

# Gardsplanleggingsoppgåve i PPK 300 Hovudkurs i plantekultur sommar- og haustsemesteret 2002

**Arve Skutlaberg FORSKINGSTENESTER**

## PRESISERING AV PKT. 5.3, TRINN 2 I PLANEN FOR OPPGÅVA:

I denne delen av oppgåva skal studentane gjennomføra analysane som er nemnde nedanfor:

### **Innhald:**

Oversikt: .....	2
1. Avlingar frå forsøk på Ås .....	4
1.1. Korn: .....	4
1.2. Potet: .....	4
2. Avlingskomponentar: Simulering av planteproduksjon med program-systemet SOIL- ENGNOR-KONOR-SOILN_NO. Førsteamanuensis Ole Hans Baadshaug, IPF, NLH.....	6
2.1. Struktur og innhold av kataloger og input- og drivfiler.....	6
2.2. Modell-kjøring (Simulering) .....	8
2.3. Uttak, databehandling og framstilling (numerisk eller grafisk) av simulerings- resultater (i SAS) .....	8
3. Energianalyse (ved Arve Skutlaberg).....	9
3.1. Prinsipp for kvantifisering av energi (etter Uhlin 1999) .....	10
3.2. Energieiningar og talstørrelser: .....	11
3.3. Døme på nyare nordisk litteratur om energianalysar i jordbruket.....	11
3.3.1. Nasjonalt nivå: .....	11
3.3.2. Gards- eller systemnivå: .....	12
3.4. Energibudsjett på garden .....	14
3.4.1. Solenergi.....	14
3.4.2 . Innsats av importert energi i produksjonen .....	14
3.4.2.1. Direkte primærenergi (PDE) (elektrisitet, diesel, olje): .....	14
3.4.2.2. Indirekte primærenergi (PIE) (energi i innsatsfaktorar):.....	14
3.4.3. Energi i husdyr og investeringar .....	16
3.4.3.1. Energi i husdyr: .....	16
3.4.3.2. Energi i maskiner, bygningar og tekniske anlegg: .....	16
3.4.4. Energi som vert resirkulert på garden .....	16
3.4.4.1. Energi i husdyrgjødsel:.....	17
3.4.4.2. Energi i ikkje hausta avlingskomponentar: .....	17
3.4.5. Energi i produkt.....	17
3.4.6. Mål på energieffektivitet .....	19
4. CO <sub>2</sub> og karbonbudsjett på gardsnivå .....	19
4.1. Klimagassar i Noreg .....	19
4.2. CO <sub>2</sub> og norsk landbruk .....	20
4.3. Einingar for måling av karbon og CO <sub>2</sub> :.....	22
4.4. CO <sub>2</sub> -budsjett på garden.....	22
4.5. Estimat for frigjering av CO <sub>2</sub> frå ulike innsatsvarer.....	23
4.5.1. Forbrenning av diesel, olje etc.:.....	23

4.5.2. Produksjon og distribusjon av handelsgjødsele og kalk.....	24
4.5.3. Plantervernmiddele.....	24
4.5.4. Såvarer.....	24
4.5.5. Utslepp av CO <sub>2</sub> ved maskinoperasjonar.....	25
4.5.6. Vatning.....	25
Litteratur:.....	25

## Oversikt:

Trinn 2 PKT. 5.3, i skal omfatta:

### 1. Avlingsnivå og årsvariasjon. Samspel med klima og N-gjødsling (MILDRI)

- Studentane får opplysningar om registrerte avlingar på garden frå bonden over så lang tid som råd (5-10 år?).
- Samanlikning av avlingsnivå registrert på garden og avlingsnivå i forsøk på Vollebekk dei same åra. Bruka forsøkstal frå Skjelvåg.

### 2. Avlingskomponentar

Studentane brukar MILDRI-modellen til å anslå avlingskomponentar for kvart år, ut frå registrert avling på garden.

- Avling i korn, poteter, kålrot og grovfôr.
- Avling i halm, potetris og kålrotblad.
- Avling i stubb og røter.
- Auke eller reduksjon av organisk materiale i jorda. Her må studentane også vurdere vekstskiftet.

### 3. Energibudsjett på garden

Studentane lagar eit enkelt energibudsjett for garden, basert på middeltal dei kan finna i opplysningane frå garden.

- Solenergi
- Innsats av energi i produksjonen
  - ✓ Direkte primærenergi (elektrisitet, diesel, olje)
  - ✓ Indirekte primærenergi (energi i innsatsfaktorar)
  - ✓ Innkjøpt fôr
- Energi i produkt
- Mål på energieffektivitet
  - ✓ *Output/input – ratio*: Energi i produkt / Importert energi.
  - ✓ Energi i produkt som % av solenergien.
  - ✓ Energiforbruk pr. kg av produktet

### 4. Karbonomsetninga på garden

Ut frå estimata over avlingskomponentane og energibudsjettet skal studentane laga eit oversyn over karbonomsetninga på garden, med vekt på utslepp av CO<sub>2</sub>. Analysen er beskriven nærare nedanfor.

- Karbon fiksert totalt i løpet av vekstsesongen
- Karbon i innsatsfaktorar
- Lagring eller frigjering av CO<sub>2</sub> frå organisk materiale i jorda.

**5. Jorderosjonen på garden (MILDRI)**

Her brukar studentane materialet dei har fått frå Helge Lundekvam.

**6. Bruk av plantevernmiddel på garden.**

Set opp ein analyse over bruk av plantevernmiddel på garden.

**7. Set opp dekningsbidragskalkylar for dei ulike planteproduksjonane.**

Sjå eige notat.

# 1. Avlingar frå forsøk på Ås

## 1.1. Korn:

Taltilfanget bak Tabell 4.1.2.6 i Rafoss, T. & H. De Wit 2002. Grunnlag for verdsetting av innmark. NIJOS-rapport 03/02. Kjelde: Planteforsk Apelsvoll. Middeltal:

Sted	År	JTKODE1	Sein havre	Tidlig havre	Seint bygg	Tidlig bygg	Vårhvete
Ås	1995	Rk8	557	512			464
		Si3			525	457	
	1996	He8			646	592	
		Rk8	546	601			509
	1997	Tb9					434
	1998	Rk8	674	657	612	558	401
	1999	Rk8	609		689	588	512
	2000	Rk8					419
		Wc7	688		551	495	

## 1.2. Potet:

Avlingstal frå Vollebekk. Kjelde: Professor Tore Bjor, Institutt for plantefag, NLH.

### Tidlig sort: Rutt

Forsøksår	1. høstetid		2. høstetid	
	Totalavling	Avling >42mm	Totalavling	Avling >42mm
2002	1285	428	2766	2203
2001	1326	311	2519	1671
2000	2212	1725	2579	2192
1999	1629	1313	2494	1928
1998	2614	1561	3446	2610
1997	889	676	1915	1577
1996	1637	1426	2486	2157
1995				

### Halvtidlig sort: Laila

Forsøksår	1. høstetid		2. høstetid	
	Totalavling	Avling >42mm	Totalavling	Avling >42mm
2002	3783	3338	4283	3955
2001	1994	1523	4071	3770
2000	2145	1896	2800	2610
1999	2187	1191	3515	2920
1998	2561	1163	4719	4102
1997	1767	1549	3058	2905
1996	2469	2052	2959	2627
1995	2299	1380	2674	1987

**Halvsein sort: Beate**

Forsøksår	Totalavling	Avling >42mm
2002	4399	3646
2001	4495	4038
2000	3527	2445
1999	3887	2689
1998	6081	5378
1997	4155	3343
1996	3672	2720
1995	2586	2074

## 2. Avlingskomponentar: Simulering av planteproduksjon med program-systemet SOIL-ENGNOR-KONOR-SOILN\_NO. Førsteamanuensis Ole Hans Baadshaug, IPF, NLH

### 2.1. Struktur og innhold av kataloger og input- og drivfiler

Driv- og inputfilene til simuleringsprogrammet SOILN\_NO må ha bestemte navn og filtyper en bestemt struktur mht. fordeling av driv- og input-filer på (under)kataloger. På denne maskinen ligger kataloger og filer på D:\ohb\ppk300\_sim:

```
\driv_engmod
\driv_konor
\in
\out
```

Det må være en \driv\_-katalog for hvert vekstslag i omløpet som simuleres, i dette tilfellet omløp med (slåtte)eng, drivdata i \driv\_engmod, og korn (bygg), drivdata i \driv\_konor. Hver av de ca. 70 drivfilene i disse katalogene inneholder én variabel, generert i hydrologi-modellen SOIL. De beskriver vannhusholdningen dag for dag i jorda gjennom den 26-års perioden som simuleres, 1973-1998, slik at antall linjer blir ca 9300. Ved simulering av et antall ulike alternativer, for f. eks. ulike såtider for korn, trengs (for driv\_konor) samme antall forskjellige kataloger med fullstendig sett av drivdata-filer. Det mest rasjonelle er da å plassere de ulike alternativene i samme katalog, d:\ohb\ppk300\_sim, under forskjellig navn. Ved simulering av et bestemt alternativ, endres katalog-navnet til det tilhørende drivfil-settet til driv\_konor, slik at drivfilene finnes av programmet.

In-filene beskriver de års-spesifikke dyrkingsinngrep som er eller kan være med i simuleringen, dvs. valg av vekstslag (v. fila crop.dat) N-mengder (i kg pr. dekar) og dato (dagnummer) for tilføring av kunstgjødsel (fertil1.dat, hhv. fertil1.tme for vårgjødsling, fertil2.dat ... osv. for opp til 2 overgjødslinger) eller husdyrgjødsel (manure1.dat og manure1.tme, osv. som for kunstgjødsel). Såtidene for korn angis (ved dagnummer) i sowing.tme og høstetider for eng i harv1.tme, harv2.tme og harv3.tme for opp til 3 høstinger av eng.

Strukturen av filene i in-katalogen er som vist nedenfor med harv1.tme (for Follo-området)

26

```
169
164
167
164
167
166
174
160
167
167
167
162
171
```

169  
176  
167  
165  
157  
168  
158  
160  
163  
171  
172  
163  
166

...dvs. med 26-datalinjer, en for hvert år i perioden, med ei startlinje som gir dette antall og ei blank linje foran. De fleste filene har bare ei kolonne, men manure.dat- filene har tre kolonner, ei for organisk N i husdyrgjødsel, ei for ammonium-N og ei for N i strø og planterester. Den siste mengden er normalt bare en brøkdel av de to første, som oftest er noenlunde like. (NB: Programmet er nøye med at det er minst to tomme linjer til slutt, etter datalinjene. Pass på dette ved eventuelle endringer i in-filene! )

Samle-tabeller med de viktige slutt-resultatene de enkelte år for korn (kornmat.dat) og eng (engmat.dat) kommer i katalogen \OUT Her kommer også (eventuelt) flere resultater av simuleringene, gitt for hver dag i den aktuelle perioden, i form av ei fil med ei tallkolonne for hver variabel. Dette siste forutsetter at OUT-katalogen også inneholder ei fil med navnet varfile som angir hvilke variabler en ønsker skrevet ut. Ei varfile kan se slik ut:

12

NHUM 0 S  
NH4 0 S  
NO3 0 S  
ACCPL 0 S  
ACCDL 0 S  
CHUM 0 S  
DMROOT 0 S  
DMTOP 0 S  
DMSTUB 0 S  
DMTOT 0 S  
DVS 0 S  
LAI 0 S

$CO_2$  488 18/2  
 $C(H_2O) = 10 \cdot 2 + 12$   
4  
6.9 = 0.  
18:32 =

...hvis en ønsker å se nærmere på N- og C-innhold i humus (NHUM, CHUM), N i lettløselig form i jorda (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>), totalt N-opptak i plantene (ACCPL) N-avrenning (ACCDL), produserte tørrstoff-mengder (DMROOT, DMTOP, DMSTUB, DMSTUB), utviklingsstadium (DVS) eller bladarealet (LAI). Framstilling av slike resultater i figurer eller middeltall-tabeller krever ekstra programmer, i SAS eller andre mat-programspråk. Programmer finnes og nye kan lages på bestilling (se nedenfor, kap. 3).

Input-fila er ei txt-fil (f. eks. input.txt) som, foruten opplysninger om variabelnavn og -beskrivelser, start- og stopp-datoer etc, også inneholder en rekke 'switcher'. Disse angir ulike alternativer for valg av f. eks. fast(e) årlig(e) N-mengde(r) (som i så fall angis til sist i fila) kontra års-spesifikke N-mengder, slik de er angitt i tilhørende ferti1.dat-fil i IN-katalogen, om en har eng med eller uten kløver, etc. Fila inneholder også tallverdier for en rekke parametere, som det således er mulig å endre uten å gå inn i selve progam-fila. Input-fila ligger i 'roten' av systemet ovenfor, dvs. i D:\ohb\ppk300\_sim

Som feilskilte av  
 dit data katalogen  
 gis ~~ikke~~ riktig plassering  
 (Siden ~~rette~~ adresser)

Selve simuleringsprogrammet, som (kompilert i c-språk) ligger i fila sim.exe, kan plasseres uavhengig av katalogene ovenfor. På denne maskinen ligger sim.exe i d:\csim\model2\_aug02. , se utgave 1)

## 2.2. Modell-kjøring (Simulering)

Modellen kjøres i dos (installer doskey!) fra sist nevnte katalog. Herfra angis plasseringen av input- og drivfiler, dvs i 'roten' av input-/drivfil-systemet, ved følgende kommando:

```
d:\csim\model2_aug02.>set soilN_NO= D:\ohb\ppk300_sim\  

(NB: den siste \-en er absolutt nødvendig!)
```

Det skal da være klart for å kjøre simuleringa, som utløses med:

```
d:\csim\model2_aug02>sim input.txt  

(eller hvilket (mer talende) navn en har valgt å sette på input.txt-fila)
```

Signalet at programmet er i gang er:

```
Reading input file: D:\ohb\ppk300_sim\input.txt  

Reading driving variables from d:\ohb\ppk300_sim\driv_engmod (ell. driv_konor, alt etter  

type omløp som er valgt )
```

Etter ei lang logging av data for vekststart, sådato, gjødselmengder og -datoer kommer avslutningsvis:

```
Reading d:\ohb\ppk300_sim\out\VARFILE  

Finished!
```

Den vanligste feilmeldinga er: filx.xxx can't be opened. Dette betyr (forhåpentligvis) bare at katalogen i set soilN\_NO= D:\ohb\ppk300\_sim\ er feilaktig angitt eller at filnavnet er stavet feil, ikke finnes, eller at eventuell navneendring har vært feil eller ufullstendig.

## 2.3. Uttak, databehandling og framstilling (numerisk eller grafisk) av simulerings-resultater (i SAS)

.....



### 3. Energianalyse (ved Arve Skutlaberg)

Eg viser her til kap. 15 i Loomis & Connor 1992. For folk som er interesserte i bioenergi vil eg anbefala Eid Hole (2001).

Det finst minst 4 hovudmåtar for å gjennomføra ein energianalyse (Almquist 1995):

- ✓ **Prosessmetoden:** Dette er den vanlegaste metoden ved analyse av produksjonsprosessar. Den tek utgangspunkt i energien som trengst for ulike steg i prosessen, energien som ligg bak produksjon av innsatsfaktorar og energien i produkta. Kvotienten mellom inngåande energi i prosessen og utgåande energi i produkta (*Input / output-ratio*) er eit mål på energieffektiviteten. Det er denne metoden som er vist i kap. 15 i Loomis & Connor (1992) og som vi skal bruka her i kurset. Metoden kan gjennomførast med ulikt detaljeringsnivå. Til dømes kan ein rekna nettoenergi i den dieselen traktoren forbrukar, eller også ta med energikostnadene ved produksjon og distribusjon av diesel, frå oljekjelda fram til traktortanken. Eit anna døme kan vera at ein i enkelte høve ønskjer å rekna fordøyeleg energi av produkta (ernæringsverdien), i andre tilfelle energi som brennverdien av produkta. Sjå omtale av dette nedanfor
- ✓ **"Input- / output"-metoden:** Dette er ein metode med bakgrunn i økonomisk teori for vareflyt mellom ulike sektorar i samfunnet. Den reknar varestraumen i pengeeiningar som så kan omreknast til energieiningar.
- ✓ **Exergianalyse:** Exergi er eit mål på den fysiske kvaliteten av energien i eit gjeve miljø, definert ut frå evna til å utføra mekanisk arbeid. Energien vert rekna som ikkje-forbrukbar. Ved ein prosess, t.d. ved brenning av olje, går energien over i nye former med lågare exergi (d.v.s. kvalitet). Det gjeld difor å hushalda med exergien. Denne analysemetoden vert t.d. brukt på industrielle prosessar med mange suksessive energiomformingar. Tabellen nedanfor viser energikvaliteten til ulike energikjelder (etter Almquist 1995):

- Mekanisk arbeid:	100 %
- Elektrisitet:	100 %
- Solstråling	95 %
- Kjemisk energi i brensel:	ca. 95 %
- Damp i eit varmekraftverk:	60 %
- Kokande vatten:	29,5 %
- Spillvarme:	ca. 5 %
- Varmen i omgjevnaden til prosessen:	0 %

- ✓ **Emergianalyse:** Emergi er ei forkorting for energy memory (energiminne). Metoden er utvikla av systemøkologen Howard Odum (t.d. Odum 1996). Solenergien vert rekna som grunnlaget for all energi i eit økosystem. Alle ting, prosessar og hendingar har ei energimessig forhistorie (energiminne, *emergy*) som kan først attende til solenergien. Eininga for dette er Solar Emery Joule (sej). Omrekningsfaktoren frå "vanleg" energi til emergi vert kalla transformitet og har nemninga sej/J (energiminne pr. eining tilgjengeleg energi i dag). Omrekningsfaktoren (transformiteten) for nokre ledd i eit mais-system i USA er gjeve nedanfor (etter Almquist 1995):

- Solstråling	1	sej/J
- Regn:	$1,82 \cdot 10^4$	sej/J
- Matjord:	$6,3 \cdot 10^4$	sej/J
- Pesticid:	$1,2 \cdot 10^9$	sej/J
- Nitrogen gjødsel:	$1,69 \cdot 10^8$	sej/J

Som ein ser kan emergi-begrepet tilpassast naturlege prosessar og ressursar. Det kan også inkludera kunnskaps- og pengeressursar i systemet. Emergianalyse skal vera velegna for systemøkologisk evaluering av handlingsalternativ i spørsmål om bruk av naturressursar og konsekvensar for miljøet. I Sverige har metoden også vore brukt for å studera jordbrukssystem, sjå t.d. Rydberg & Jansén (2002).

### 3.1. Prinsipp for kvantifisering av energi (etter Uhlin 1999)

- ✓ Solenergi: Energien i solstrålinga som når eit areal jordbruksland i vekstsesongen.
- ✓ Forbruk av importert energi (*Commercial energy*): Samleomgrep på all energi som vert kjøpt inn til bruk i produksjonsprosessen. Den kan bereknast på to måtar:
- ✓ Nettoenergi (*Site energy*): Netto energimengde levert til ei brukar i form av straum, drivstoff etc. eller i ei innsatsvare.
- ✓ Primærenergi (*Primary energy*): Energimengde levert til ei brukar i form av straum, drivstoff etc. eller i ei innsatsvare, inkludert energi brukt til produksjon, overføring og distribusjon.

Importert energi vert også klassifisert i to andre undergrupper:

- ✓ Direkte energi: Direkte forbruk av energibærarar (straum, drivstoff, olje).
- ✓ Indirekte energi: Energi i andre innsatsvarer. Importert fôr i husdyrproduksjonen kjem her i ei mellomklasse, i og med at det også er forbruk av ein energibærar. Importert fôr vert difor ofte angitt separat.

Mange analysar tek også med energi nytta til produksjon av maskiner, driftsbygningar, grøfting av jord etc. Dette finst det tabellverdiar for.

Eininga GER (*Gross energy requirement*) er eit mål på importert energi. Den er definert som summen av *direkte primærenergi* (PDE) og *indirekte primærenergi* (PIE).

$$\text{GER} = \text{PDE} + \text{PIE}$$

- ✓ Energi i produkt: Energien i produkt frå jordbruket kan målast på to måtar:
- ✓ Brennverdien (*kaleorimetrisk verdi*): Energien som vert frigjeven ved forbrenning.
- ✓ Omsetteleg energi: Ernæringsverdien av produktet som menneskemat eller dyrefôr.

Jansén (2001) nyttar ein kombinasjon av desse metodane: Brennverdi av planteprodukt, ernæringsverdi av husdyrprodukt. Eg vil rå til at studentane drøftar kva energimål som best dekkjer spørsmålsstillinga dei har i oppgåva (total energiproduksjon i produkta, eller produksjon av fordøyeleg energi).

- ✓ Energi til arbeidskraft: I eit mekanisert landbruk betyr dette lite, men i system som byggjer på manuelt arbeid er denne posten viktig. I enkelte analysar er dette med, i andre er det utelete.

Mål på energieffektivitet (tre døme):

- ✓ *Output/input – ratio*: Energi i produkt / Importert energi.
- ✓ Energi i produkt som % av solenergien.
- ✓ Energiforbruk pr. kg av produktet

### 3.2. Energieiningar og talstørrelsar:

I litteraturen eg viser til i dette notatet er energi oppgjeven i eingane Joule (J) eller Wattime (Wh). Ei eldre eining som framleis er i bruk er Kalori (cal). Den er særleg nytta innan humanernæring. Kosthaldstabellar nyttar ofte både cal og J. I samband med produksjon og forbruk av kraft (elektrisitet, varme etc.) er det mest vanleg å nytta Wh. Elles er det vanleg å nytta J.

- ✓ 1 J = 1 Wattsekund (Ws)  $\Leftrightarrow$  1 kWh = 1 000 Wh = 3,6 MJ = 3 600 000 J
- ✓ 1 kalori (cal)  $\approx$  4,184 J

I faget husdyrnæring nyttar me i Noreg ulike variantar av Foreining (Fe) som energimål på nettoenergien som dyret utvinn frå fôret til produksjon og vedlikehald. I mjølkeproduksjonen tilsvarar 1 Fe 6 900 kJ nettoenergi (Gjefsen 1995). Föreiningar vert også nytta i Danmark, medan Sverige nyttar joule.

J og Wh er små einingar. For å unngå å skriva mange siffer brukar vi følgjande prefiks:

k (kilo)	= $10^3$ =	1 000
M (mega)	= $10^6$ =	1 000 000
G (giga)	= $10^9$ =	1 000 000 000
T (tera)	= $10^{12}$ =	1 000 000 000 000
P (peta)	= $10^{15}$ =	1 000 000 000 000 000
E (exa)	= $10^{18}$ =	1 000 000 000 000 000 000

Når ein skriv er det viktig å velja ei eining og nytta den gjennom heile dokumentet. Det kan bety at ein må rekna om tal som vert refererte frå anna litteratur. For lesaren vert det vanskeleg å følgja med dersom skribenten til dømes hoppar mellom PJ, TWh og MJ. Eit døme på kor gale det kan gå finst i Uhlin (1999). I teksten vert det nytta MJ, medan dei tre hovudfigurane i Fig. 1 i følgje figurteksten er i PJ. Dette stemmer ikkje. Etter mykje frustrasjon, forsøk på omrekning og samanlikning med eldre utgåve av Fig. 1 i Uhlin & Hoffman (1995) viste det seg at tala i figurane er oppgjevne i TWh!! Sjølv den beste kan gå seg vill her.

### 3.3. Døme på nyare nordisk litteratur om energianalysar i jordbruket

#### 3.3.1. Nasjonalt nivå:

Etter oljekrisa på byrjinga av 1970-talet vart det i mange land utarbeidd energianalysar for jordbruket på nasjonalt nivå. Desse byggjer på analysar av og omrekning frå tilgjengeleg landbruksstatistikk.

I Noreg kom det ei slik utgreiinga i 1980, med eit historisk attersyn på energibruken attende til 1929 (Breirem et al. 1980 og Breirem 1980). Breirem et al. (1980) har henvisningar til samtidige svenske, danske og engelske analysar. I Sverige og Danmark finst det tilsvarande analysar av nyare dato: Sverige: Uhlin (1999), Danmark: Schroll (1994).

**Tabell 1:** Energieffektivitet målt som *Output/input* – *ratio* for energi i jordbruket frå tre energianalysar frå Norden (d.v.s.: Energi i produkt / Energiforbruk i produksjonen ekskl. solenergi).

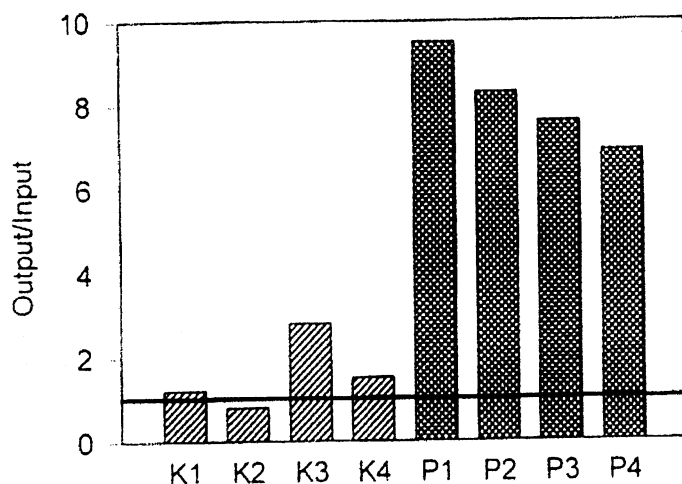
	Årstal for analysar i Norge, Danmark, Sverige						
	1939, 1936	1949, 1950	1955, 1956	1959, 1960	1969, 1970, 1972	1979, 1980	1990, 1993
Noreg (utrekna etter Breirem et al. 1980)	0,6	0,5	-	0,3	0,3	0,2	-
Danmark (Schroll 1994)	3,9	2,6	1,9	1,5	1,1	1,1	1,0
Sverige (Uhlin 1999)	-	-	0,9	-	0,8	-	1,1

Som ein ser frå Tabell 1 er energieffektiviteten, målt som *Output/input* – *ratio*, lågare i Noreg enn i Sverige og Danmark. Det skuldast dels måten den norske utrekninga er gjort på. Breirem et al. (1980) har nemleg brukt omsetteleg energi som mål for energiinnhaldet i produkta frå jordbruket. Det vil seia at ein har nytta ernæringstabellar for å finna energiinnhaldet i ulike produkt, ikkje tabellar over brennverdien. Dette gjev lågare energihald, særleg for protein og fiberrike produkt. Dei svenske og danske analysane brukar brennverdien som energimål. Ei anna forklaring på låg energieffektivitet i Noreg er at landbruk her i landet har ein anna struktur og andre klimatiske føresetnader enn i våre naboland. Men truleg gjer ulike føresetnader og berekningsmåtar det også vanskeleg å samanlikna desse analysane.

### 3.3.2. Gards- eller systemnivå:

Eg vil nemna 3 nyare nordiske artiklar om energianalysar på gards og / eller systemnivå:

- Refsgaard et al. (1995) presenterer ein modell for energiforbruk på økologiske og konvensjonelle mjølkeproduksjonsbruk. Denne artikkelen inneheld ein god del estimat over energiforbruk i ulike kulturar og energiinnhald i innsatsvarer, med bakgrunn i dansk jordbruk.
- Vester (1995) refererer energianalysar på 4 mjølkeproduksjongardar og 4 gardar med planteproduksjon i Danmark. Han kommenterer også Refsgaard et al. (1995). Her er det energirekneskap for dei 8 gardane, kalkylar for økologisk og konvensjonell bygg og omrekning til brennverdi for bygg. Eit resultat er vist i figuren nedanfor:



Forhold mellom output og input at energi på modeljendommene.  
(K = mjølkeproduksjon, P = planteproduksjon)

- Jansén (2001) har laga energirekneskap for Viksta sokn nord om Uppsala i Sverige for åra 1927, 1956 og 1981. I 1981 omfatta denne sokna 51 gardar. Studien syner korleis energistraumane i eit lokalt jordbrukssamfunn har endra seg over tid. Han lanserer m.a. ein Index Y (Energi i planteprodukt + 10 x Energi i husdyrprodukt) for å kunna samanlikna tidsepokar med ulikt husdyrhald. Bakgrunnen for denne indeksen er det økologiske prinsippet om at kvart steg opp i næringskjeda tilsvarar eit energitap i biomasse på 90 %. Ein Emergi-versjon av granskinga ligg føre i Rydberg & Jansén (2002). Nokre resultat er viste nedanfor:

FIGURE 2. External inputs, in energy terms, to farming in Viksta parish in the years studied.

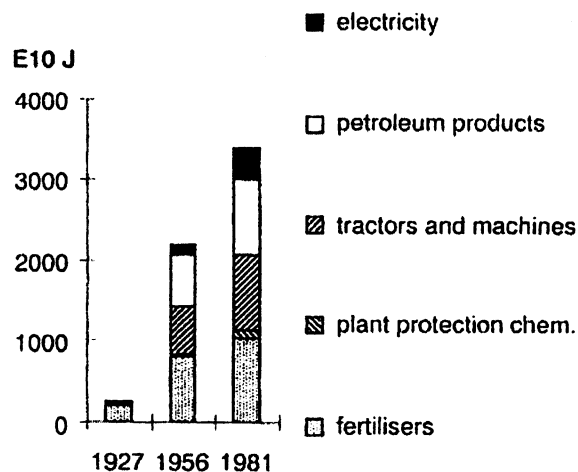
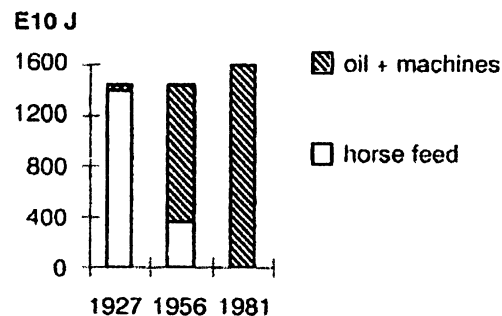


FIGURE 3. Energy used for field work in Viksta parish in the years studied (energy in 85% of total horse feed, 80% of fossil fuel, 90% of energy in machinery).



(E10 =  $\times 10^{10}$ )

Utrekna etter Jansen (2001):

		1927	1956	1981
<i>Output: Planteprodukt:</i>	GJ	81 590	81 530	128 650
<i>Output: Husdyrprodukt:</i>	GJ	5 640	5 350	7 710
<b>Sum Output:</b>	<b>GJ</b>	<b>87 230</b>	<b>86 880</b>	<b>136 360</b>
<b>Sum Input:</b>	<b>GJ</b>	<b>2 600</b>	<b>22 000</b>	<b>34 000</b>
<b>Output/Input-ratio:</b>		<b>33,6</b>	<b>3,9</b>	<b>4,0</b>

- Hoffmann & Uhlin (1997) har publisert berekningsgrunnlag for energianalysane til Uhlin (1999) og Jansén (2001). Publikasjonen inneheld mykje dokumentasjon og forklaringar på energikalkylar i svensk jordbruk.

### 3.4. Energibudsjett på garden

Studentane lagar eit enkelt energibudsjett for garden, basert på middeltal dei kan finna i opplysningane frå garden og faktorar for omrekning til energi, sjå nedanfor.

#### 3.4.1. Solenergi

Finn innstrålt energi pr. daa i meterologiske data for Ås.

#### 3.4.2 . Innsats av importert energi i produksjonen

##### 3.4.2.1. Direkte primærenergi (PDE) (elektrisitet, diesel, olje):

- Straum: Prøv å få greie på kor mange kWh elektrisitet som vert bruk i drifta på garden. Bruk tal frå 2001 for letthets skuld. Dersom ein ønskjer å ta omsyn til energiforbruk ved produksjon og distribusjon av kraft må vi leggja til ca. 6 % (Breirem et al. 1980). Vi kan vidare velja å ta omsyn til verknadsgraden i kraftverket (85 % for vasskraft, Hoffmann & Uhlin 1997, s. 11).
- Diesel og olje: Prøv å få greie på kor mykje diesel som vert nytta i drifta på garden. For energiinnhald i oljeprodukt har eg funne følgjande verdiar:
  - ✓ Diesel: 35,6-35,9 MJ/liter (Hoffmann & Uhlin 1997, Refsgaard et al. 1995), 43 MJ/kg (Loomis & Connor 1992). Desse forfattarane har også tal for smørjeolje etc. dersom de vil ta med dette.
  - ✓ Multipliser dette talet med 1,1 for å korrigera for produksjons- og distribusjonskostnader (Hoffmann & Uhlin 1997, s. 13)

##### 3.4.2.2. Indirekte primærenergi (PIE) (energi i innsatsfaktorar):

- Handelsgjødsel: Over tid har energiforbruket ved industriell produksjon av nitrogen i handelsgjødsel gått ned, medan det tilsvarande har auka for fosfor og kalium.
- - ✓ Nitrogen: 36-38 MJ/kg N (Hoffmann & Uhlin 1997, Refsgaard et al. 1995)  
60 MJ/kg N (Loomis & Connor 1992)  
64,8 MJ/kg N (Breirem et al. 1980, s. 99)  
57,46 MJ/kg N (West & Marland 2002a)
  - ✓ Fosfor: 16-17 MJ/kg P (Hoffmann & Uhlin 1997, Refsgaard et al. 1995)  
14 MJ/kg P (Loomis & Connor 1992)  
16-26 MJ/kg P (Breirem et al. 1980, s. 99)  
7,03 MJ/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (West & Marland 2002a)

- ✓ Kalium: 5-6 MJ/kg K (Hoffmann & Uhlin 1997, Refsgaard et al. 1995)  
10 MJ/kg P (Loomis & Connor 1992)  
9 MJ/kg N (Breirem et al. 1980, s. 99)  
6,85 MJ/kg K<sub>2</sub>O (West & Marland 2002a)
- Kalk: Her er det noko skilnad etter kva for kalkstein ein brukar:  
0,018-0,144 MJ/kg kalksteinsmjøl (Hoffmann & Uhlin 1997)  
0,21 MJ/kg kalksteinsmjøl (Refsgaard et al. 1995)  
1,00 MJ/kg handelsvare (Breirem et al. 1980, s. 99)  
1,71 MJ/kg CaCO<sub>3</sub> (West & Marland 2002a)
- Plantevernmiddel: Energiverdien varierer mykje frå preparat til preparat. Det er viktig å rekna ut energiverdien med bakgrunn i kor mykje middel som vert brukt. Nyare preparat er ofte energikrevjande i produksjon, men vert brukte i svært låge dosar pr. daa.
  - ✓ MCPA: 130 MJ/kg (Loomis & Connor 1992)
  - ✓ Glyphosat: 450 MJ/kg (Loomis & Connor 1992)
  - ✓ "Pesticid": 40-100 MJ/kg (Loomis & Connor 1992, Refsgaard et al. 1995)
  - ✓ "Växtskydd", middeltal: 263 MJ/kg (Hoffmann & Uhlin 1997)
  - ✓ *Herbicide* 266,56 MJ/kg (West & Marland 2002)
  - ✓ *Insecticide* 284,82 MJ/kg (West & Marland 2002)
  - ✓ *Fungicide* 288,88 MJ/kg (West & Marland 2002)
  - ✓
- Såfrø og setjepoteter: For såfrø og setjepoteter eksisterer det ulike system for energiberekningar. Her skal vi ta omsyn til energiinnhaldet i såvara, og energi til tørking og anna handtering.
  - ✓ For energiinnhald i ulike typar frø og planteprodukt, sjå Tabell .
  - ✓ For energi til tørking og handtering: 0,65 MJ/kg såkorn.
  - ✓ For lagring av setjepoteter har eg ikkje funne noko tal.

Vester (1995) oppgjev energiforbruket til såfrø i byggproduksjonen til 20MJ/daa, men dette må vera frårekna energien i sjølve kornet.

- Tørking av korn: Breirem et al. (1980) reknar 84 MJ pr. % vatn pr. 1000 kg. Hoffmann & Uhlin (1997) reknar eit energiforbruk på 0,288 MJ/kg korn som vert tørka ned 5 %, noko som ligg noko høgare enn Breirem sine tal (0,42 MJ tilsvarande).
- 
- Vatning: Refsgaard et al. (1995) brukar eit tal på 4,38 MJ/mm vatning pr. daa. Vester (1995) opererer med ei optimal vatning til bygg på 610 MJ/daa og år. Prøv å finna betre tal! Her i landet er det vanleg å ha vatningspumper med el-motorar. Då ligg energiforbruket inkludert i det totale straumforbruket på garden.
- 
- Rundballeplast: Hoffmann & Uhlin (1997) reknar eit energiforbruk ved produksjon av rundballeplast til 71,64 MJ/kg.
- 
- Innkjøpt fôr: Hoffmann & Uhlin (1997, s. 22) kjem fram til følgjande tal, basert på svensk kraftfôrproduksjon i 1993:
  - ✓ Energiinnhald i kraftfôret (brennverdi): 14,52 MJ/kg salsvare
  - ✓ Energi til produksjon, transport etc.: 1,14 MJ/kg salsvare
  - ✓ SUM 15,66 MJ/kg salsvare

Breirem et al. (1980) nyttar **omsettbar energi** i kraftfôret som energimål og kjem til følgjande resultat:

✓ Energiinnhald i kraftfôret (omsettbar energi), tal frå 1979:

Gris og kli av matkorn:	4,56 MJ/kg
Mais:	6,25 MJ/kg
Durra:	5,30 MJ/kg
Kveite & rug:	4,56 MJ/kg
Havre og blandakorn:	4,88 MJ/kg
Oljevekstar:	7,47 MJ/kg
Silde- og fiskemjøl:	20,00 MJ/kg
✓ Maling, blanding, pelletering:	0,175 MJ/kg
✓ Tørking:	0,092 MJ/kg
✓ Emballasje:	0,200 MJ/kg
✓ Transport:	0,462 MJ/kg

### 3.4.3. Energi i husdyr og invisteringar

#### 3.4.3.1. Energi i husdyr:

Dyreslag:	Slaktevekt, kg:	Brutto energiinnhald, MJ pr. kg slaktevekt <sup>1</sup>	Ernæringsmessig (omsetteleg) verdi, MJ pr. kg kjøtt <sup>2</sup>
Storfé, vaksne dyr	240	24,63	6,60
Storfé, større kalv	140	21,23	6,60
Storfé, mindre kalv	21,6	21,23	3,71
Hest	-	20,88	4,72
Småfé	18,2	30,24	8,75
Svin	62,5	20,44	11,55
Fjørfé	-	10,33	6,00

<sup>1</sup> Omrekna frå Hoffmann & Uhlin (1997)

<sup>2</sup> Tal frå Breirem et al. 1980, s. 113.

•

#### 3.4.3.2. Energi i maskiner, bygningar og tekniske anlegg:

Både Breirem et al. (1980) og Hoffmann & Uhlin (1997) har berekningsmåtar for dette. Dei baserer seg på MJ pr. maskinvekt. I denne semesteroppgåva held vi dette utanom.

### 3.4.4. Energi som vert resirkulert på garden



### 3.4.4.1. Energi i husdyrgjødsel:

Eg har funne to tilnæringsmåtar for fastsetjing av energien i husdyrgjødsla:

- ✓ Den energien i fôret som ikkje vert fordøydd hamnar i husdyrgjødsla. Ein kan altså rekna seg fram til energiverdien via fôrforbruket. Hoffmann & Uhlin (1997) oppgjev ein tommelfingerregel: 30 % av energien i fôret hamnar i gjødsla.
- ✓ Eid Hole (2001) oppgjev tal for kva teoretisk potensial gjødsla har for produksjon av biogass i Noreg:

Dyreslag	Gjødselmengde, m <sup>3</sup> pr. dag	Organisk tørrstoff, kg pr. dag	Biogass, m <sup>3</sup> pr. dag	Energiproduksjon, MJ pr. dag
1 mjølkeku	0,045	4,0	0,8-1,2	16,92-25,56
10 slaktegris	0,045	3,6	1,1-1,4	23,40-29,88
100 høns	0,016	2,2	0,9-1,3	19,08-27,72

### 3.4.4.2. Energi i ikkje hausta avlingskomponentar:

- ✓ **Eng og korn:** Her brukar vi middeltal for avling i røter, stubb, halm etc. slik det vert utrekna i MILDRI-modellane.
- ✓ **Potet:** Det finst lite stoff om avlingskomponentar i potet. Skjelvåg (2000) oppgjev følgjande: Tørrstoff i potetris: 37,5 % av total tørrstoffavlinga, d.v.s. risavlinga er 50-60 % av knollavlinga. Rotmengd: 150 kg pr. daa. Begge desse estimata er usikre og ikkje underbygde med norske forsøk.
- ✓ **Kålrot:** Ved svak gjødsling bør bladmengda liggja på ca. 25-30 % av kålrotavlinga (forsøk refererte av Skaland 1990). Bladavlinga avtek utover hausten. Eg har ingen tal for rotmengd i kålrot.

### 3.4.5. Energi i produkt

Også for utrekning av energi i produkt må ein bestemma seg for om det er brennverdien eller omsetteleg energi ein vil rekna med. Dette valet får store konsekvensar for resultatet. Det må grunngjevast ut frå bruksområdet eller målet med analysen.

Ein bør prøva å gjera eit overslag over kor stor del av totalavlinga som er salsvare og kor stor del som er svinn. Kva skjer med det fråsorterte eller svinnet? Vert det resirkulert på garden eller selt? For poteter og korn vil ein del av avlinga nyttast som såvare.

Tabellen nedanfor gjev energiverdiar for ein del produkt frå landbruket, både bruttoenergi (brennverdi) og omsetteleg energi. Kjelder: <sup>1</sup> Hoffmann & Uhlin (1997). <sup>2</sup> Den store matvaretabelen. <sup>3</sup> Eiga utrekning på bakgrunn av Hoffmann & Uhlin (1997).

Produkt	Bruttoenergi, MJ/kg tørrstoff <sup>1</sup>	Fordøyeleg energi i % av bruttoenergi <sup>1</sup>	Omsetteleg energi i % av bruttoenergi <sup>1</sup>	Tørrstoff, % <sup>1</sup>	Omsetteleg energi, MJ/kg vare inkl. vatn <sup>3</sup>	Energiinnhald etter Matvaretabelen, MJ/kg vare inkl. vatn <sup>2</sup>
Kveite, heilkorn	18,45	87 %	76 %	85 %	11,92	12,07
Kveite, halm	18,12	43 %	36 %	83,50 %	5,45	
Rug, heilkorn	18,20	87 %	76 %	85 %	11,76	
Rug, halm	17,99	43 %	37 %	83,50 %	5,56	
Bygg, heilkorn	18,33	81 %	72 %	85 %	11,22	
Bygg, halm	18,91	41 %	35 %	83,50 %	5,53	
Havre, heilkorn	20,04	70 %	62 %	85 %	10,56	
Havre, halm	18,03	43 %	37 %	83,50 %	5,57	
Rapsfrø	27,74	80 %	80 %	82 %	18,20	
Rapshalm	18,33	32 %	25 %	84 %	3,85	
Rybsfrø	27,74	80 %	80 %	82 %	18,20	
Rybshalm	18,33	32 %	25 %	84 %	3,85	
Høy	18,35	59 %	52 %	83,50 %	7,97	
Fôrbetar, snitta	18,62	69 %	56 %	18 %	1,88	
Surfôr av eng	18,41	61 %	55 %	23 %	2,33	
Andre fôrvekstar	17,15			15 %	0,00	
Frøhøy	19,04	45 %	36 %	88 %	6,03	
Potet	16,99	88 %	77 %	22 %	2,88	2,89
Fôrbetar	17,36	83 %	74 %	24 %	3,08	
Erter	18,95	84 %	72 %	88 %	12,01	14,12
Grønsaker	16,74			14 %	0,00	
Heilmjøl	24,31	93 %	89 %	12,80 %	2,77	2,77
Skummamjøl	18,83	90 %	76 %	9 %	1,29	1,41
Tørrmjøl	19,00	89 %	76 %	92 %	13,28	
Kokosmjøl	20,08	82 %	73 %	92 %	13,49	
Sojamjøl	20,92	85 %	70 %	90 %	13,18	17,33
Betemasse	17,11	89 %	74 %	25 %	3,17	
Melasse	15,69	90 %	79 %	75 %	9,30	
Maisgluten	21,71	90 %	74 %	90 %	14,46	
Kveitekli	18,16	70 %	61 %	85 %	9,42	6,99
Fôrmjøl av kveite	19,16	80 %	70 %	88 %	11,80	
Kjøtfôrmjøl	15,77	87 %	74 %	95 %	11,09	

Kålrotsorten 'Vige', som er mykje dyrka til mat, inneheld ca. 9,5-10 % tørrstoff. Tørrstoffet fordeler seg på følgjande måte: råprotein: 9%, feitt: 1 %, N-frie ekstraktstoff (mest glukose og fruktose): 73 %, trevlar: 10 %, oske: 7 % (Opsahl 1974, Davik 1992). Rekn ut energiinnhald i kålrot ut frå tala i Loomis & Connor (1992), s. 404.

### 3.4.6. Mål på energieffektivitet

- *Output/input – ratio*: Energi i produkt / Importert energi.
- Energi i produkt som % av solenergien.
- Energiforbruk pr. kg av produktet

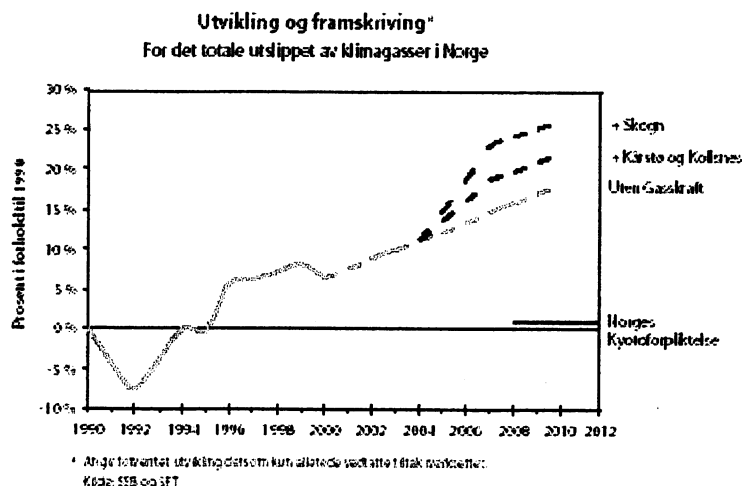
## 4. CO<sub>2</sub> og karbonbudsjett på gardsnivå

### 4.1. Klimagassar i Noreg

Utslepp, omsetning og lagring av karbon har stått sentralt i miljødebatten dei siste åra. Dette skuldast ønskje om å redusera utslepp av klimagassar til atmosfæren. I landbruket er vi særleg opptekne av dei 3 klimagassane CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O. Norsk jordbruk bidreg lite til utslepp av CO<sub>2</sub> (berre 0,38 %), medan næringa er blant hovudaktørane når det gjeld utslepp av CH<sub>4</sub> (33 %) og N<sub>2</sub>O (49 %) (Miljøverndepartementet 2002, Singh & Lal 2001). Samla stod landbruket for 9 % av klimagassutsleppa i 2000. Kjeldene til utslepp av CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O er husdyr og omsetnad av nitrogen i jord. Utsleppa frå landbruket har gått ned med 4 % frå 1990 grunna redusert N<sub>2</sub>O-utslepp som følgje av svakare gjødsling (SFT 2002b).

Globalt oppvarmingspotensial (*Global warming potential*) vert nytta som samanlikningsgrunnlag for oppvarmingseffekten av den enkelte klimagassen. Dette vert uttrykt i CO<sub>2</sub>-ekvivalentar. Denne eininga angjer akkumulert oppvarmingseffekt over eit gjeve tidsrom i høve til CO<sub>2</sub>, som har eining 1. Ein 100-årsperiode vert nytta i berekningar av nasjonale utslepp. CH<sub>4</sub> tilsvarar då ein omrekningsfaktor på 21 CO<sub>2</sub>-ekvivalentar, og N<sub>2</sub>O ein omrekningsfaktor på 310 CO<sub>2</sub>-ekvivalentar (SFT 2002a).

I følgje Kyoto-protokollen er Noreg forplikta til å stabilisera utsleppa av klimagassar på 1990-nivå + 1 %, d.v.s. 52,5 mill. CO<sub>2</sub>-ekvivalentar innan 2010-2012. Tala frå 2000 viser at vi ligg ca. 5,2 % over dette målet, d.v.s. på 55,2 mill. CO<sub>2</sub>-ekvivalentar. Det meste av dette er CO<sub>2</sub> (SFT 2002b). Biltrafikk og oljeindustrien er dei store kjeldene for klimagassar her i landet. Figuren nedanfor viser prognosar for utviklinga framover, med og utan nye gasskraftverk (SFT 2002a):



## 4.2. CO<sub>2</sub> og norsk landbruk

I samband med CO<sub>2</sub> er landbruket er først og fremst interessant i samband med lagring av karbon frå atmosfæren, og hushald av slike lager. I engelskspråkleg litteratur nyttar ein uttrykket *carbon sequestration* for karbonlagring. Følgjande forhold er av interesse:

- **Skogbruk:** Opptak og lagring av CO<sub>2</sub> i skog. Dette utgjer årleg 14-18 mill. tonn CO<sub>2</sub>, eller 34-43 % av samla utslepp her i landet. Dette vil truleg auka til ca. 20 mill. tonn over ein 10-15-årsperiode grunna auka tilvekst og stabil hogst i skogen (Miljøverndepartementet 2002, SFT 2002b). Lågt hogstvolum vil derfor i aukande grad verta miljømessig positivt, sjølv om det skogøkonomisk er negativt. I tillegg er det lagra betydelege mengder karbon i skogsjord, bygningar og ulike treprodukt. Den nordiske tradisjonen med bruk av tre i bygningar vil få fornya miljømessig aktualitet. Dette gjev skogbruket eit sterkt miljøpolitisk argument.
- **Bruksendring av jord med høgt karboninnhald:** Her i landet har vi mykje jord med høgt karboninnhald. Dette gjeld skogsjord, myrjord, beiter, varig eng etc. Singh & Lal (2001) utdjuar dette nærare. Slike arealtypar har vorte nytta både til skogreising og nydyrking. I framtida vil bevaring av karbonlageret på desse areala verta miljøpolitisk viktig. I jordbruket vil dette særleg koma til å berøra følgjande forhold:
  - ✓ Restriksjonar på nydyrking av skogs- og myrjord?
  - ✓ Auka interesse for skogreising på marginale jordbruksareal. Dette vil bidra til CO<sub>2</sub>-lagring både i trea, som råhumus på overflata og i jorda
  - ✓ Auka interesse for tilbakeføring av marginal grøfta skogs- og dyrkingsjord på myr til naturtilstanden. Singh & Lal (2001) oppgjev potensialet for slik karbonlagring under nordiske forhold til mellom 0,08-0,61 tonn C pr. hektar og år, tilsvarande 29-224 kg CO<sub>2</sub> pr. daa og år
  - ✓ Behov for nye driftsmåtar på myrjord som hindrar at torva oksyderar
- **Bruksendringar på åkerjord:** Dei siste 50-60 åra har kanaliseringspolitikken ført til eit klart skilje mellom husdyrbruk / engdyrking og åkerbruk her i landet. Dette gjeld både på regionalt nivå, men også mellom gardar. No for tida er det relativt få bønder som kombinerer engdyrking og åkerbruk. Dette har ført til at mykje av korn-, potet- og grønnsakdyrkinga skjer i omlaup med lite eller inga eng. Dyrkingssystem med mykje openåker fører til redusert innhald av organisk materiale i jorda. Denne omlegginga har også ført til einsidig åkerbruk på erosjonsutsett jord. Følgjande dyrkingmessige forhold kan påverka karbonbudsjettet på åkerjord:
  - ✓ Redusert jorderosjon: Singh & Lal (2001) har berekna eit samla tap av organisk stoff frå jordbruksjord i Noreg til ca. 475 tusen tonn C om året. I Søraust-Noreg reknar dei med eit tap på ca. ca. 52 kg C pr. daa og år. Av dette vil ca. 10,4 kg C pr. år (20 %) verta frigjeve som CO<sub>2</sub>, tilsvarande 38,1 kg CO<sub>2</sub>, pr. daa og år. Tiltak for å redusera erosjonen kan difor føra til redusert utslepp av CO<sub>2</sub>. Men i høve til CO<sub>2</sub>-lagring kan paradoksalt nok jorderosjon også ha ein positiv effekt. Resultat frå McCarty & Ritchie (2002) tyder på at mykje av det organiske materialet som vert erodert bort, hamnar i sedimenta i elvar og innsjøar. Her vert det langtidslagra, sjølv om noko etterkvart også vert frigjort som CH<sub>4</sub>.
  - ✓ Redusert jordarbeiding (harving eller direktesåing) har eit potensial for CO<sub>2</sub>-lagring på i middel 140 kg C pr. daa og år under norske forhold, tilsvarande 513 kg CO<sub>2</sub>, pr. daa og år. Dette er meir enn i andre europeiske og amerikanske granskingar (Singh

& Lal 2001). Singh & Lal (2001) anslår potensialet for CO<sub>2</sub>-lagring i Noreg som følge av redusert jordarbeiding til ca. 0,15 mill. tonn C pr. år. Dette er feil. Det rette må vera 0,015 mill. tonn C pr. år, tilsvarande 0,051 mill. tonn CO<sub>2</sub> pr. år, eller 32 % av CO<sub>2</sub>-utsleppet frå landbruket kvart år.

- ✓ Halm: Singh & Lal (2001) anslår at det å la halmen liggja att på åkeren fører til ei lagring av karbon på 10,9 kg C pr. daa og år, tilsvarande 40 kg CO<sub>2</sub> pr. daa og år.
- ✓ Gjødslingsnivå: Forsøk tyder på at rikeleg tilgang på nitrogen fremjar lagringa av karbon i jorda. Langvarige forsøksseriar som Singh et al. (1997) oppsummerar viser ein effekt i størrelsesorden 10 kg C pr. daa og år, tilsvarande 37 kg CO<sub>2</sub> pr. daa og år. Men her må vi også hugsa at auka N-tilførsel vil få utsleppa av N<sub>2</sub>O til å veksa, slik at klimaeffekten likevel kan verta negativ.
- ✓ Vekstskifte: Eng i vekstskifte aukar innhaldet av organisk materiale i jorda. Singh et al. (1997) fann at 4-års eng i eit 6-årig vekstskifte førte til ei auka karbonlagring på 32,5 kg C pr. daa og år over ein 37-årsperiode, tilsvarande 119 kg CO<sub>2</sub> pr. daa og år. Mindre andel av eng i omlaupet vil redusera verknaden.

Mykje av desse effektane kan også bereknast ut frå modellane i MILDRI. Over år med same dyrkingssystem og jordarbeidingsregime vil karbonoppbygging og CO<sub>2</sub>-frigjering gå mot ein jamvektstilstand.

- Produksjon av bioenergi i jordbruket: Oppfølging av dei internasjonale avtalane om klimapolitikken vil føra til større interesse for bioenergi som erstatning for fossilt brensel (olje og kol) til oppvarming. I tillegg vil straumprisar og ny teknologi for vassboren varme føra til større etterspurnad etter bioenergi. Eid Hole (2001) oppgjev følgjande potensial for norsk landbruk på dette området:
 

✓ Energivekstar:	Snøgtveksande skog ( <i>Salix</i> -artar):	2,4 TWh (8,64 PJ)
✓ Energigras:		0,8 TWh (2,88 PJ)
✓ Halm:		2,5 TWh (9,00 PJ)
✓ Gjødssel:		1,3 TWh (4,68 PJ)

Meir informasjon om dette kan hentast i boka til Eid Hole (2001).

- Agroforestry (bruk av tre i matproduksjon) er eit lite brukt uttrykk her i landet. I moderne landbruk har me utvikla eit klart skilje mellom jordbruk og skogbruk. Historisk har det ikkje alltid vore slik. Heilt fram til etter krigen var lauv (og i mindre grad bork) ein viktig fôrressurs. Store område som i dag er skog vart før intensivt utnytta til beitemark. Bork vart også hausta til garving av lær og fiskereiskap. I hassellundane plukka gutungane neter medan bonden sjølv skar tønneband. Fruktdyrking er eit anna døme der tre vert nytta til matproduksjon. Tre var også nytta til ved, vyrkje for reiskapar og båtbygging etc. Det var færre tre på gardane, men kvart tre var ein viktig og dyrebar ressurs i jordbruket, jf. skogen til Håvard Hedde. I dag kallar vi det gjerne for *kulturlandskap* som er i ferd med å gå tapt.

I mange land spelar *Agroforestry* og jordbruksnært skogbruk framleis ein stor rolle. Det å utvikla slike jordbrukssystem til å innehalda fleire tre og større andel fleirårige vekstar vil kunna verta ei kjelde til sal av CO<sub>2</sub>-kvotar i framtida (Gautam 2002).

### 4.3. Einingar for måling av karbon og CO<sub>2</sub>:

Utslepp av klimagassar vert målt i CO<sub>2</sub>-ekvivalentar, så omtale ovanfor. For gassen CO<sub>2</sub> er omrekningsfaktoren sjølv sagt 1. Eininga er gjerne tonn, tusen (k) tonn eller millionar (M) tonn CO<sub>2</sub>.

I samband med eit karbonbudsjett nyttar ein gjerne kg karbon (kg C) som eining.

1 kg CO<sub>2</sub> tilsvarar 0,2727 kg C [12\*(1/44)]

For karbohydratrik biomasse er det vanleg å rekna ca. 40 % C pr. kg tørrvekt (Singh & Lal 2001, Gautam 2002). For feitt ligg dette noko høgare, t.d. 75 % C pr kg tørrvekt for feitt bygd på palmitinsyre. Eg har ikkje funne lister over C-innhald i ulike plante- og dyreprodukt, men dette finst sikkert ein eller anna stad.

### 4.4. CO<sub>2</sub>-budsjett på garden

Eg vil her bruka ein modell for utarbeiding av CO<sub>2</sub>-budsjett på garden som er beskriven av West & Marland (2002b). Den har følgjande føresetnader og forenklingar:

- Opptak av karbon til gardssystemet skjer berre via binding av CO<sub>2</sub> frå atmosfæren i fotosyntesen. Prøv å laga eit anslag over kor mykje CO<sub>2</sub> planteproduksjonen på garden bind i løpet av eit år, brutto før nedbryting av planterestar etc.
- Den einaste lagringsmåten for karbon i systemet er som organisk stoff i jorda. Som nemnt ovanfor vil noko av karbonet i avlingsrestane, stubben og rotmassen lagrast for kortare eller lengre tid. For korn og gras vil MILDRI-modellen gje estimat for dette. I eit *agroforestry*-system vil det også skje ei lagring av karbon i tree, dersom trebiomassen aukar.
- Karbon i avlingar som vert selde ut eller importerte til garden vert ikkje rekna med. Dette vert bunde frå atmosfæren eit år og frigjort at innan kort tid. Eit unntak kan kanskje vera sal av halm til bruk i halmhus? Ein reknar heller ikkje med CO<sub>2</sub>-utslepp via respirasjon hjå planter eller dyr.
- Gjennom produksjonen vert CO<sub>2</sub> frigjort ved følgjande prosessar:
  - ✓ Forbrenning av fossilt brensel i maskiner etc.
  - ✓ Produksjon, distribusjon og forbruk av innsatsfaktorar.
  - ✓ Brenning av biomasse (halm-brenning, brenning av skog etc.).
  - ✓ Oksidering av avlingsrestar og organisk materiale i jorda ved jordarbeiding etc. Dersom tala for jorderosjon er store, bør ein også ta med eit estimat for CO<sub>2</sub>-frigjering via denne posten, jfr. estimata til Singh & Lal (2001) som er nemnde ovanfor. For grøfta myrjord bør ein også ta med eit estimat for myrsvinnet.

Denne analysen fører fram til 4 interessante parametarar:

- Kor mykje endrar karbonlageret i jorda seg, kg C.
- Kor mykje karbon vert frigjort som i løpet av produksjonsprosessen, kg C.
- Absolutt netto C-ballanse (*C-flux*) = C frigjort – C lagra (kg C).
- Relativ netto C-ballanse (*C-flux*) mellom to alternative driftsopplegg etc.

Denne analysen kan ein gjera både på gards- og skiftenivå.

Analysen for eit planteproduksjonssystem kan vera som i figuren nedanfor (frå West & Marland (2002b):

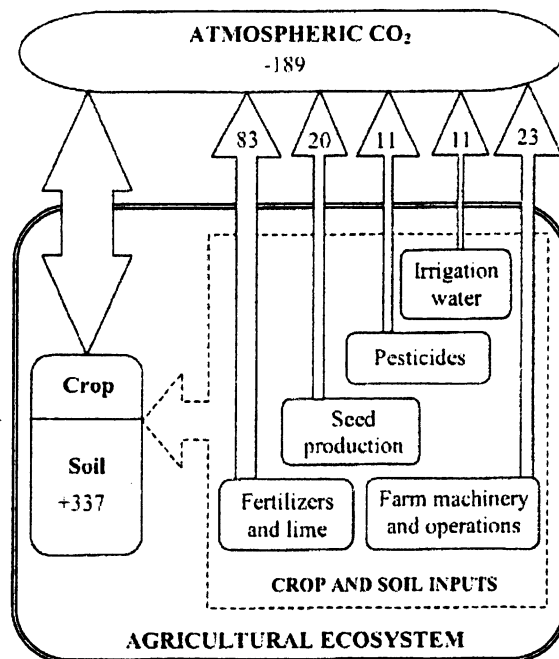


Fig. 1. Annual carbon flux in agricultural ecosystems for the early years following a change from conventional tillage to no-till, based on average US crop inputs. Values embedded in arrows measure rates of flow; other values measure changes in stocks. Rates of flow between the atmosphere and biosphere (crop:soil pool) are inherent in the change in soil carbon stock. Units in  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . Based on data in West and Marland (2001).

## 4.5. Estimat for frigjering av CO<sub>2</sub> frå ulike innsatsvarer

### 4.5.1. Forbrenning av diesel, olje etc.:

SFT (2002a) oppgjev følgjande tal for utslepp av CO<sub>2</sub> ved forbrenning av petroliumsprodukt (teoretiske utslippsfaktorar):

- ✓ Kol 2,52 kg CO<sub>2</sub>/kg
- ✓ Fyringsolje 2,66 kg CO<sub>2</sub>/liter
- ✓ Diesel 2,65 kg CO<sub>2</sub>/liter
- ✓ Bensin 2,32 kg CO<sub>2</sub>/liter
- ✓ Naturgass 2,34 kg CO<sub>2</sub>/Sm<sup>3</sup>

West & Marland (2002a) oppgjer tilsvarende tal, men pr. GJ energi i produktet. Dei tek også med utslepp frå transport av produkta fram til bonden:

Produkt	Utslepp av CO <sub>2</sub> ved forbrenning, kg C GJ <sup>-1</sup>	Utslepp av CO <sub>2</sub> ved transport, kg C GJ <sup>-1</sup>	Sum utslepp av CO <sub>2</sub> , kg C GJ <sup>-1</sup>
Bensin	18,34	2,93	21,27
Diesel	18,92	3,03	21,95
Anna olje	20,19	3,23	23,42
Naturgass	13,72	0,82	14,54
Kol	24,43	0,73	25,16
Ved	25,32	0,12	25,44

For straum kan vi gjera det enkelt og rekna med at all energien er vasskraft utan utslepp.

#### 4.5.2. Produksjon og distribusjon av handelsgjødsel og kalk

West & Marland (2002a) oppgjev følgjande tal for utslepp av CO<sub>2</sub> ved produksjon og distribusjon av handelsgjødsel og kalk. Tala baserer seg på noko høgare energiforbruk ved produksjon av N enn det som er oppgjeve i nyare nordiske studiar, t.d. Hoffmann & Uhlin (1997). For P og K må ein her rekna om til reint stoff. Mg = megagram = 1000 kg:

	Utslepp av CO <sub>2</sub> ved produksjon, kg C Mg <sup>-1</sup>	Utslepp av CO <sub>2</sub> ved transport, kg C Mg <sup>-1</sup>	Sum utslepp av CO <sub>2</sub> , kg C Mg <sup>-1</sup>
N	814,08	43,46	857,54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	110,00	55,09	165,09
K <sub>2</sub> O	75,28	45,00	120,28
CaCO <sub>3</sub>	7,41	28,32	35,73

#### 4.5.3. Plantevernmiddel

West & Marland (2002a) oppgjev følgjande tal for utslepp av CO<sub>2</sub> ved produksjon og distribusjon av plantevernmiddel:

	Utslepp av CO <sub>2</sub> ved produksjon, kg C Mg <sup>-1</sup>	Utslepp av CO <sub>2</sub> ved transport, kg C Mg <sup>-1</sup>	Sum utslepp av CO <sub>2</sub> , kg C Mg <sup>-1</sup>
Herbucid	4350,54	351,84	4702,38
Insecticid	4580,9	351,84	4931,93
Fungicid	4825,68	351,84	5177,52

#### 4.5.4. Såvarer

Den mest rette måten er å gå attende til energiforbruket ved produksjon av såvarer, og så skilja ut kor stor del av dette som skjer ved hjelp av fossil energi. West & Marland (2002a) oppgjev følgjande tal frå amerikansk landbruk:

	Utslepp av CO <sub>2</sub> , kg C pr. kg såvare
Bygg:	0,11
Havre:	0,12
Kveite, vår:	0,13
Kveite, haust:	0,11
Timotei:	0,68
Raigras:	0,54
Hundegras:	1,11
Raudkløver:	1,72

Eg har ikkje funne tal for setjepotet eller kålrot. Dette får studentane estimera sjølve.



#### 4.5.5. Utslepp av CO<sub>2</sub> ved maskinoperasjonar

West & Marland (2002a) oppgjev følgjande tal for utslepp av CO<sub>2</sub> ved maskinoperasjonar, basert på amerikansk jordbruk:

Farm operation	Diesel fuel used in machine operation		Energy in MTR <sup>a</sup> , (MJ ha <sup>-1</sup> )	Carbon emissions, (kg C ha <sup>-1</sup> )	CT <sup>b</sup> , (kg C ha <sup>-1</sup> )	RT <sup>b</sup> , (kg C ha <sup>-1</sup> )	NT <sup>b</sup> , (kg C ha <sup>-1</sup> )
	In l ha <sup>-1</sup>	In MJ ha <sup>-1</sup>					
Moldboard plow	21.78 <sup>c</sup>	1122	102	26.75	26.75	-	-
Disk	6.70 <sup>d</sup>	345	55	8.72	17.44 <sup>h</sup>	17.44 <sup>h</sup>	-
Planting	4.93 <sup>e</sup>	254	58	6.79	6.79	6.79	6.79
Single cultivation <sup>i</sup>	3.26 <sup>f</sup>	168	42	4.57	4.57	4.57	-
Fertilizer application	9.82 <sup>g</sup>	506	60	12.35	<sup>j</sup>		-
Pesticide application	1.22 <sup>g</sup>	63	56	2.54	<sup>j</sup>		-
Harvest w/combine	11.14 <sup>g</sup>	574	186	16.47	16.47	16.47	16.47
Total C emissions:							
Corn					72.02	45.27	23.26
Soybean and wheat <sup>i</sup>					67.45	40.70	23.26

a Energy embodied in manufacturing, transportation, and repair of machinery is from residual fuel (25%), distillate fuel (10%), coal (45%), electricity (8%), and human labor (12%) (Bowers, 1992; Boustead and Hancock, 1979; and Graedel and Allenby, 1995). Energy from human labor is not included in calculations for carbon emissions, because it is assumed that humans will respire carbon dioxide regardless of whether they are working

b CT, RT, and NT are conventional till, reduced till, and no-till, respectively.

c Sources of data for calculations of average fuel use are Collins et al. (1980), Gumbs and Summers (1985), Plouffe et al. (1995), Shelton (1980), Sijtsma et al. (1998), Tompkins and Carpenter (1980).

d Sources of data for calculations of average fuel use are Collins et al. (1980), Shelton (1980), Sijtsma et al. (1998), Smith (1993), Tompkins and Carpenter (1980).

e Sources of data for calculations of average fuel use are Collins et al. (1980), Tompkins and Carpenter (1980).

f Sources of data for calculations of average fuel use are Shelton (1980), Smith (1993).

g Source of data for calculation of average fuel use is Bowers (1992).

h Disking was counted twice to represent two passes over the field

i Single cultivation is not included in analyses for wheat, soybean, or other non-row crops.

j Since fertilizer and pesticide application does not necessarily occur on an annual basis, the associated C emissions need to be weighted with respect to the percentage of crops using fertilizers and pesticides (see Table 8).

#### 4.5.6. Vatning

West & Marland (2002a) oppgjev energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslepp ved vatning. Studentane kan rekna med at energiforbruket på dette området på dei aktuelle gardane er basert på elektrisk kraft.

#### Litteratur:

Almquist, A. 1995. Energi, exergi, emergi – vad är det? – Varför olika former av energianalyser och när och hur skall de användas. Kunkl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 134, (6), 27-32

Breirem, K. 1980. Landbruket som bruker av energi. Årsmelding fra Noregs landbruksvitenskapelige forskningsråd, 1980, s. 82-96.

Breirem, K., F. Reisegg, A. Njøs, H. Sande, T. Høyem, K. Rydland & G. Wilhelmsen. 1980. Energiforbruk ved produksjon av matvarer i norsk jordbruk 1929-1979. NLVF-utredning 111. Noregs landbruksvitenskapelige forskningsråd.

Davik, J. 1992. Sukker og glukosinolat i kålrot (*Brassica napus* L. Ssp. *Rapifera*). Norsk landbruksforskning 6: 215-221.

Den store matvaretabelen. 2001. Statens råd for ernæring og fysisk aktivitet, Statens næringsmiddeltilsyn & Institutt for ernæringsforskning, UiO. Gyldendal Undervisning, Oslo. ISBN 82-05-28500-4.

Eid Hole, E. (red.) 2001. Bioenergi. Miljø, teknikk og marked. Energigården. ISBN 82-995884-0-5.

Gautam, K.R. 2002. Carbon Sequestration in Agroforestry and Annual Cropping System in Inner Tarai, Central Nepal. MSc Thesis. Noragric, NLH.

Gjefsen, T. 1995. Fôringslære. Landbruksforlaget. ISBN 82-529-1732-1.

Hoffmann, R. & Uhlin, H.E. 1997. Resursflöden i jordbruket i energi-, fysiske og monetära termer – bakgrundsmaterial för 1993 års beräkningar samt sammanfattning för 1956, 1972 og 1993. SLU, institusjonen för ekonomi, Ämnesgruppen för företagsekonomi. Småskriftsserien nr 111. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. (57 sider) (*kopi finst i litteraturpermen*)

Jansén, J. 2001. Energy Analysis of Early, Mid and Late 20<sup>th</sup> Century Swedish Farming Systems: A Local Society Case Study. Journal of Sustainable Agriculture 17 (4), 9-25.

Loomis, R.S. & D.J. Connor. 1992. Crop ecology. Productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press.

McCarty, G.W. & J.C. Ritchie. 2002. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems. Environmental Pollution 116, 423-430.

Miljøverndepartementet 2002. Norway's third national communication under the Framework Convention on Climatic Change.

Odum, H. 1996. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. Wiley. New York. (*finst ikkje på BIBSYS, men kan kjøpast på <http://www.amazon.de>*).

Opsahl, B. 1974. Rotvekster. Landbruksbokhandelen.

Refsgaard, K., N. Halberg & E. Steen Kristensen. 1995. Energy utilization in crop and dairy production in organic and conventional livestock production systems. Upublisert notat. Statens Husdyrbruksforsøg. Danmark. (*ein litt ufullstendig kopi finst i litteraturpermen*)

Rydberg, T. & J. Jansén. 2002. Comparison of horse and tractor traction using emergy analysis. Ecological Engineering 19, 13-38.

Schroll, H. 1994. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 51, 301-310.

Singh, B.R. & R. Lal 2001. The potential of Norwegian soils to sequester carbon through land use conversion and improved management practices. The Ohio State University. September, 2001.

SFT 2002a. Utslipp av klimagasser i Noreg. Historisk utvikling. Statens forurensningstilsyn. (<http://www.sft.no/publikasjoner>)

SFT 2002b. National Inventory Report 2002 Norway. Statens forurensningstilsyn. (<http://www.sft.no/publikasjoner>)

Singh, B.R., T. Børresen, G. Uhlen & E. Ekeberg. 1997. Long-Term Effects of Crop Rotation, Cultivation practices, and Fertilizers on Carbon Sequestration in Soils in Norway. In: Management of carbon sequestration in soil (Ed. By R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett & B.A. Stewart. CRC Press, Boca Raton, New York, side 195-208.

Skaland, N. 1990. Forelesningshefte om rotvekster. Landbruksbokhandelen. Ås.

Skjelvåg, A.O. 2000. Avlingskurver for tørrstoffavling hos potet. Notat.

Uhlin, H.-E. & R. Hoffman 1995. Jordbrukets energibalans – några perspektiv på energiflöden i jordbruket 1956, 1972 och 1993. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 134 (6), 9-25.

Uhlin, H.-E. 1999. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 73, 63-81.

Vester, J. 1995. Energibalancer. SPrapport Nr. 9, 1995, kap. 8, s. 106-116. Statens Planteavlsvforsøg, Danmark.

West, T.O. & G. Marland. 2002a. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems & Environment 91, 217-232.

West, T.O. & G. Marland. 2002b. Net carbon flux from agricultural ecosystems: methodology for full carbon cycle analyses. Environmental Pollution 116, 439-444.