære på den i lange tider og opprettholde middels store avlinger. Hvis det er 1000 kg N pr. dekar i rotsonen og det blir mineralisert 1 % pr. år, er det 10 kg N pr. dekar. Men slike arealer er unntak. Vi bør ikke glemme at den naturlige humusformen over store deler av dyrka mark i Norge var råhumus eller torv, og at vi kan opprettholde en tilstand av mold gjennom kulturiltak som kalking, gjødsling, jordarbeiding.

Utviklingen av kornproduksjonen kan deles inn i tre perioder, som vist av Breirem (1979). Han angir følgende hveteavlinger i England, etter Blaxter:

I. Treskiftebruk til ca. 1750	80 kg/daa	
II. Planteveksling		
1840—1870	200	»
III. Moderne jordbruk		
1970—73	425	»

Bruksmåte I, treskiftebruket besto i 2 år korn og 1 år brakk.

Bruksmåte II besto i 2 år korn, 1 år rotvekster, 1 år kløver.

Til Norge kom plantevekslingen senere enn til England og fikk vel heller ikke den samme gjennomslagskraften. Ut på 1900-tallet ble det nok hos oss mer vanlig med et seksårig omløp med 3 år åker — derav 1 år med radvekster — og 3 år eng, en blanding av kløver og timotei.

De som agiterer mest mot bruk av kunstgjødsel bør også vise en vei til å skaffe nok næringsstoffer. Da nytter det ikke å peke på eksempler hvor det i praksis enten tæres på næringskapitalen eller hvor det skjer tilførsler utenfra i form av organisk avfall, eller før.

Belgvekster er i og for seg et interessant kapittel som bør ofres betydelig oppmerksomhet. Stort sett er det vel slik at de maksimale avlinger som kan tas ut av et dekar jord beror til en stor grad på den totale N-mengden i avlingen.

Hvis vi som eksempel setter en grense ved 35 kg N pr. dekar og velger en vekst med 2% N kunne vi produsere 1750 kg tørrstoff. Setter vi 10% N skulle vi kunne produsere 350 kg tørrstoff. Proteinproduksjonen ville da være den samme, mens energiproduksjonen ville være ca. 5 ganger større i første tilfelle. — Likevel, et innslag av kløver i enga og dyrking av andre belgvekster både for mat, fôr og eventuelt som brensel, er aktuelle forskningsspørsmål.

Det er innlysende at en større kornproduksjon og potetproduksjon, muligens også sukkerbeteproduksjon sammen med et kosthold basert på mer

planteprodukter, ville gi en langt bedre energihusholdning og større selvberging, enn et stort innslag av husdyrprodukter. Melkeproduksjon og svinekjøtt er mindre energikrevende enn mange andre husdyrproduksjoner. Men dagens melkeproduksjon som er preget av langtransport til de store forbruksstedene kan vise seg å gi store forsyningsproblemer i tilfelle krig eller andre årsaker til nedsatt import av kraftfôr og brensel.

Produksjonspotensialet i fjelltraktene bør utnyttes. Smør, ost og kjøtt tåler lang transport til forbruker. Fjelltraktene har sin største begrensning i temperaturen og lengden av veksttida. Derimot er vannforsyningen for plantene stort sett bra.

I en total beredskapsplan må nødvendigvis korn og poteter spille en stor rolle for matforsyningen. Men melk er et svært godt næringsmiddel, og det bør være plass til den. I krisetider må fôrgrunnlaget endres en del fra kraftfôr til betydelig andel av rotvekster.

Det har vært dyrket korn hos oss, både ved kysten og i dal- og fjellbygdene. En beredskapsteknologi bør utarbeides for marginale kornområder. Det kan tenkes at halm til brensel blir aktuelt, og det vil endre foredlingsmålene i kornproduksjonen.

Potetdyrkingen gir plass for en ganske stor innsats av arbeid, og det bør planlegges hvordan en slik arbeidsinnsats kan innpasses i jordbruket rundt tettstedene under forhold med matkrise.

Hvis oljeprisene fortsetter å stige, kan det bli aktuelt å bruke store arealer til dyrking av rasktvoksende lauvskog for fast brensel, sukkerbeter og eventuelt poteter for etanol, raps og andre oljevekster for brenselolje. Denne dyrkingen vil stort sett måtte konkurrere om arealer som brukes til fôr- eller matproduksjon, i visse tilfelle også marginale jordbruksarealer. Resultatet må bli

en mindre bufferevne i den totale matproduksjonen. Nedenfor er satt opp

noen arealbehov for mat- og brenselforsyning e. BROWN (1980).

Bruk av planteprodukter	Arealbehov
Mat, U-landskost, voksen person	ca. 1 dekar
Mat, velstandskost, voksen person	» 3,6 »
Europeisk bil 11 000 km pr. år	» 13 »
Amerikansk bil 16 000 km pr. år	» 30 »

Det er regnet med de avlingsnivåer som er vanlig i USA pr. 1980. Vi kunne kanskje her nevne at arealbehovet for en hest ville være rundt 6—10 dekar.

Det tjener til ettertanke at USA holdt 500—600 millioner dekar åkerjord utenfor produksjon i 1960-årene, mens dette arealet er omtrent 0 i 1981.

Sammendrag.

En energivirkningsgrad for den enkelte produksjonsfaktor er et forholdstall som viser økningen i produktets innhold av energi ved økt innsats av hjelpeenergi for en produksjonsfaktor.

For nitrogengjødsel gjelder formelen

$$e_N = \frac{k \cdot \Delta A}{h \cdot \Delta N}$$

hvor e_N = virkningsgrad for N
 k = energiinnhold i avling, MJ/kg
 ΔA = meravling, kg
 h = hjelpeenergi til framstilling av N-gjødsel, MJ/kg
 ΔN = mergjødsling, kg N

Denne formelen er brukt til å beregne virkningsgrader for N-gjødsling til korn, poteter og eng. En tilsvarende formel kan brukes for vanning.

Det er mulig å bruke $e_N = 1,0$ som et energimessig optimalpunkt. Gjødsles det med større N-mengde enn den N-mengden som svarer til $e_N = 1,0$ øker energiinnholdet i produktet mindre enn økningen i hjelpeenergi.

Ved beregningseksempler er det vist at e_N er betydelig større enn 1,0 ved moderat N-gjødsling. Det energimessige optimalpunktet for N-gjødsling til korn ligger litt lavere enn det økonomiske optimalpunktet ved det prisnivået som gjelder i januar 1981. I et jordbruk hvor en kan regulere både vanntilgang og næringstilgang kan energivirkningsgraden være en nyttig størrelse for vurdering av optimal innsats av produksjonsfaktorene. Fordelen med en faktorvirkningsgrad er at den er uavhengig av endringer i prisene. På den annen side vil produsentene bare reagere på økonomiske forhold. Den energimessige tilpassingen vil derfor ikke kunne bli annet enn et korrektiv til den økonomiske.

For de planteproduktene som er aktuelle både som energivekster og mat eller fôrvekster — og det er jo svært mange planteprodukter — er det nødvendig å beregne faktorvirkningsgraden både på basis av bruttoenergi og omsettbare energi.

I 1978—80 har det sannsynligvis vært brukt en overoptimal N-gjødsling ved korndyrking i Østlandsområdet både fra energimessig og økonomisk synspunkt. Legdeprosenten har blitt stor og med det har kvekemengden økt og innhøstingen blitt vanskelig. Energivirkningsgraden for poteter og gras viser lignende trender som for korn, men optimalpunktet er mer usikkert bestemt. Ved grasdyrking må en også vurdere langtidsvirkningen, bl.a. overvintring, tilleggsstrafikk ved flere høstinger, osv.

Den solide bonden som ikke presser N-gjødslinga til det ytterste, men vurderer hele planteproduksjonen som en helhet over en årrekke, vil sannsynligvis komme ut svært bra både energimessig og økonomisk på lang sikt. I kornproduksjonen vil han ha flere skurtreskerdager om høsten, fordi han får mindre legde og fordi modningen blir jammere. Han vil også få mindre utgifter til tørking, mindre problemer med kveke og tid til å avslutte høstpløyinga før det blir altfor vått. Han vil sannsynligvis også legge vekt på å ha godt drenert jord, bl.a. ha sikret seg mot overflatevann etter teleløsning, og ha alle maskiner og redskaper i stand, slik at hver eneste brukbar vårdag kan utnyttas.

LITTERATUR

- Agriculture Research Council* 1974. Report of the energy working party. Dept. of Agric. and Fisheries, Scotland. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Bickel, H.* 1978. Energieinsatz und Energieumsetzung im Bereich der Tierproduktion. Agrarwirtschaft und Energie-Vortragstagung. Agrarwirtschaft und Energie, München 6.—8. November 1978.
- Breirem, K.* 1978. Energiforbruket i primærnæringene. Fellesmelding fra Institutt for husdyrernæring og fôringslære, Norges landbruks-høgskole. Særtrykk nr. 499, 1978. Statens Kornforretning Melding nr. 48 om forsøk. 38 s.
- Breirem, K.* 1979. Korn som mat. Særtrykk av «Korn er liv» utgitt ved Statens Kornforretning 1979: 137—229.
- Breirem, K., F. Reisegg, A. Njøs, H. Sande, T. Høyem, K. Rydland, G. Wilhelmsen, L. Norum* (sekr.) & *H. Romarheim* (sekr.) 1980. Energibruk ved produksjon av matvarer i norsk jordbruk 1929—1979. NLVF-utredning nr. 111, Oslo, 117 s.
- Brown, L.* 1980. The energy cropping dilemma *Ceres* 13 (6): 28—32.
- Bærug, R. & R. Enge* 1971. Virkning av sterk nitrogen-gjødsling og omløpsform på avling og ulike kvalitetsegenskaper hos matpoteter. I. Virkninger på avling og næringsopp-tak. Meld. Norg. Landbr.Høgsk. 50 (4): 1—25.
- Bærug, R.* 1977. Nitrogen, kalium, magnesium og svovel til eng på Sør-Østlandet. I. Avlinger og jordanalyser. *Forskn.fors. landbr.* 28: 533—548.
- Elonen, P.* 1981. Virkningen av vatning på effektiviteten av N-gjødsling. Foredrag NJF-seminar «Nitrogen-gjødslingens effektivitet og nitrogen tap» As 17.—18. febr. 1981.
- Hansen, P.* 1980. Energy notes. Irrigation—no longer cheap *Feedstuffs* 52, 19 (May 12, 1980): 7
- Leach, G.* 1976. Energy and food production *IPC Science and Technology Press Guildford*. 137 s.
- Lorentzen, G.* 1978. Energibalansen i den norske fiskerinæring. Manus foredrag, ref. i *Breirem*, 1978.
- Lyngstad, I.* 1973. Nitrogen-gjødsling til vårkorn i relasjon til såtid. *Forskn.fors. landbr.* 24: 523—538.
- Lyngstad, I.* 1977. Unødvendig sterk nitrogen-gjødsling i kornyrkingen? *Norsk Landbruk* 6/77 og særtrykk 154, Institutt for jordkultur.
- Njøs, A.* 1976. Tidlig såing — større kornavling. *Norsk Landbruk* 6/76. Særtrykk nr. 149, Institutt for jordkultur, 7 s.
- Njøs, A.* 1978. Jordbrukets energibalanse — inntekter og utgifter i planteproduksjonen. *Norsk Landbruk* 9/78. Særtrykk nr. 161, Institutt for jordkultur, 4 s.
- Njøs, A.* 1980. Djuparbeiding av lagdelt jord. Virkning på jord og avling. Aktuelt fra Landbruksdepartementets opplysningstjeneste 5/1980: 103—120.
- Opsahl, B., A. Alertsen, O. Heide, H. Hvidsten & B. Næss.* 1975. Produksjon av encelleprotein, sammenlignet med tradisjonell proteinproduksjon. NLVF-utredning nr. 73, Oslo.
- Pestalozzi, M.* 1980. Virkning av høstetid og gjødsling på grasavling og avlingskvalitet. *Forskn.fors. landbr.* 31: 89—103.
- Pimentel, D., L. E. Hurd, A. C. Bellotti, M. J. Forster, I. N. Oka, O. D. Sholes & R. J. Whitman.* 1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182: 443—449.
- Renborg, U. & H. E. Uhlén.* 1975. Skogs- og jordbruket i en energikris *Kungl. Skogs- och Lantbruksakad. tidsskr.* 114: 213—245.
- Slogget, G.* 1977. Energy used for pumping irrigation water in the United States 1974. In: *Agriculture and Energy* (ed. W. Lockert). Academic Press. N. Y.
- Thorsrud, J., B. Opsahl, B. Rognerud & S. Dragland* (sekr.) 1976. Vatning på friland. NLVF-utredning nr. 83, Oslo, 84 s.
- White, D. J.* 1980. Calculating energy used in forage conservation. *Span* 23 (3): 120—123.