

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
KESKI-SUOMEN KOEASEMA

TIEDOTE N:o 4 1982

ENERGIAN TUOTTAMINEN PELLOLLA

Paavo Simojoki ja Sirkka-Liisa Rinne

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
K E S K I - S U O M E N K O E A S E M A

TIEDOTE N:o 4 1982

ENERGIAN TUOTTAMINEN PELLOLLA

Paavo Simojoki ja Sirkka-Liisa Rinne

LAUKAA 1982

ISSN 0356 - 7672

PÄÄTELMÄT

Mahdollisuuksista nostaa energiaomavaraisuutta tuottamalla energiatar-koitukseen soveltuvaa biomassaa pellolla voidaan todeta, että

- auringon energian sitominen viljelemällä kasveja pellolla on suhteellisen tehokasta. On tosin laskettu, että yhteyttäminen voisi teoriassa sitoa noin 10 % maan pinnalle tulevasta auringon energiasta. Käytännössä viljelykasvit pystyvät kuitenkin Suomessa käyttämään hyväkseen vain 0,2-0,6 % kasvukauden kokonaissäteilystä. Apuenergian avulla saatiin v. 1980 sidotuksi auringon energiaa 82 GJ/ha, mikä on noin 0,3 % kasvukauden säteilystä. Peltojen sadon koko energiasisältö oli 180 PJ ja koko maan energiankulutus 1000 PJ, josta tuontiöljy kattoi 500 PJ. Kasvinviljelyjätteistä hyödynnettävissä oleva energiamäärä oli noin 8 % öljyn energiasta.

- biomassan tuottaminen ja jalostaminen korkealaatuisiksi energiatuotteiksi kuten etanoliksi kuluttaa energiaa enemmän kuin tämä tuote sisältää. Ainoastaan sivutuotteiden tehokas hyväksikäyttö muuttaa energiataaseen positiiviseksi. Energiatalouden kannalta tehokkaampi tapa on tuottaa biomassaa kiinteäksi polttoaineeksi. Etanolin ja kasviöljyn tuottaminen moottoripolttoaineeksi puoltaa paikkaansa vain valmius-tyistä.

- etanolin ja kasviöljyn tuotantokustannukset ovat niin suuret, että ne eivät nykyisillä hinnoilla pysty kilpailemaan fossiilisten poltto-aineiden kanssa. Öljytuotteiden hinnan nousu kaventaa kuitenkin eroa jatkuvasti. Raaka-ainekustannukset ja sivutuotteiden arvo ovat ratkaisevat etanolin ja kasviöljyn kilpailukyvyille. Kiinteänä polttoai- neena käytetty biomassaa on jo kilpailukykyinen öljyn kanssa.

- nykyisen kulutusrakenteen ja satotason vallitessa peltoa riittää e- nergian tuotantoon 200 000-300 000 ha. Tällä alalla voidaan nykyisillä viljelykasveilla tuottaa joko

- kasviöljynä noin viidennes maatalouden tuotantotoimintaan tarvit- tavasta moottoripolttoaineesta tai
- etanolia nettoenergiämäärältään noin 9 % maan koko autokannan kuluttamasta bensiinistä tai
- kiinteää polttoainetta 3-9 % tuontiöljyn energiasta

- jos kulutus muuttuu minimiravinnon suuntaan, energiaviljelyyn voitaisiin siirtää jopa 1-1,5 milj. ha. Tilanteessa, jossa energiaviljely pelloilla on ajankohtaista tai välttämätöntä, peltoviljelyn panokset ovat tosin nykyistä vähäisemmät ja satotaso alempi.
 - omavaraisuus energian suhteen edellyttää Suomen oloissa energian säästämistä, metsä- ja turve-energian nykyistä selvästi runsaampaa käyttöä, jätteiden ja sivutuotteiden sisältämän energian hyödyntämistä ja varsinaista energiaviljelyä.
 - jos energiaa pyritään säästämään korvaamalla väkilannoitteet orgaanisilla jätteillä, tarvittavat jätemäärät ovat suuria. Osa näistä jätteistä on sitä biomassaa, joka voitaisiin käyttää energiataroituksiin. Esimerkiksi kotieläinten lannassa sekä kasvi- ja asumajätteesä oleva energia voitaisiin mädätysmenetelmällä käyttää hyödyksi. Näiden jätteiden jäte on edelleen käyttökelpoista lannoitteena.
 - energiaviljelyssä ei suuria nettosatoja saada ilman suuria panoksia. Biologinen typensidonta ja mahdollisimman täydellinen ravinteiden kierto säästää lannoite-energiaa.
 - orgaanisten jätteiden hyödyntäminen energiaksi ei ehkä ole pelkästään hyvä ratkaisu, koska siihen liittyy humuksen määrän aleneminen maassa.
- Energiaviljelypotentiaali riippuu sellaisista vaikeasti ennustettavista kehityssuunnista kuten ruokavalion muutokset sekä energiaviljelyyn sopivien lajikkeiden jalostus ja viljelytekniikan kehittyminen. Myös valtiolta voi säädellä viljelypotentiaalia, jos energiatilanne ja valmiusvaatimukset sitä edellyttävät.

SISÄLLYSLUETTELO

PÄÄTELMÄT

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. ENERGIAN TUOTTAMINEN PELLOLLA	
2.1. Tuotannon rajat	6
2.2. Peltokasvien energiasisältö	6
2.3. Nykyisen kulutusrakenteen vaatima peltopinta-ala	8
3. ENERGIATARKOITUKSIIN SOVELTUVA MAATALOUDEN BIOMASSA	
3.1. Biomassan muuttaminen energiaksi	8
3.2. Jätteet ja sivutuotteet	9
3.2.1. Lanta	9
3.2.2. Viljanviljelyjätteet	10
3.2.3. Muut kasvinviljelyjätteet	11
3.2.4. Käyttöön saatavan viljelyjätteen energiamäärä yhteensä	12
3.3. Energiaviljelykasvit	
3.3.1. Yleiset vaatimukset	13
3.3.2. Sokeri- ja tärkkelyspitoiset kasvit	13
3.3.3. Öljypitoiset kasvit	14
3.3.4. Selluloosapitoiset kasvit	14
4. ENERGIATUOTOS JA PANOS TAVANOMAISESSA JA OMAVARAISESSA VILJELYSSÄ	
4.1. Nettoenergiataso ja energiatase	16
4.2. Energiantuotanto eri viljelytavoilla	18
5. BIOMASSAN JALOSTAMISEN ENERGIATASE	23

6.	MAATALOUSTUOTTEISTA SAATAVA ENERGIA FOSSIILISEN ENERGIAN KORVAAJANA	
6.1.	Moottoripolttoaineiden tuotannon vaatima pinta-ala	24
6.2.	Moottoripolttoaineiden hinta	26
6.3.	Kiinteät polttoaineet	28
7.	MAATALOUDEN ENERGIAVILJELYPOTENTIALI	
7.1.	Viljelemätön peltoala	29
7.2.	Ylituotantoala	30
7.3.	Ruokavalion muuttaminen	30
7.4.	Energiakasvit kasvinvuorottelussa	31
7.5.	Kasvinjalostuksen mahdollisuudet	32
7.6.	Sivutuotteet rehuna	32
8.	ENERGIAVILJELYN EKOLOGISET VAIKUTUKSET	
8.1.	Jätteiden käyttö energiatarkoituksiin	32
8.2.	Energiakasvien viljely	33
8.3.	Biomassan jalostuksen ympäristövaikutukset	34
	LIITTEET	
1.	Käsitteitä ja muuntokertoimia	35
2.	Peltoviljelyn energiapanosten muuntokertoimia	36
	KIRJALLISUUS	37

1. JOHDANTO

Uusiutumattomien energialähteiden ehtyminen, energiahuollon riippuvuus öljystä sekä öljyn saatavuuden vaarantuminen kriisien aikana ovat vauhdittaneet korvaavia energialähteitä koskevaa tutkimusta. Mahdollisuuksien korvata öljy kotimaisilla, uusiutuvilla energiamuodoilla etsitään intensiivisesti. Tuontienergian hintojen jatkuva nousu on tehnyt esimerkiksi biomassan käytön entistä kiinnostavammaksi. Mm. maatalouden mahdollisuuksia tuottaa biomassaa energiatarpeisiin tutkitaan monella taholla. Maatilatalouden energiatoimikunnan mietinnössään (KOMITEANMIETINTÖ 1981: 57) asetetaan tavoitteeksi energiaomavaraisuuden parantaminen ja samalla nykyistä pienempi riippuvuus ulkomaisesta energiasta. Toimikunnan mielestä olisi maataloudessa hankittava riittävä valmius energian raaka-aineen ja polttoaineen laajamittaiseen tuottamiseen.

Biomassan saannista tulevat polttoainetuotannon kanssa kilpailemaan monet vaihtoehtoiset käyttötavat, esimerkiksi käyttö elintarvikkeiksi, rehuksi tai teollisuuden raaka-aineeksi. Biomassan tuotanto energia- ja teollisuustarpeisiin saattaa muuttaa mullistavasti nykyisiä viljelytapoja, jotka ovat suuntautuneet vain elintarviketuotantoon. Keskeisiksi tulevat muodostumaan seuraavat kysymykset: - Salliiko elintarvikehuolto energian viljelyn pellolla? - Mitkä ovat energian viljelyn biologiset ja taloudelliset mahdollisuudet? - Mitkä ovat uusien viljelymenetelmien, mahdollisten uusien kasvien ja energian jalostamisen aiheuttamat ympäristövaikutukset?

Käsillä oleva tiedote liittyy Suomen Akatemian tukemaan projektiin "Mahdollisuudet ulkomaisista energiapanoksista riippumattomaan omavaraiseen elintarviketuotantoon". Projektissa pyritään määrittämään eri viljelytavoilla tuotettavissa olevan energian määrä ja hinta, energiataase sekä ihmisravinnoksi kelpaavan sadon ja valkuaisen määrä. Tämän tiedotteen sisältö on tarkoitettu taustaksi sille omavaraisen ja tavanomaisen viljelyn energiataloudelliselle vertailulle, joka tullaan tekemään projektin tuloksia arvioitaessa. Sisällön tärkein osa on katsaus tämänhetkisen peltoviljelyn energiasisältöön ja sen hyödyntämistapoihin käytettävissä olevien kirjallisuustietojen valossa.

2. ENERGIAN TUOTTAMINEN PELLOLLA

2.1. Tuotannon rajat

Arviot yhteyttämistehosta muutettaessa auringon energiaa biomassaksi vaihtelevat, mutta teoreettinen huipputeho lienee 8-11 % säteilystä (ENERGY FROM BIOMASS IN EUROPE 1980). Useat kasvit ovat kuitenkin paljon tätä tehottomampia. Pohjois-Euroopassa 1-1,5 % on oletettavasti yhteyttämistehon yläraja tällä hetkellä (LONG 1977), mikä merkitsee sitä, että biomassan tuotanto voi optimiolosuhteissa korkein panoksin olla 20-30 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta. Käytännön kasvintuotannossa parhaatkin sadot ovat puolet tästä ja keskimääräiset sadot jäävät edelleen puoleen parhaista sadoista. Nykyisten viljelykasvien biomassan tuotanto nykytekniikalla vaihtelee 58-155 GJ (16-43 10^3 kWh) hehtaarilta (VARIS 1980). Tavallisten viljelykasviemme yhteyttäminen on siis aurinkoenergian vangitsemiskeinona suhteellisen tehontonta. Rajoittavina tekijöinä ovat alhainen lämpötila sekä valon ja ravinteiden puute.

2.2. Peltokasvien energiasisältö

Maamme noin 2,5 miljoonasta peltihehtaarista oli v. 1980 viljalla 46 %, nurmikasveilla 37, perunalla 1,6, sokerijuurikkaalla 1,2 ja öljykasveilla 2,2 %. Viljelemättä eli kesantona, pellonvaraussojimuksella tms. oli peltoalasta 11,4 % eli yhteensä noin 293 000 ha (taul. 1). Suurimmat energiamäärät hehtaarilta keskisatojen mukaan saatiin sokerijuurikkaasta ja perunasta. Ilman naatteja ja varsia sokerijuurikkaasta saatiin energiaa 102 GJ/ha ja perunasta 65 GJ/ha (2-3 kertaa enemmän kuin viljoista). Koska kyseisten kasvien viljelyala on kuitenkin yhteensä vajaa 3 % koko peltoalasta, niiden valtakunnallinen merkitys energian tuottajina on pieni.

Leipäviljasta saatiin v. 1980 noin 6 %, rehuviljasta 36 % ja nurmista yli 50 % peltojen koko energian tuotannosta, joka on noin 120 milj. GJ eli keskimäärin 54 GJ viljeltyä peltihehtaaria kohti (2,2 milj.ha). Esimerkkivuotena 1980 tuotettu energiamäärä oli 6-7 % suurempi kuin peltoviljelyn keskimäärin vuodessa tuottama energia vv. 1974-77 (ANON: 1978. Jos oljet ja naatit huomioidaan, syysviljojen energiasato ko- hoaa 2,5 - 2,7-kertaiseksi, kevätiljojen, perunan ja sokerijuurikkaan noin 2,1 - 1,9-kertaiseksi (VARIS 1980) eli koko peltoviljelyn energiasato noin 180 milj. GJ:ksi (82 GJ/ha).

Taul. 1. Viljelykasvien alat 1), sadot ja satojen energiasisältö v. 1980
(Suomen virallinen tilasto III:79 Maatalous 1980. Hki 1981,
VARIS 1980)

Kasvi	1000 ha	%	sato/ha 100 kg	MJ/kg	GJ/ha	Koko energiasato milj.MJ	%
Syysvehnä	27,4	1,1	32,5	15,1	49	1345	1,1
Kevätvehnä	96,9	3,6	27,6	"	42	4038	3,4
Ruis	53,3	2,1	23,2	"	35	1867	1,6
Ohra	533,4	20,8	28,8	"	43	23196	19,4
Kaura	447,8	17,5	28,1	"	42	19001	15,9
Seosvilja	12,1	0,5	27,4	"	41	500	0,4
Herne	4,3	0,2	25,7	"	39	167	0,1
Yht.viljat	1.175,2	46,0				50114	41,9
Peruna	40,9	1,6	180,0	3,6	65	2650	2,2
Sokeri- juurikas	31,7	1,2	284,0	"	102	3241	2,7
Yht.	72,6	2,8				5891	4,9
Heinä, kuiva	477,8	18,6	38,3	14,8	57	27084	22,7
"-", säilör.	233,6	9,1	179,0	4,0	72	16726	14,0
Laidun	203,3	7,9	270,0	3,3	89	18114	15,2
Siemenheinä	36,7	1,4					
Yht. nurmi- kasvit	951,4	37,0				61924	51,9
Öljykasvit	55,3	2,2	16,0	18,0	29	1593	1,3
Muut kasvit	15,2	0,6					
Täyskesanto	102,3	4,0					
Muu peltoala	92,7	3,6					
Pellonvaraus- sop.	98,0	3,8					
Koko peltoala	2.562,7	100,0					

119.522 100,0
(33200 milj. kWh)
54 GJ/ha (2,2 milj. ha)

1) Syysviljojen ala vastaa ennakkotietoja v. 1983 viljelyalasta.

Pyydämme tekemään seuraavan korjauksen Keski-Suomen koeaseman tiedotteeseen N:o 4 1982 "Energian tuottaminen pellolla" sivulle 8 :

Elintarvikkeiden kulutuslukujen (RAVINTOTASE 1981) mukaan väestön energiankulutus on keskimäärin 12 798 kJ henkilöä kohti päivässä. Koko väestön (4,787 milj.) energiankulutus on siten 61,264 milj. MJ/pv eli noin viidesosa esim. vuoden 1980 viljelykasvien energiasisällöstä.

2.3. Nykyisen kulutusrakenteen vaatima peltopinta-ala

Elintarvikkeiden kulutuslukujen (RAVINTOTASE 1981) mukaan väestön energiankulutus on keskimäärin 12798 kJ henkilöä kohti. Koko väestön (4,787 milj.) energiankulutus on siten 61,264 milj.GJ eli noin puolet esim. vuoden 1980 kaikkien viljelykasvien energiasisällöstä. Kokonaisenergian saannista vain 28 % on peräisin viljasta ja perunasta ja 5% kasviksista, marjoista ja hedelmistä. Suurin osa energian tarpeesta tyydytetään siis kotieläintuotteilla ja sokerilla sekä ravintorasvoilla.

Kotieläintuotteiden määrä on ylittänyt kotimaisen kulutuksen jo pitkään. Maidontuotanto ylittää kotimaisen maitotuotteiden kulutuksen noin 25-30 %, sianlihan tuotanto vastaavasti 15-20 % ja kananmunien 35-40 % (LAAKSONEN ja KETTUNEN 1981), kun taas leipäviljan tuotanto on pahasti alijäämäinen. Tuotantopoliittisen toimikunnan arvion mukaan kulutusta vastaava peltoala on 1980-luvun lopulla 2,33 milj.ha edellyttäen 100 % omavaraisuusastetta kotieläinten rehunkulutuksessa. Arvio perustuu nykyiseen kulutusrakenteeseen ja satotason kehittymiseen tähänastisen trendin mukaan. Arvio on jopa suurempi kuin tällä hetkellä aktiivissa viljelyssä oleva ala.

3. ENERGIATARKOITUKSIIN SOVELTUVA MAATALOUDEN BIOMASSA

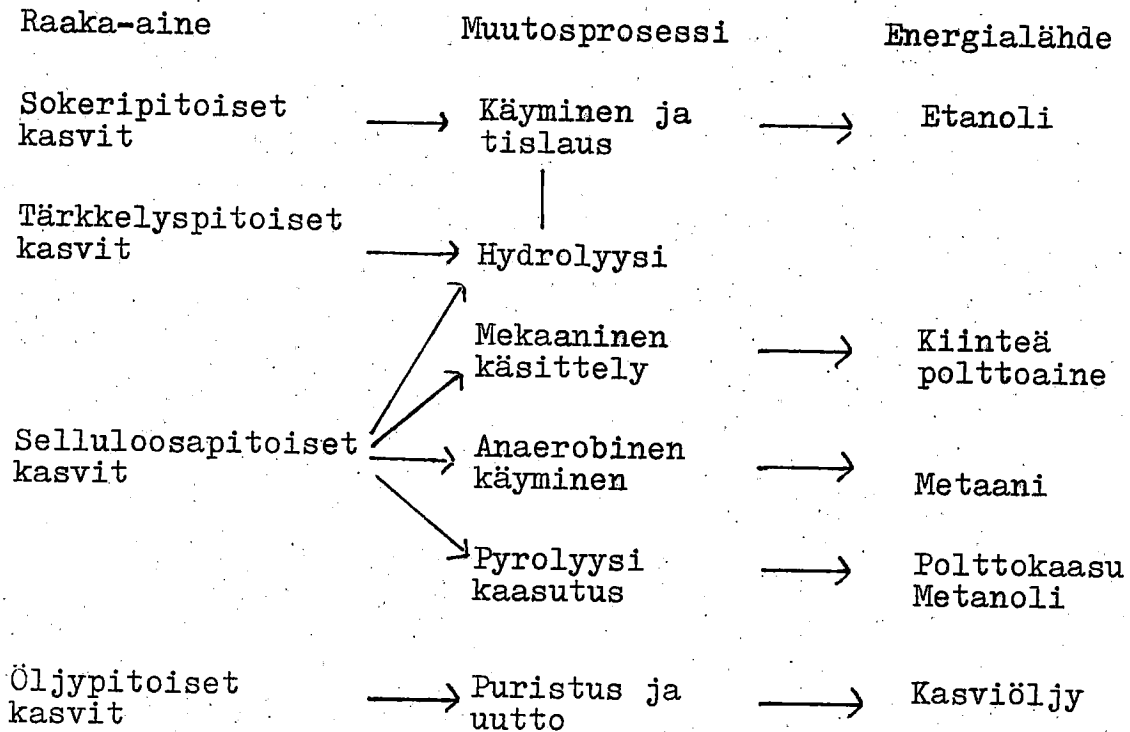
3.1. Biomassan muuttaminen energiaksi

Biomassan jalostus tähtää sen sisältämän energian muuttamiseen helpommin käsiteltävään ja energiarikkaampaan muotoon. Suuntautumisvaihtoehdot energian tuotannossa ovat etanoli, metanoli, metaani, kasviöljy sekä kaasumaiset ja kiinteät polttoaineet (taul.2). Tärkeimmät käyttöalueet ovat käyttö moottoripolttoaineena (etanoli, kasviöljyt) ja lämmityksessä (kiinteät polttoaineet ja metaani). Kiinteää polttoainetta, metsä- ja vesivoimaa, Suomessa on runsaasti. Omavaraisuuden kannalta ja varsinkin kriisiaikana tärkeämpää on kuitenkin valmius nestemäisten polttoaineiden raaka-aineen tuottamiseen.

Biomassan tuotantopotentiaali energiaksi riippuu maan käytöstä eli siitä harjoitetaanko varsinaista energiaviljelyä vai käytetäänkö ainoastaan jätteet energiantuotantoon (lanta, olki, vihermassa). On laskettu, että jo pelkkä fotosynteettisen jätteen tehokas hyväksikäyttö kattaisi 5 % nykyisestä energian kokonaiskulutuksesta ja energia-

viljelyllä, joka ei vielä vaikuttaisi nykyiseen maataloustuotantoon, voitaisiin hankkia vielä 5 % lisää energiaa (ENERGY FROM BIOMASS IN EUROPE 1980).

Taul. 2. Energiakasveista saatavat energiatuotteet (BERGMAN 1981)



Paitsi energian lähteenä edellä mainittuja tuotteita voidaan käyttää monien teollisuustuotteiden kuten kemikaalien raaka-aineina. Tällä on merkitystä varsinkin mahdollisimman suureen omavaraisuuteen pyrittäessä tai tuontiraaka-aineiden saannin vaarantuessa. Eräät sivutuotteet ovat lisäksi käyttökelpoisia rehuna tai lannoitteina.

3.2. Jätteet ja sivutuotteet

3.2.1. Lanta

Rehun energiasta sulamaton osa eli noin neljäsosa ohjautuu lantaan. Tästä bruttoenergiasta, joka vastaa nautayksikköä kohti noin 350-450 litraa öljyä vuodessa (HOLMA 1981), voidaan hyödyntää noin kolmasosa mädättämällä lietelannassa oleva energia metaaniksi tai kokonaan ottamalla hapettamalla syntyvä lämpö talteen. Kuivikelannasta on mahdollista ottaa kompostointilämpö talteen lämpöpumpulla. Metaani soveltuu lämmityspolttoaineeksi. Sen käyttöä myös moottoripolttoaineena kehitellään. Jos kaikki eläinten lanta saataisiin

talteen ja madätetyksi, saatava energiamäärä olisi LATOLAN (1980) laskelmien mukaan vuoden 1979 karjamäärän perusteella noin 1032×10^7 MJ/a eli noin 250 000 öljytonnia vastaava lämpömäärä. Tämä taas vastaisi esim. maatilataloudessa lämmitykseen käytettyä kevyen polttoöljyn määrää, 240 000 t (MAATILATALOUDEN ENERGIARESERVIEN KÄYTTÖ, SITRA B.59. 1980). Arviot metaanisaannosta eläintä kohti vaihtelevat eri lähteissä. Edellämainitussa laskelmassa jätteiden energia-arvon kaasuntuotantona on arvioitu vastaavan vuodessa noin 320 kg öljyä nautayksikköä kohti. Tässä ei liene otettu huomioon tuotannon vaatimaa energiaa. HOLMA (1981) on päätenyt arviossaan 140 kilon öljymäärää vastaavaan nettoenergiamäärään nautayksikköä kohti. Laskelma perustuu 25 %:n hyötysuhteeseen metaanintuotannossa ja edellyttää, että prosessi tuottaa ylläpitonsa vaatiman energian. Eloperäisen aineen hajoaminen edellyttää korkeaa lämpötilaa, jonka ylläpitoon kuluu noin $1/3$ saadusta energiasta.

Metaanin tuotanto on kuitenkin laitteiston perustamiskustannuksiltaan toistaiseksi kallis ratkaisu. Taloudellisesti kannattava karjakoko on laitekustannusten kannalta 75 lehmää, 600 sikaa tai 250 emakkoa (MAATILATALOUDEN ENERGIARESERVIEN KÄYTTÖ. 1980). Koska yli 30 nautayksikön tiloja on maassamme vain 1,5 % (2100 kpl), lannasta saatavan energian määrällä on valtakunnallisesti toistaiseksi vähäinen merkitys. Tosin metaanin valmistus on mahdollista muustakin biomassasta kuten naateista, oljista ja pilaantuneestakin rehusta. Vaikka lannasta ja biomassasta metaanina saatava energia voi tyydyttää vain joitakin promilleja kokonaisenergian tarpeesta, ympäristönäkökohdat ja lannan laatua (etenkin hajuhaitat) parantavat seikat puoltavat menetelmän käyttöönottoa suurissa sikaloissa ja navetoissa.

3.2.2. Viljanviljelyjätteet

Olki

On helpompaa arvioida olkien kuin eläinjätteen energiasisältö, koska olkien laatu on tasaisempaa. Keskimäärin oljen kuiva-ainekilon energiasisältö on 17,4 MJ, ilmakeivan 15 MJ sekä tehollinen lämpöarvo 25 % kosteana 12,4 MJ (3,44 kWh)/kg (ORAVA 1980). Oljen määrän arvioinnin lähtökohdaksi on viljanviljelyn laajuus, jyvä/olkisuhde ja sängin pituus. Normaaliin sänginpituuteen (22 cm) puitaessa hehtaarialta saatava oljen kokonaisenergia on noin 24 GJ^1 (6,6 MWh). Ruotsalaiset arviot ovat huomattavasti optimistisempia oljesta saatavan energian määrään nähden. Laskelmien lähtökohdaksi siellä on otettu

1) 1,9 t, 12,9 MJ/t

syysvehnän olkisato, 3 t ka/ha, ja sen energiasisällöksi 17,6 GJ (4,9 MWh)/tonni. Korjuu- ja kuljetuskustannukset (0,18 MWh) vähentäen on saatu nettoenergiaksi 52 GJ (14,5 MWh) hehtaarilta ja energiataseeksi 81 (BERGMAN 1980).

Maassamme käyttöön saatava olkimäärä on arvioitu vuoden 1978 viljelyalan perusteella 2,2 milj. tonniksi. Tällöinkin maahan jää 43 % oljesta, joten oljen maahan kynnön hyötyä ei kokonaan menetetä. Nykyään 75-90 % oljesta kynnetään maahan. Mainitun olkisadon kokonaisenergisältö on 26 600 milj. MJ (7600 GWh) (OKSANEN 1980), mikä vastaa noin 1,8 % koko maan energiankulutuksesta ja esim. koko peltoheinäsadon energiamäärää. Olki muodostaakin maatalouden suurimman energiapotentiaalin uusia energia- ja teollisuuden raaka-ainelähteitä kartoitettaessa. Tilakohtaisesta oljella on useita käyttövaihtoehtoja: karjan rehuna, kuivikkeena, maahan kynnettynä ja polttoaineena.

3.2.3. Muut kasvinviljelyjätteet

Naatit ja varret

Kasvinviljelyn jätteistä oljen jälkeen tärkeimmät ovat perunan, sokerijuurikkaan ja kasvisten jätteet, joista nykyisin pääosa palautetaan maahan. Karjatiloilta sokerijuurikkaan naatit käytetään usein tuorerehuksi. Arviot naattien osuudesta vaihtelevat suuresti. Englantilaiset (MONTEITH 1977) käyttävät sokerijuurikkaan naattien määrän arvioinnissa kerrointa 1,22 x sokerintuotanto. Tämä sisältää sekä viljely- että prosessointijätteen. VARIKSEN (1980) mukaan perunan naattisato on yhtä suuri kuin mukulasato. Tämän mukaan perunan naattien tuoresato keskimäärin on Etelä-Suomessa 18 tonnia ja sen sisältämä kokonaisenergia 16,9 MWh/ha (0,94 kWh/kg) eli noin 61 GJ/ha. Vastavasti sokerijuurikkaan naattien (22 t/ha) energiamäärä on 20,7 MWh eli noin 75 GJ/ha. Jos arvioidaan, että noin 50 % jätteestä on korjattavissa, vuoden 1980 viljelypinta-alojen mukaan naattien energiasisältö on 2,4 milj. GJ (0,7 milj. MWh) eli noin 1/10 oljesta saatavasta energiasta.

Tuoreen kasvimassan suuri vesipitoisuus rajoittaa sen käyttöä. Kun sitä saadaan yleensä loppukesästä, kuivaaminen rehuksi ei tule korkeiden kustannusten takia kysymykseen. Monissa laboratoriokokeissa on todettu vihermassan soveltuvan biokaasun tuotantoon erittäin hyvin. Kaasua saadaan jopa enemmän kuin esim. sian lietelannasta. Parhaat kaasusaaliit ovat olleet esim. perunanvarsista 606 l/kg, kun vastaava

määrä sianlannasta on 415 l/kg (IMHOFF, ref. LATOLA 1980), ruhosta 400-500 l ja sokerijuurikkaan naateista 430 l (LOLL 1976). Jätteistä biokaasun muodossa saatavaa energiamäärää laskettaessa käytetään energia-arvona 17,5 MJ/kg jätteen kuiva-ainetta, josta saadaan 60 % muuntosuhteella 10,5 MJ/kg/ka.

Vihermassan käyttö biokaasun raaka-aineena on laitekehittelyltään vielä kesken, mutta lanta ja muu jäte yhdessä biokaasun raaka-aineena tekisivät menetelmän kannattavaksi pienemmissäkin karjayksiköissä. Käytettäessä kasvijätettä biokaasun raaka-aineena ei menetetä jätteen ravinteiden lannoitusvaikutusta, koska mädätyksen jälkeen jäte on käyttökelpoista peltoon levitettäväksi.

Rehunviljelyjätteet

Nurmirehun ja varsinkin nurmipalkokasvien korjuun, varastoinnin ja syötön yhteydessä syntyy melkoisia tappioita. Osa sadosta jää jo peltoon, osa hukkaantuu siirroissa ja muussa käsittelyssä. Suomessa lie-
nee tutkittu vain säilörehun teossa syntyvien hävikkien määrää. Puri-
stenestettä arvioidaan muodostuvan noin miljoona tonnia vuodessa. Jos sitä ei oteta talteen, tonnissa nestettä menee hukkaan 1 kg typ-
peä, 3 kg kaliumia, 0,2 kg fosforia ja runsaasti hiilihydraatteja (25
% kuiva-aineesta) (LATOSTENMAA 1982, PATTERSON & STEEN 1982).

Englantilaisten selvitysten mukaan nurmiviljelyssä tappiot ovat 20-30
%:n luokkaa. Kun otetaan huomioon viljelyn laajuus, jätteet ovat mer-
kittävä potentiaalisen energian lähde. Jätteiden keruuta tehokkaampi
ratkaisu on niiden määrän vähentäminen esim. tehostamalla laiduntamis-
ta ja parantamalla varastoimismenetelmiä. Nurmiviljelyä tehostamalla
vapautuu peltoalaa esim. energiaviljelyyn.

3.2.4. Käyttöön saatavan viljelyjätteen energiamäärä yhteensä

EEC-maissa on arvioitu naatti- ja varsijätteen energian olevan 2,23 GJ
jokaista peltohehtaaria kohti ja kaikkien kasvinviljely- ja karjan
jätteiden energian yhteensä 36 GJ/ha (vaihtelu eri maissa 12-46 GJ)
(ENERGY FROM BIOMASS IN EUROPE 1980). Suomessa käyttöön saatavissa
olevan peltoviljelyjätteen energiamäärä on 15 GJ/ha. Luku on saatu
laskemalla käyttöön jäävän olkisadon energiamäärä, lannasta biokaasuna
saatava energia ja 50 % naattisadon energiasisällöstä yhteen ja jaka-
malla se koko peltopinta-alalla. Määrä hehtaaria kohti vastaa yhden

olkitonnin energiasisältöä. Jätteen kokonaisenergiämäärä vastaa noin 0,9 Mtoe vuodessa:

Lanta	10,320	milj. GJ
Olki	26,600	"-
<u>Naatit</u>	<u>2,400</u>	<u>"-</u>
yht.	38,320	milj. GJ (0,9 Mtoe)
peltopinta-ala	2,563	milj. ha
jätteen energia-arvo	15	GJ/ha

3.3. Energiaviljelykasvit

3.3.1. Yleiset vaatimukset

Maataloustuotannon ohjaus energian tuotannon suuntaan merkitsee sekä entisten että uusien "energiakasvien" suosimista. Maataloustutkimuksen neuvottelukunnan suunnittelujaoston mukaan (PELTOKASVITUTKIMUKSESTA JA SEN KEHITTÄMISESTÄ 1981) "tutkimusta on suunnattava energian tuottamiseen korkeiden satojen avulla ja energian säästämiseen tuotantotoiminnassa." Koska biomassan kuiva-aineen energiasisältö on kaikilla kasveilla suunnilleen sama, sadon suuruus ja laatu, viljelyyn ja korjuuseen käytetyn apuenergian määrä sekä raaka-aineen jalostukseen tarvittava energia ratkaisevat kasvin arvon energialähteenä. Korkea sokeri-, tärkkelys-, selluloosa- tai öljypitoisuus sekä kiinteänä polttoaineena käytettäessä alhaiset tuhka-, vesi-, rikki- ja valkuaispitoisuudet ovat toivottavia ominaisuuksia. Euroopassa on kokeiltu uusia energian tuotannon kannalta mielenkiintoisia kasveja.

3.3.2. Sokeri- ja tärkkelyspitoiset kasvit

Sokeri- ja tärkkelysrikkaasta biomassasta voidaan suhteellisen yksinkertaisella teknologialla käymistietä valmistaa etanolia. Sokeripitoisista kasveista merkittävimmät ovat sokeri- ja rehusokerijuurikas, lanttu ja nauris. Ruotsissa on kokeiltu myös maa-artisokkaa, joka sisältää runsaasti helposti hydrolysoituvaa inuliinia. Tärkkelyspitoisista raaka-aineista tärkeimmät ovat peruna ja vilja.

Etanolisaanto eri raaka-aineista vaihtelee lähteittäin. Seuraavassa esitetään luettelo JOHANSSONIN (1980) mukaan:

litraa etanolia/ 1000 kg raaka-ainetta			
sokerijuurikas	85	ruoho	150
rehusokerijuurikas	65	nurmipalkokasvit	115
peruna	115	maa-artisokka	80
vehnä	370	elintarvikejäte	20
ohra	380	puu, olki, satojäte	195 (1
kaura	250		(1 1 000 kg:ssa kuiva-ainetta

3.3.3. Öljypitoiset kasvit

Kasviöljyä saadaan puristamalla ja uuttamalla mm. rypsiä, rapsista, sinapista, auringonkukasta, unikosta ja pellavasta.

3.3.4. Selluloosapitoiset kasvit

Nykyisistä peltoviljelykasveista lähinnä heinät tulevat energiakasveina kysymykseen. Viljelytekniikkaa niiden tuottamiseen suoraan polttoon ei kuitenkaan ole vielä kokeiltu. Ruotsissa on kokeiltu energiantuotannon kannalta mielenkiintoisia kasveja kuten hamppua, ruokohelppiä, kattaraa ja timoteitä. Näiden kasvien energiantuotantokyky on seuraavassa taulukossa esitetty suhteessa sokerijuurikkaan energian tuottoon (BERGMAN 1980):

sokerijuurikas	100	kattara	75
maissi	83	ruokohelppi	85
hamppu	52	sinimailanen	85
auringonkukka	50	maa-artisokka	58
valkosinappi	85	paju, ekstensiivinen viljely	50
rehusokerijuur.	106	energiametsä	50-152
timotei	75		

Myös "uudet kasvit" kuten tatar (Polygonum), raunioyrtti (Symphytum), nokkonen (Urtica), horsma (Ebilobium), jne. ovat antaneet Euroopassa suuria kuiva-ainesatoja. Varsinaisina energiakasveina on pidettävä Salicaceae-sukuun kuuluvia haapaa, poppelia ja pajua, joiden viljelystä on saatu lupaavia tuloksia. Nopeakasvuisilla poppeleilla on saatu Ruotsissa 14-28 tonnin kuiva-ainesatoja hehtaarilta. Energiapajun

paras koetulos on ollut 32 tonnia ja käytännön viljelyyn verrattavissa oloissa 18 tonnia hehtaarilta (ENERGY FROM BIOMASS IN EUROPE 1980, POHJONEN 1980). Suomen oloihin poppeli on liian vaateliias kasvi, mutta pajusta sen sijaan voitaisiin Keski-Suomen oloissakin POHJOSEN mukaan päästä 12 tonnin kuiva-ainesatoihin, mikä vastaa noin 197 GJ/ha bruttosatoa ja noin 170 GJ/ha nettosatoa.

Pajun valtavaa energiantuotantopotentiaalia edullisissa olosuhteissa kuvaavat Maatalouden tutkimuskeskuksen Hämeen koeasemalla saadut jopa yli 40 tonnin kuiva-ainesadot koeruuruilta, joihin on imeytetty asumajätevedet. Salix viminalis-pajun sadot kahtena peräkkäisenä vuotena 1979 ja 1980 olivat 28 ja 27 tonnia, Salix Aquatican vastaavasti 42 ja 24 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta (TAKALA 1982). On kuitenkin otettava huomioon, että koeaseman jätevedet imeytettiin muutaman aarin suuriselle koealueelle, joten ravinteita ja vettä oli runsaasti.

Paju tuntuukin tähänastisten tutkimustulosten perusteella energiantuotantokyvyltään ylivoimaiselta verrattuna pellolla viljeltäviin kasveihin. Paju vaatii kuitenkin paljon kasvualustansa vesitaloudelta suuren vedenkäyttönsä vuoksi. Yhden kuiva-ainekilon tuottamiseen paju kuluttaa 500 litraa vettä. Tämä rajaa sen viljelyn lähinnä kosteille turvemaille ja polttoturvesuon pohjille. Energiapajun ja muiden energiakasvien kilpailukykyä samalla koepaikalla selvittäviä kokeita ei tiettävästi ole tehty, mutta pajun kasvatuksen teknologiaa, biologiaa ja ympäristövaikutuksia tutkitaan useilla Metsäntutkimuslaitoksen koe-
paikoilla.

Selluloosapitoisista kasveista voidaan saada myös etanolia, mutta hydrolysointimenetelmät ovat monimutkaiset ja vasta kehitteillä. Toistaiseksi etanolin valmistus tulee liian kalliiksi. Vähän vettä sisältävä selluloosapitoinen tuote sopii parhaiten kiinteäksi polttoaineeksi sellaisenaan, puristeena tai jauheena. Harkinnan arvoinen käyttömuoto on polttokaasun valmistus. Runsaasti vettä sisältävä raaka-aine, esim. rehumaisi tai auringonkukka, sopii metaanin tuottamiseen.

4. ENERGIATUOTOS JA PANOS TAVANOMAISESSA JA OMAVARAISESSA VILJELYSSÄ

4.1. Nettoenergiasato ja energiatase

Kasvituotannossa käytetään nykyään runsaasti ns. panosenergiaa lannoitteiden, koneiden, polttoaineen ja työn muodossa. Hyötysuhde energiantuotannossa ilmaistaan energiatuotoksen ja energiapanoksen suhteena eli ns. energiataseena tai energiatuotoksen ja energiapanoksen erotuksena eli nettoenergiatuotoksena. Jälkimmäinen on parempi tapa verrattaessa eri kasvien ja viljelytapojen energian tuottoa.

Energiataseen ja nettoenergiäkäsitteen eroa energiantuotannon ilmaisijana kuvaa POHJOSEN (1980) esittämä esimerkki, jonka mukaan puujätteen keruun energiatase (28) on korkea verrattuna energiapajun tuotannon energiataseeseen (7). Kuitenkin edellisellä saatu nettoenergia hehtaarilta (5,6 GJ/a) on vain pieni osa pajunviljelyllä tuotetusta nettoenergiasta (170 GJ/a).

Energian hyötysuhde peltoviljelyssä Suomessa on noin 3,0 tai 4,4 riippuen siitä otetaanko oljet mukaan. Nettoenergian absoluuttinen määrä hehtaarilta on vastaavasti 30 tai 44 GJ/ha (8300 tai 12 100 kWh) (ANON. 1978). Taulukossa 3. on ruotsalaisia koetuloksia nykyisten peltoviljelykasvien energiantuotantokyvystä. Maataloustutkimuksen neuvottelukunnan suunnittelujaoston mukaan (ANON.1981) tutkimusta on suunnattava energian tuottamiseen korkeiden satojen avulla ja energian säästämiseen tuotantotoiminnassa. Koska suuret sadot yleensä edellyttävät suuria tuotantopanoksia, tasapainon löytäminen vaatimusten välillä vaatii tutkimustoimintaa.

Taul. 3. Energiakasvien nettoenergiataso ja energiatase ruotsalaisten satotulosten mukaan (BERGMAN 1980b)

Kasvi	Sato		Energia- panokset GJ/ha	Netto- energia- sato GJ/ha	Energia- tase
	t/ka/ha	GJ/ha			
Syysvehnä, jyväsato	3,4	62,4	20,2	42,2	3,1
Syysvehnä, " +olki	6,5	118,2	21,4	96,8	5,5
Ruis, jyväsato	2,7	48,6	17,4	31,2	2,8
Ohra, "	2,6	47,7	18,9	28,8	2,5
Olki	3,1	55,8	1,2	54,6	47,0
Niittonurmi	5,1	93,6	23,3	70,3	4,0
Timotei	7,0	128,5	17,4	111,1	7,4
Kattara	7,0	128,5	17,4	111,1	7,4
Ruokohelpi	8,0	146,9	17,4	129,5	8,4
Sinimailanen	8,0	146,9	12,9	134,0	11,4
Maissi	8,0	144,0	22,2	121,8	6,5
Peruna, mukulas.	6,6	111,7	35,0	76,7	3,2
Maa-artisokka, "	5,5	99,0	22,6	76,4	4,4
Syysrapsi, siemens.	1,7	42,4	22,1	20,3	1,9
Valkosinappi	7,3	147,2	17,0	130,2	8,6
Auringonkukka	5,0	84,6	15,1	69,5	5,6
Sokerijuurikas, juurisato	10,1	175,4	19,0	156,4	9,2
Rehusokerijuurikas juurisato	10,0	183,6	19,0	182,6	9,7
Hamppu	5,0	90,0	13,3	76,7	6,7
Paju, ekst.	5,0	84,6	2,0	82,6	42,3
Energiametsä	5-15	86-263	1-27	85-236	10-86

4.2. Energiantuotanto eri viljelytavoilla

Suomessa ei ole tehty vertailevia tutkimuksia erilaisten viljelytapojen energiankäytöstä ja -tuotosta. Useimmat ulkomaiset vertailut ovat eri menetelmiä käyttävien tilojen vertailua, mikä sisältää heikkouksia mm. sadon tarkassa määrittämisessä. Koska vertailu tilojen välillä sisältää liikaa epävarmuustekijöitä, on tehty vertailuja laskentamallien avulla. Eräs sellainen on GRAFIN(1979, ref. KELLER 1979) malli, jossa verrataan eri menetelmillä viljellyn syysvehnän tuotos/panos-suhdetta ja nettoenergiatuotosta (taul. 4).

Laskentamallin mukaan syysvehnän kemiallis-teknisessä viljelyssä panokset ovat noin 15-21 GJ/ha, mistä lannoitteet muodostavat 38-55 %. Biologisessa viljelyssä panokset ovat noin 8-10 GJ/ha. Vertailun vuoksi mainittakoon, että keskimääräinen energiapanos Suomessa vuosina 1974-77 oli 15 GJ/ha (4100 kWh) (ANON. 1978). Laskentamallissa verrataan seitsemää eri viljelytapaa: kemiallis-teknistä viljelyä kolmella eri lannoitustasolla ja orgaanista viljelyä nurmen jälkeen ilman lannoitusta sekä nousevilla kompostimäärillä (5, 10 ja 15 t/ha). Energiatase on kemiallis-teknisellä viljelyllä sitä pienempi mitä suurempi on käytetty lannoitemäärä. Orgaanisella viljelytavalla taas, jossa energiaa on arvioitu kuluvan vain kompostin käsittelyyn ja levittämiseen sekä viljan kuivatukseen, energiataase on sitä suurempi mitä enemmän kompostia käytetään. Em. lukujen perusteella lasketut nettoenergian määrät ovat seuraavat:

<u>Syysvehnä</u>	Kemiallis-tekninen viljely			Biologinen viljely			
	1	2	3	4	5	6	7
Viljelytapa (taul.4)							
Nettoenergia GJ/ha (metabol.)	47,6	46,2	55,9	41,3	40,7	47,2	53,6

Nettoenergian määrissä ei ole suurta eroa väkilannoituksen ja suurten kompostimäärien välillä. Esimerkiksi 10 tonnin kompostilannoituksella (6) saadaan suurempi nettosato kuin keskinkertaisella väkilannoituksella (2). 15 tonnin kompostimäärällä (7) saadaan lähes suurinta väkilannoitusmäärää vastaava nettosato (3). Laskelmissa käytetyt energiapanosten muuntokertoimet poikkeavat hieman suomalaisissa laskelmissa käytetyistä (liite 2, s.36).

Taul. 4. Syysvehnän viljelyn tuotos-panos-suhteet tavanomaisessa ja orgaanisessa viljelyssä

(Laskentamalli) GJ/ha (GRAF. 1979, ref. KELLER 1979)

	Kemiallis-tekninen viljely			Biologinen viljely			
	Orgaani- nen + väkilan- noitus	Väkilannoitus		Nurmen jälkeen	Juurikasvien jälkeen		
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
<u>Panokset</u>							
Koneet	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57
Polttoaineet	3,88	3,48	3,48	3,74	4,32	4,90	5,48
Lannoitteet:							
N	4,80	5,60	9,60				
P	0,56	0,98	0,98				
K	0,54	1,08	1,08				
Yht.	5,90	7,66	11,66				
Torjunta-							
aineet	0,30	0,30	0,30				
Kuivaus	1,76	1,76	2,14	1,37	1,37	1,37	1,37
Panokset							
yht.GJ/ha	15,41	16,77	21,15	8,68	9,26	9,84	10,42
<u>Tuotos</u>							
Sato t/ha	4,5	4,5	5,5	3,5	3,5	4,0	4,5
Sato GJ/ha	63	63	77	50	50	57	64
(metabol.ener- gia)							
Tuotos-panos-							
suhde	4,21	3,86	3,74	5,81	5,44	5,79	6,14

1= 30 m³ lietelantaa + 60/17/50 kg/ha NPK

2= 70/31/100 kg/ha NPK

3= 120/31/100 kg/ha NPK

4= ilman lannoitusta

5= 5 t/ha kompostia

6= 10 t/ha kompostia

7= 15 t/ha kompostia

Perunanviljelyn energiapanokset ovat laskentamallin mukaan karjanlanta ja kompostia käyttävissä biodynaamisissa ja orgaanis-biologisissa menetelmissä runsas kolmannes, sadot kaksi kolmasosaa ja energiatase lähes kaksinkertainen väkilannoitteita käyttävään viljelyyn verrattuna (taul. 5). Nettoenergian määrä muodostuu em. lukujen perusteella seuraavaksi:

<u>Peruna</u>	Kemiallis-tekninen		Biodynaaminen		Orgaanis-biologinen	
	1	2	3	4	5	6
Viljelytapa (taul.5)						
Nettoenergia GJ/ha (metabol.)	77,5	72,7	54,8	53,6	54,7	54,3

Tämän laskentamallin mukaan suurten nettoenergiatasojen saaminen perunasta vaatii suuret energiapanokset. Mallissa on arvioitu markkinoitavaksi kelpaava osuus yhtä suureksi kaikilla viljelytavoilla.

Apilanurmen viljelyssä väkilannoitteiden käyttö nostaa panokset kaksinkertaisiksi (taul.6). Satojen ei kuitenkaan arvioida jäävän kuin 10-20 % alemmiksi komposti- ja karjanlannalla. Nettoenergiatasot muodostuvat laskentamallin mukaan seuraaviksi:

<u>Apilanurmi</u>	Kemiallis-tekninen		Biodynaaminen		Orgaanis-biologinen	
	1	2	3	4	5	6
Viljelytapa (taul.6)						
Nettoenergia GJ/ha (metab.)	90,0	79,3	73,4	81,1	74,6	75,1

Orgaanisilla lannoitteilla apilanurmelta saatu nettoenergian määrä ei jää merkittävästi väkilannoitteilla saatavaa huonommaksi.

Englantilaisen tutkimuksen mukaan (LAIDLAW & WRIGHT 1980) 93 GJ hehtaarisato apilanurmelta vaatii 1,9 GJ panokset, mutta sama energiamäärä apilattomasta nurmesta vaatii noin 13,2 GJ panoksen hehtaarille. Nettoenergiaa saadaan edellisessä tapauksessa 91 GJ/ha ja jälkimmäisessä 79,8 GH/ha.

Seuraavana esitetään tiivistelmä suhdelukuina väkilannoitteilla ja orgaanisilla lannoitteilla saaduista nettoenergiatasoista, jotka perustuvat edellä esitettyihin laskentamalleihin:

	Nettoenergiataso, GJ/ha	
	Kemiallis-tekninen viljely	Biologinen viljely
Syysvehnä	100	92
Nurmi	100	89
Peruna	100	72

Taul. 5. Perunanviljelyn tuotos-panossuhteet eri viljelymenetelmillä (Laskentamalli) GJ/ha. (GRAF 1979, ref. KELLER 1979.)

Peruna	Org. + väkilann.	Väkilan- noitus	Biodynaaminen		Orgaanis-biologinen	
			Nurmen jälkeen	Viljan jälkeen	Nurmen jälkeen	Viljan jälkeen
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
<u>Panokset</u>						
Koneet	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57
Polttoaineet	6,84	6,28	7,24	8,40	6,66	7,08
Lannoitteet:N	8,00	11,20				
P	0,84	1,40				
K	1,08	2,70				
Yht.	9,92	15,30				
Org.lann. (1					0,63	0,63
Fungisidit(2	1,19	1,19				
Herbisidit	2,30	2,30				
Yht. pesti- sidit	3,49	3,49				
Yht.panokset GJ/ha	23,82	28,64	10,81	11,97	10,86	11,28
<u>Tuotos</u>						
Sato t/ha	42,5	42,5	27,5	27,5	27,5	27,5
Markkin.75%	31,9	31,9	20,6	20,6	20,6	20,6
Metabol. energia GJ/ha	101,36	101,36	65,59	65,59	65,59	65,59
Tuotos-panos- suhde	4,26	3,54	6,07	5,48	6,04	5,81

1 = 20 t/ha lantaa + 100/26/100 kg/ha NPK
 2 = 140/44/250 kg/ha NPK
 3 = 15 t/ha kompostia
 4 = 25 t/ha kompostia
 5 = 25 t/ha tuoretta lantaa
 6 = 40 " " "

1.) Leväjauhoa, sarveis-
jauh., kivipölyä
 2.) 12 kg/ha

Taul. 6. Apilanurmen viljelyn tuotos-panossuhteet eri viljelymenetelmillä. (Laskentamalli, GRAF 1979, ref. KELLER 1979). GJ/ha

Valkoapila/heinänurmi

	Väkilannoitus + org.lann.	Väkilannoitus	Biodynaaminen		Orgaanis-biologinen	
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
<u>Panokset</u>						
Koneet	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57
Polttoain.	8,84	7,48	9,02	9,30	7,84	7,38
Lannoitteet:						
N	4,80	13,60				
P	0,84	1,40				
K		2,70				
Yht.	5,64	17,70				
Kuivaus	5,00	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Panokset yht. GJ/ha	23,05	33,75	16,59	16,87	15,41	14,95
<u>Tuotos</u>						
Sato t/ha ka	12,5	12,5	10,0	11,0	10,0	10,0
Nettosato "	10,6	10,6	8,5	9,3	8,5	8,5
Sato GJ/ha (metabol.energia)	113	113	90	98	90	90
Tuotos/panos- suhde	4,89	3,34	5,43	5,83	5,85	6,03

P.s. 1 = 100 m³/ha lietelantaa + 60/26 kg/ha NP
 2 = 170/44/250 kg/ha NPK
 3 = 15 t/ha Kompostia
 4 = - " - + 15 m³/ha lietelantaa
 5 = 30 m³/ha lietelantaa
 6 = 25 t/ha tuoretta lantaa

5. BIOMASSAN JALOSTAMISEN ENERGIATASE

Biomassan arvon energiaraaka-aineena ratkaisee lopullinen energiatase eli tuotannon ja jalostuksen vaatima energia valmiiseen tuotteeseen verrattuna sekä tuotantokustannukset. Varsinkin jalostuksen vaatima energiamäärä vaihtelee suuresti eri selvityksissä. VAKOLASSA tehdyssä selvityksessä (taul. 7) eri lähtöaineista saatava etanolimäärä ja rap-sista saatava öljymäärä, saanto pinta-alayksikköä kohti ja tuotannon energiatase perustuvat melko alhaisiin satoihin.

Taul. 7. Moottoripolttoaineiden valmistus pellolla tuotettavasta energiaraaka-aineesta (PARMALA 1980)

	raaka-aine		saanto		energia- tase
		l/t	l/ha	GJ/ha	
<u>Etanoli</u>	Sokeriruoko	70	3900	80	12 %
	Sokerij.	85	2000	42	13 %
alkoholikäymi- nen ja tislauk-	Peruna	110	1400	29	13 %
	Ohra	345	850	18	10 %
<u>Kasviöljy</u> puristus	Olki	100	400	8	90 % (1
	Rapsi	454	750	27	50 %

(1 Optimoitu valmistusprosessi, käytännössä ilmeisesti 70 %

Ruotsalaisissa selvityksissä esim. sokerijuurikkaan ja perunan sadot ovat em. lukuihin verrattuina keskimäärin kaksinkertaiset, mutta energiasuhde on arvioitu selvästi epäedullisemmaksi (taul. 8).

Taul. 8. Energiankulutus etanolin tuotannossa (BERGMAN 1980)

kasvi	sato t/ha	raaka-aine kg/l etanolia	etanolia l/ha	Panokset			
				Viljely ja korjuu GJ/ha	MJ/l	teoll.tuot. MJ/l	Yht. MJ/l
sokeri- juurikas	45	12	3750	29,5	7,9	18	25,9
syys- vehnä	5,8	2,7	2150	23,0	10,7	18	28,7
peruna	35	9	3900	34,2	8,8	18	26,8

Etanolin teolliseen tuotantoon kuluva energiamäärä vaihtelee 11-22 MJ/l etanolia. Ruotsalaiset käyttävät keskimääräistä lukua 18 MJ litraa kohden vedetöntä etanolia. Raaka-aineen viljelyyn ja korjuuseen ja etanolin teolliseen tuotantoon kuluu siis yhteensä noin 26-29 MJ energiaa vedetöntä etanolilitraa kohti. Kun etanolin energiasisältö on noin 23,4 MJ, etanolituotannon energiatase on 0,9-0,8. Koska etanolin tuotantoon kuluu enemmän energiaa kuin se sitä sisältää, raaka-aineen tuotannossa ja teollisessa prosessissa olisi mahdollisimman paljon käytettävä alempiarvoista energiaa esim. olkea, turvetta jne.

Etanolituotannon energiatasetta parantaa prosessointijätteen, rankin ja mäskin energia. JOHANSSONIN (1980) ja BERGMANIN (1980) laskelmiin pohjautuen sokerijuurikkaan prosessointijätteen energia-arvo rehuna etanolilitraa kohti on 14,4 MJ, syysvehnän 18 MJ ja perunan 7,2 MJ. Tämä parantaa etanolituotannon energiatasetta huomattavasti (1,1-1,4). Käytettäessä viljaa alkoholintuotantoon, olki muodostaa arvokkaan sivutuotteen, jonka energiasisältö on noin 36 MJ/l etanolia (BERGMAN 1980). Kokonaisuutena voidaan siis suotuisissa olosuhteissa saavuttaa etanolituotannossa positiivinen nettoenergiatulos.

Öljiintuotannossa energiatase on parempi kuin etanolintuotannossa. Ruotsalaisten selvitysten mukaan (BERGMAN 1981) viljelyyn ja jalostukseen kuluu energiaa 25 MJ öljylitraa kohti. Kun öljyn energiasisältö on noin 32 MJ/l, nettoenergia on noin 7 MJ/l ja energiatase 1,3. Sivutuotteena saadaan lisäksi olkea (noin 43 MJ/l öljyä) ja valkuaisrehua (lähes tonni hehtaarilta).

6. MAATALOUSTUOTTEISTA SAATAVA ENERGIA FOSSIILISEN ENERGIAN KORVAAJANA

6.1. Moottoripolttoaineiden tuotannon vaatima pinta-ala

Etanoli ja kasviöljy soveltuvat ajoneuvojen polttoaineeksi, kaasut lähinnä paikalliskäyttöön. Vedetöntä etanolia voidaan lisätä 20 % bensiiniin ilman muutoksia moottorissa. Dieselmoottorit vaativat kaksoispolttoainejärjestelmän tai syttymistä edistäviä ja voitelevia lisäaineita, jos käytetään alkoholia polttoaineena. Kasviöljyä voidaan käyttää dieselmoottoreissa lähes sellaisenaan. Kevyen polttoöljyn lisäys parantaa kuitenkin ominaisuuksia huomattavasti. Erot diesel-

öljyn ja rypsiöljyn välillä johtuvat osaksi jälkimmäisen alemmasta lämpöarvosta ja suuremmasta tiheydestä. Huipputeho rypsiöljyllä on 3 % pienempi ja käynnistyvyys varsinkin alhaisissa lämpötiloissa heikompi kuin dieselöljyllä.

Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksessa tutkitaan kasviöljyjen käyttöä dieselmootoreissa. Tutkimusten mukaan noin puolet polttoöljystä voitaisiin korvata kasviöljyllä (PARMALA 1980). Öljyn tuotantomahdollisuuksien laajentaminen ja laajamittaisen viljelyn vaikutukset ovat selvittämättä. Vaikka viljelyala on noussut, maatalouskoneiden koko polttoainemäärän korvaaminen kasviöljyllä vaatisi nykyisen alan lähes kymmenkertaistamista. Öljykasviala oli v. 1980 55 000 ha ja sato 88 milj. kg. Kun rypsin öljypitoisuus on noin 45 %, saanto hehtaarilta on noin 720 kg. Jos traktorin polttoaineen kulutus on noin 4000-5000 l/v (500 h/a, diesel pa. 8-10 l/h), tarvittaisiin traktoria kohti 5-7 ha. VAKOLAN laskelmien mukaan, jotka perustuvat vuoden 1976 konekannan kuluttamaan polttoainemäärään (280 000 toe/a), pinta-alan tarve, jos kaikki koneiden tarvitsema polttoaine kasvatettaisiin Suomessa, olisi noin 20 % peltoalasta eli 500 000 ha (PARMALA 1980).

Nämä laskelmat perustuvat runsaasti erukahappoa sisältävien lajikkeiden suurempiin satoihin. Nykyiset vähän erukahappoa sisältävät lajikkeet ovat pienempisatoisia ja vaatisivat jopa 50-60 % peltopinta-alasta riittääkseen traktorien "laitumiksi" (PARMALA 1982). Vuoden 1976 jälkeen konekanta on lisääntynyt. Esim. traktoreita oli v. 1981 käytössä 212 000 eli 1 kpl 11 peltohehtaaria kohti ja puimureita 45 000 eli 1 kpl 26 viljahectaaria kohti (TIETOVAKKA'81). Koska peltopinta-ala on kuitenkin vähentynyt, käyttöaika ja siten myös polttoaineen kulutus on traktoria kohden vähentynyt.

Etanolin tuottamiseksi yhtä henkilöautoa varten tarvittaisiin 1 hehtaarin ala sokerijuurikasta tai 1,1 ha perunaa ja sen lisäksi viljelyn, kuljetuksen ja tislauksen aiheuttama energia (KOMITEAMIETINTÖ 57/1981). Koko liikenteen käyttämän bensiinimäärän korvaamiseen etanolilla tarvittaisiin 1,6 milj. peltohehtaaria. Moottoripolttoaineiden valmistus biomassasta tulee toistaiseksi kuitenkin kalliiksi, esim. etanoli bensiiniin verrattuna noin kolminkertaiseksi kustannuksiltaan. Tutkimustoimintaa polttonesteiden raaka-aineiden tuottamiseksi voidaankin tällä hetkellä motivoida vain valmiussyin.

6.2. Moottoripolttoaineiden hinta

Tulevaisuudessa on yhä tärkeämpää pyrkimys suureen nettoenergiatasoon ja mahdollisimman suureen uusiutuvan energian osuuteen energiapanoksesta. Kuitenkin kotimaisen energian hinta fossiiliseen energiaan nähden on ratkaiseva näiden energiamuotojen kilpailussa normaaleissa olosuhteissa.

Etanolin tuotannossa raaka-ainekustannukset muodostavat 60-70 % tuotantokustannuksista. Ruotsissa energiaraaka-aineen tuotantokustannukset tuotettua energiayksikköä kohti ovat suurimmat perunalla, seuraavina tulevat öljykasvit, sokerijuurikas, syysvehnä, timotei, olki ja viimeisinä energiametsä ja paju (BERGMAN 1980).

Etanolin tuotantolaitoksen koko ja sen energiankulutus sekä sivutuotteiden arvo vaikuttavat energian hintaan. Tiedot tuotantokustannuksista vaihtelevat eri lähteissä hyvin paljon riippuen valitusta tekniikasta, raaka-aineen laadusta ja siitä, otetaanko mukaan välilliset kustannukset kuten investointi-, kone- ym. kustannukset. Ruotsalaisten selvitysten mukaan etanolintuotannon raaka-aine- ja jalostuskustannukset vaihtelevat välillä 1,96-6,50 mk/l ⁽¹⁾ (JOHANSSON 1980).

Syksyn 1982 hintojen ja vuoden 1980 satotason mukaan olisivat raaka-ainekustannukset meillä seuraavat:

	hinta p/kg	sato t/ha	etanolia		
			l/t	l/ha	mk/l
peruna	37,00	18	110	1980	3,36
sokeri-juurikas	35,80	28,4	85	2448	4,15
ohra	135,21	2,88	345	994	3,92

Jos arvioidaan, että raaka-aineen osuus viljaetanolin valmistuskustannuksista on 70 %, etanolin kokonaiskustannukset esim. viljasta ovat noin 5,60 mk/l. Kun tähän lisätään jakelu- ja myyntikustannukset ja etanolin alhaisempi energia-arvo bensiiniin verrattuna, ei nykyisistä viljelykasveista valmistettu etanoli ole vielä kilpailukykyinen fossiilisten polttoaineiden hinnan kanssa (benssiini 3,71-3,85 mk/l, 27.11.82). Bensiinilitran korvaamiseen tarvitaan 1,5 l etanolia.

(1 1 kr = 0,74 mk)

Kasviöljyn raaka-ainekustannukset ovat vuoden 1980 satotason ja 1982 hintatason mukaan 6,39 mk/l:

	hinta mk/kg	sato t/ha	öljyä		mk/l	diesel- öljy mk/l	kevyt poltto- öljy mk/l
			l/t	l/ha			
Öljykasvit	2,90	1,6	454	726	6,39	2,70	1,60

Kustannuksia vähentää valkuaisrehujauhon arvo, joka ruotsalaisen arvion mukaan on vajaa kolmasosa viljely-, käsittely- ja jalostuskustannuksista (BERGMAN 1981). Ero uusiutuvan ja fossiilisen energian hintojen välillä kapenee jatkuvasti öljytuotteiden hintojen noustessa.

"Agrobioenergia"-projektissa on vertailtu etanolin ja kasviöljyn hintojen suhdetta bensiinin ja dieselöljyn hintoihin vuoden aikavälillä (NYA PERSPEKTIV 3/82). Etanolin tuotantokustannukset maataloustuotteista olivat v. 1981/1980 95 % korkeammat kuin bensiinin hinta, mutta vuosina 1981/1982 vain 50 % korkeammat. Vastaavasti kasviöljyn kustannukset olivat 2,5 - 3-kertaiset v. 1980/1981, mutta enää 2 - 2,5-kertaiset v. 1980/1981 dieselöljyn hintaan verrattuna. Ruotsin olosuhteissa tarvitaan enää 20 % lisäys etanolisaannossa ja 40 % lisäys kasviöljyssaannossa hehtaaria kohti, jotta nämä raaka-aineet ovat liiketaloudellisesti kilpailukykyisiä. Arviointiperusteena olevat raaka-ainesadot ovat huomattavasti suurempia kuin Suomessa.

6.3. Kiinteät polttoaineet

Kiinteänä polttoaineena käytettävä biomassa on tulevaisuudessa realistinen vaihtoehto fossiilisen öljyn ja kivihillen korvaajana. Viime aikoina oljen merkitys lämpöenergian lähteenä on korostunut. Työteho-seuran selvitysten mukaan (OKSANEN 1980) keskikokoisen maatilan lämpöenergian tarve 180 GJ/v (50 000 kWh/v) tulee tyydytetyksi noin 32 tonnilla olkea poltettuna 45 % hyötysuhteella. Tämä määrä saataisiin keskimääräisen olkisadon mukaan (1,9 t/ha) 17 hehtaarilta, mutta lyhyeen sänkeen puitaessa 12-13 hehtaarilta. Oljen käyttöä kiinteänä polttoaineena rajoittavat kuitenkin syksyn epävakaiset korjuusajat ja suuri työvoiman tarve. ORAVAN mukaan (1980) oljen kokonaistuotantokustannukset olivat 1980 kovapaalausmenetelmällä 15-26 p/kg ja hinta polttoaineena 9-17 p hyödyksi saatua kWh:a kohti, kun öljyn hinta oli vastaavasti 15,7 p/kWh. Vuoden 1980 jälkeen esim. kevyen polttoöljyn hinta on noussut lokakuuhun 1982 mennessä 22 %.

Järviruoko on luonnonvaraisista heinäkasveista satoisin, mutta sen merkitys energian lähteenä on vain paikallinen. Kauppa- ja teollisuusministeriön projektissa "Vesikasvustojen energiatuotos ja sen hyväksikäyttömahdollisuudet" on inventoitu järviruoko'n kasvualoja ja satoja. Vuosituotos on paikoin ollut jopa 12 tonnia hehtaarilta eli energiaviljelyyn suunniteltujen pajuviljelmien tasoa. Ruoko on polttoominaisuuksiltaan oljen tapainen ja korjuukustannus sitä edullisempi (7 p/kWh) (ORAVA 1980).

Jos 12 tonnin kuiva-ainesatoja (170 GJ/ha) energiapajusta voidaan pitää realistisina, keskikokoisen maatilan lämpöenergian tarve voitaisiin tyydyttää jo 2-3 hehtaarin pajuviljelyksillä polttotekniikasta riippuen. Energiametsätoimikunnan mietinnön (1981) mukaan vuosisadan loppuun mennessä olisi mahdollista tuottaa 550 000 hehtaarin pinta-alalla 2 milj. tonnia vastaava energiamäärä puubiomassana. Se merkitsee 6-7 % vuoden 2000 arvioidusta primäärienergian kulutuksesta (25-30 MTOE).

7. MAATALOUDEN ENERGIAVILJELYPOTENTIALI

7.1. Viljelemätön peltoala

Biomassan viljely energiataroituksiin edellyttää maan käytön tehostamista. Tällä hetkellä on kesantoa, maataloustuotannosta poisjäänyttä tai toisarvoisessa käytössä olevaa peltoa lähes 300 000 ha. PERA-projektin yhteydessä on mainittu maassamme olevan yli miljoona hehtaaria marginaalimaata, joka ei ole metsää eikä peltoa eikä ole tuottavassa käytössä. Polttoturvetuotannosta vapautuva suonpohja on merkittävä viljelyalue. Vuoteen 2000 mennessä on sellaista aluetta arvioitu olevan 50 000-100 000 ha (POHJONEN 1982).

Biomassasta saatavan energian määrä riippuu siitä, mikä suuntautumisvaihtoehtoista valitaan: etanoli, kasviöljy tai kiinteät polttoaineet. Seuraavassa asetelmassa on esitetty eri vaihtoehtoja energiaraaka-aineen tuotannossa peltoalalla, joka Tuotantopoliittisen toimikunnan mukaan on tämän vuosikymmenen lopulla vapaana (230 000 ha):

	sato kg/ha	MJ/kg	peltoala ha	brutto- energia PJ/a	(oljet ja naatit) ⁽¹⁾
öljykasvit, siem.	1 600	18,0	230 000	6,6	(5,5)
ohra, jyväsato	2 880	15,1	"	10,0	(5,5)
heinä	4 000	14,7	"	13,6	
peruna, mukulasato	18 000	3,6	"	14,9	(7,0)
sokerijuurikas, juurisato	28 400	3,6	"	23,5	(8,6)
energiapaju	12 000	19,0	"	52,4	

Öllykasvit tuottavat vain vajaan neljäsosan energiapajulla saatavasta energiasta, vaikka olki otetaan huomioon. Arvioinnin perustana olevat sadot edustavat varsin vaatimatonta tasoa. On otettava huomioon, että arvioitu tuotantopotentiali tarkoittaa bruttoenergiämäärää. Jos otetaan huomioon energiapanokset viljelyyn ja jalostuksen eri vaiheissa, kiinteän polttoaineen tuotanto osoittautuu energiantuotannon kannalta tehokkaimmaksi. Oljen ja naattien käyttö parantaa ns. energiakasvien energiatasetta huomattavasti. Kun nestemäisten polttoaineiden esim. etanolin tuottamiseen kuluu enemmän energiaa kuin lopputuote sisältää, eri vaihtoehtojen vertailussa painoarvo on muilla seikoilla kuin energiatasetilla. Vain sivutuotteiden tehokkaalla hyväksikäytöllä voidaan etanolin tuotannon energiataset saada positiiviseksi.

⁽¹⁾ 24 GJ/ha oljista, 50 % naatti- ja varsisadon energiasta

Jos koko käytettävissä oleva ala on öljykasveilla ja nettoenergia-saanto on 50 %, saatava öljymäärä kattaa noin 20 % maatilojen tuotantoimintaan kuluva polttoaineesta (16,3 PJ 1979). Lisäksi saadaan oljesta energiaa noin 1 % tuontiöljyn energiasta. Jos taas koko ala on sokerijuurikkaalla, siitä saatava bruttoetanolimäärä on noin 544 000 m³. Jos etanolin tuotannon energiatase on 1,4, nettoenergiaa vastaava etanoli on määrältään noin 9 % koko autokannan kuluttamasta bensiinistä (1,77 milj. m³ v. 1981). Energiataseessa ei ole otettu huomioon naatteja. Vastaavalta alalta energiapaju tuottaa nettoenergiaa noin 45 PJ, mikä on noin 4,5 % koko maan energiankulutuksesta (1000 PJ, josta öljyn osuus on 500 PJ). Em. arviot eri kasvien energiantuotantopotentiaalista perustuvat vuoden 1980 melko alhaisiin satoihin. Arviot muuttuvat nopeasti satotason muuttuessa.

7.2. Ylituotantoala

Kotimaisen kulutuksen ylittävää elintarviketuotantoa vastaava pinta-ala eli ns. "vientipinta-ala" arvioidaan 200 000-300 000 hehtaariksi (POHJONEN 1982). Tätä alaa ei kuitenkaan voitane pitää energiaviljelyn reservimaana, koska leipäviljan tuotanto on pahasti alijäämäinen ja rehuvalkuaista tuodaan ulkomailta.

Ruotsissa on alkamassa lähes 300 000 hehtaarilta saadun viljaylijäämän jalostaminen etanoliksi. Siellä on arvioitu, että energiaviljelyyn vapautuu vuosisadan loppuun mennessä noin 750 000 ha yleisen satotason nousun ja energiakasvien tuotantoon sopivan viljelytekniikan kehittymisen myötä (BERGMAN 1981).

7.3. Ruokavalion muuttaminen

Ruokavalion muuttaminen kasvisvoittoisempaan suuntaan vapauttaisi peltoalaa energian tuottamiseen. Ruokavalion muutokset vaativat kuitenkin vahvan motivaation tai esimerkiksi kriisitilanteen vaatiman säännöstelyn. Kun Ruotsin huoltokykymallissa väestön ravinnossa saama energian määrää alennettiin 20 %, huoltotavoite voitiin eräin edellytyksin saavuttaa 600 000 ha pienemmällä peltopinta-alalla kuin normaalitilanteessa (ref. LAAKSONEN ja KETTUNEN 1981).

Energiansaantia ei kuitenkaan tarvitse välttämättä alentaa samaan tuloon pääsemiseksi. Nykyään yhä suurempi osa energiasta saadaan eläinkunnan tuotteista, joiden tuottaminen vaatii huomattavasti suuremman peltopinta-alan kuin saman energiamäärän tuottaminen kasvikunnan

tuotteina. Esimerkiksi saman energiamäärän tuottaminen maidossa vaatii viljaan verrattuna nelinkertaisen alan, sianlihana vastaavasti kuusinkertaisen ja naudanlihana lähes viisitoistakertaisen peltoalan (ANON. 1978). Vähäinenkin siirtyminen eläinkunnan tuotteiden kulutuksesta kasvikunnan tuotteisiin vapauttaisi peltopinta-alaa muuhun käyttöön. Jos esim. ravinnon valkuaismäärää alennetaan 10 %:lla, muutos merkitsisi noin 20 000 ha vapautumista muuhun tuotantoon (REINIKAINEN 1979). Ravitsemuksen kannalta muutos olisi hyväksyttävä, sillä valkuaisen saanti keskimäärin (103 g/henkilö v. 1981) ylittää suosituksen (1 g/kg).

Toisaalta kriisiaikaan, jolloin paine kotimaisen energian tuottamiseen myös maatalousmaalla kasvaa, liittyy myös tuotantopanosten saannin vaikeutuminen. Tämä johtaa intensiivisestä viljelystä enemmän peltopinta-alaa vaativaan laaja-alaiseen viljelyyn. Tällöin markkinattomiin tuotteisiin perustuvan kotieläintuotannon osuus korostuu, kun taas runsaasti tuontipanoksia ja suoraan ihmisravinnoksi kelpaavia kasvinviljelytuotteita vaativat sika- ja kanatalous supistuvat.

KURKELA (1980) on esittänyt kriisiajan ravintosuosituksen, joka on ravitsemuksellisesti riittävä, mutta niukkuudessaan poikkeaa niin paljon nykyisestä kulutuksesta, että se toteutuakseen vaatii tiukan säännöstelyn. Peltopinta-alaa tämän minimiruokamäärän tuottaminen vaatii noin 32 % nykyisestä peltoalasta, jos satotaso laskee esim. 35 % (RINNE et al 1981).

Ruotsalainen sukkutilanteen varalle tehty elintarvikehuoltoa koskeva suunnitelma edellyttää vapaata viljan, perunan ja kulutusmaidon tarjontaa. Tällöin lasketaan perunan kulutuksen kasvavan 80 %, leipäviljan 60 % ja maidon 10 %. Sen sijaan säännösteltyjen elintarvikkeiden kulutus laskee, esim. naudanlihan 35 %, kananmunien 45 %, sianlihan 75 % ja siipikarjan 95 % (ref. LAAKSONEN ja KETTUNEN 1981).

7.4. Energiakasvit kasvinvuorottelussa

Jos energiakasvien viljely katkaisee yksipuolisen viljelyn, sillä on tervehdyttävä ja satoa lisäävä vaikutus. Jos öljykasvi, sokerijuurikas tai peruna viljan esikasvina nostaa satotasoa 10-15 %, se merkitsee sitä, että energiaviljelyä voidaan tältä osin laajentaa ilman, että oma-varaisuus on vaarassa.

7.5. Kasvinjalostuksen mahdollisuudet

Kasvinjalostus on keino lisätä energiantuotantoa, kun jalostusmateriaalin valinnassa jo huomioidaan soveltuvuus energiataroituksiin. Edellä on tullut ilmi, että energiakasvien ominaisuuksista tärkein on suuri kuiva-ainesato. Se on jo nyt yksi kasvinjalostuksen päämääristä. Jos jaloste on myös viljelyvarma, sillä on hyviä energiakasvinkin ominaisuuksia. Monet ravintokasvien laatuvaatimuksista voidaan jättää huomiotta.

7.6. Sivutuotteet

Maatilatalouden energiatoimikunnan mietinnössä (KOMITEANMIETINTÖ 1981:57) pidetään energiaviljelypotentiaalin kannalta keskeisenä kysymyksenä kemiallisesti käsitellyn oljen käytön lisäämistä rehuksi. Peltuheininän korvaaminen oljella vapauttaisi jopa neljäsosan peltopinta-alasta energiaviljelyyn.

Etanolin ja rypsiöljyn tuotannon sivutuotteina saataisiin korkea-arvoista valkuaisrehua. VAKOLAN selvitysten mukaan esim. 0,5 milj. hehtaarilta saadaan öljyn lisäksi 414 milj. kg valkuaisrehua. Tätä vastaava rehuntuotantoala voidaan siirtää energiaviljelyyn.

8. ENERGIAVILJELYN EKOLOGISET VAIKUTUKSET

8.1. Jätteen käyttö energiataroituksiin

Kasvinviljelyjäte on arvokas maan tuottavuutta ylläpitävä tekijä. Jätteen systemaattisen poistamisen vaikutus voi olla haitallinen. Eräät tiedemiehet pitävät epärealistisena suunnitella satojätteen käyttöä energiataroituksiin. Se vain lisää ongelmia, joista pahimpia ovat eroosio ja humuksen väheneminen. PIMENTEL et al (1981) antavat hyvin pessimistisen kuvan satojätteen poistamisen vaikutuksista. He ovat arvioineet, paljonko energiapanoksia on lisättävä, jotta viljelyjätteen poistamisen haitat voitaisiin korvata ja pitää sadon määrä muuttumattomana. Jätteen poistaminen vaikuttaa monella tavalla. Eroosio kasvaa, orgaanisen aineen osuus alenee ja jätteen mukana poistuu ravinteita. Eroosion vaikutuksesta satotasoon arviot vaihtelevat kasvin, maalajin, maan rakenteen, ojituksen, lämpötilan, sademäärän jne. mukaan. Erään arvion mukaan vehnän satotaso laskee 5 % jokaista 2,5

cm:n pintamaan häviötä kohti. Tämä sadonalennus on osittain korvattavissa lisäämällä panoksia (1 370 kcal/kg) (PIMENTEL and PIMENTEL 1979).

Maan orgaanisen aineen vähenemisestä johtuva maan rakenteen heikkeneminen voidaan samoin mitata energiapanoksina, jotka tarvitaan korvaamaan sadonmenetykset. Kun kaikki jätteiden poisviennin seurannaisvaikutukset otetaan huomioon, PIMENTEL et al (1981) päätyvät laskelmissaan negatiiviseen nettoenergiataseeseen silloin, kun käytetään tavanomaisia viljelymenetelmiä. Edellä mainittuja tappioita voidaan merkittävästi vähentää maata säästävällä muokkauksella. Esimerkit ovat USA:sta, jossa tutkijoiden mukaan vain 20 % jätteistä voitaisiin em. syistä käyttää energiataroituksiin.

Myös Suomessa on saatu viitteitä nykyisen viljelytavan humusta kuluttavasta vaikutuksesta. ERVIÖN (1982) selvitysten mukaan Maatalouden tutkimuskeskuksen koeasemilla 13 koepaikalla muokkauskerroksen humuspitoisuus on viimeisten 21 vuoden aikana laskenut 9-35 %. Myös pitkäaikaisessa olkien maahankyntökokeessa Tikkurilassa orgaanisen hiilen määrä oli alhaisempi niillä lohkoilla, joilta olki oli viety pois (JAAKKOLA 1977).

8.2. Energiakasvien viljely

Ruotsalaiset tutkijat ovat selvittäneet energiaviljelyn ekologisia seurauksia (BERGMAN 1980, FOGELFORS 1981, HOLMIN 1981). Seuraavassa lyhyesti heidän esittämiään näkökohtia.

- Yksipuolisessa viljanviljelyssä energiakasvi, esim. peruna, sokerijuurikas tai öljykasvi voi välikasvina nostaa satotasoa. Jos sen sijaan energiakasvien viljely lisääntyy tiloilla, joilla näitä kasveja viljellään ennestään, vaikutus voi olla päinvastainen. On oletettava, että energiaviljely keskittyy tiloille, joilla on valmiina tarvittava kalusto ja viljelykokemusta.
- Energiakasvien viljelyssä pyrkimyksenä on saada mahdollisimman suuri kuiva-ainesato. Tämä taas edellyttää suuria panoksia lannoitteina. Tällöin huuhtoutumiskysymykset voivat tulla ongelmaksi varsinkin perunan viljelyssä. Siirtyminen viljasta energiakasveihin ei lisää merkittävästi typen käyttöä. Sen sijaan fosforin ja kaliumin käyttö on runsaampaa sokerijuurikkaan ja perunan viljelyssä. Jos ravinteiden palauttaminen saadaan nykyistä tehokkaammaksi, lannoitteiden määrää ei välttämättä tarvitse lisätä.

Energiapajun tehoviljely vaatii paljon typpeä. Vuotuinen 170 GJ nettosato hehtaarilta vaatii 150 kg (11,5 GJ) typpiannoksen. Kun pajua käytetään polttoaineena, sen sitoma typpi menetetään. Muut ravinteet voidaan palauttaa tuhkana (POHJONEN 1980).

- Kemiallista torjuntaa pidetään välttämättömänä osana energiaviljelyä. Torjunta-aineiden käyttöä eivät rajoita samat määräykset kuin elintarviketuotannossa. Lisääntyneeseen käyttöön liittyy kuitenkin haitallisten ekologisten ketjureaktioiden vaara. Ruotsalaisten arvioiden mukaan jokaista 25 000 hehtaarin viljelyalaa kohti, joka siirretään öljykasvien viljelyyn, insektisidien kokonaismäärä kasvaa 7-8 %. Vastaavasti peruna lisää fungisidien määrää 30-40 %. Herbisidien määrän ei oleteta kasvavan energiaviljelyn lisääntyessä.
- Uusien kasvien monokulttuuri saattaa tuottaa aivan uusia kasvitautiongelmia.
- Heinän viljelyllä energiakasviksi on ekologisesti positiivisia vaikutuksia. Nurmi on arvokas lisä kasvinvuorottelussa viljanviljelyalueella. Lisäksi nurmiviljelyssä typen huuhtoutumisvaara on pieni, torjunta-ainetarve vähäinen ja vaikutus maahan edullinen. Kiinteänä polttoaineena käytettäessä heinän alhainen rikkipitoisuus verrattuna esim. öljyyn ja kivihiileen on etu. Haittapuolena on sen sijaan korkea tuhkapitoisuus savukaasuhaittoineen ja alhainen energiasato muihin energiakasveihin verrattuna.

9.3. Biomassan jalostuksen ympäristövaikutukset

Biomassaa jalostavan teollisuuden ympäristöhaitoista pahimmat liittyvät rankin talteenottoon ja käyttöön sekä energian polttoon. Sekä vilja- että perunarankki ovat rehuna käyttökelpoisia, mutta juurikkaaseen perustuvan etanolinvalmistuksen rankki on miltei jätteen arvoista. Jos energiaviljely laajenee ja määrät suurenevät, rankin talteenotossa ja käytössä voi syntyä ongelmia. Toisen ongelman muodostaa etanolin valmistuksen suuri energiantarve. Saasteita syntyy käytettiinpä mitä energianlähdettä tahansa, hiiltä, öljyä tai biomassaa.

Käsitteitä ja muuntokertoimia (BERGMAN 1980, MAATILATALOUDEN
ENERGIAKASVIEN KÄYTTÖ 1980)

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

Energiamitat:

joule (J)
 wattitunti (Wh)
 kalori (cal)

Energiamittojen väliset suhteet:

1 GJ = 278 kWh = 238 Mcal

1 kWh = 3,6 MJ = 0,86 Mcal

1 Mcal = 4,2 MJ = 1,16 kWh

toe = ekvivalenttinen öljytonni, yhden raskaan polttoöljytonnin
 sisältämä lämpömäärä

1 toe = 41,8 GJ = 11,6 MWh = 9,9 Gcal

Energialähteiden energiasisältö:

	yksikkö	energiasisältö
raakaöljy	t	41,8 GJ
raskas polttoöljy	t	40,6 GJ
kevyt polttoöljy	t	42,2 GJ
	m ³	35,9 GJ
dieselöljy	t	42,5 GJ
	m ³	35,4 GJ
bensiini	t	42,9 GJ
	m ³	31,3 GJ
kasviöljyt	t	35,9 GJ
	m ³	32,3 GJ
etanoli	t	29,7 GJ
	m ³	23,5 GJ
metanoli	t	22,7 GJ
	m ³	18,0 GJ
olki, 15 % vettä	t ka	15 GJ
paju, 10 % vettä	t ka	17 GJ
halko, 50 % vettä	t ka	16 GJ
" 30 % vettä	t ka	17 GJ
turve, 50 % vettä	t	9,4 GJ

Peltoviljelyn energiapanosten muuntokertoimia

Ihmistyö	0,15 kWh/h	0,54 MJ/h ⁽¹⁾	(2)
Koneiden valmistus ja huolto	20,0 kWh/kg	72 MJ/kg	3,57 GJ/ha
Poltto- ja voiteluaineet	9,88 "/l	36 "/l	40,0 MJ/l
Typpilannoitteet	19,2 "/kg	69 "/kg	80,0 MJ/kg
Fosforilannoitteet	1,8 "/"	6,5 "	14,0 MJ/kg P ₂ O ₅
Kalilannoitteet	0,5 "/"	1,8 "	9,0 MJ/kg K ₂ O
Kasvinsuojelu	28,0 "/"	101 "	100,0 MJ/kg
Viljankuivaus	320 "/"	1152 "/ha	100,0 MJ/1°C
Heinäkuivaus			1000 MJ/t ka
Kompostin käsittely ja levitys			100 MJ/t

Siemen:

vilja	1 kWh/kg + 0,2 kWh/kg käsittelyyn	1,2 kWh = ⁽³⁾	4,32 MJ/kg
peruna	0,2 " + 0,2 "	0,4 "	1,44 MJ/kg

Kasvinsuojelu:

noin 5 kg/ha (perunalle 2 x)	0,15 MWh=	540 MJ/ha
------------------------------	-----------	-----------

Polttoaineet:

100 l/ha (perunalle ja sokerij. 2 x)	1,2 MWh=	4320 MJ/ha
--------------------------------------	----------	------------

Koneet:

	1,2 MWh=	4320 MJ/ha
--	----------	------------

perunalle ja sokerijuuriikkaalle	2,0 MWh=	7200 MJ/ha
----------------------------------	----------	------------

(1 ANON. 1978)

(2 GRAF 1979, ref. KELLER 1979)

(3 BERGMAN 1980)

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ANON. 1978. Maatilatalouden energiatyöryhmän mietintö
- BERGMAN, K. G. 1980. Energiproduktion i jordbruket. SLU. Konsulentavdelningen rapp. Allmänt 31.
- 1980b Produktion av energiråvara i jordbruket. DFE rapp. nr. 31
 - 1981. Energi från jordbruksgrödor. SLU. Konsulentavdl. rapp. Ekonomi 6
- ENERGIAMETSÄTOIMIKUNNAN MIETINTÖ II. 1981. Komiteamietintö 1980:5
- ENERGY FROM BIOMASS IN EUROPE. 1980. Ed. PALZ, W. & CHARTIER, P. Appl. Sc. Publ. LONDON. p. 243.
- ERVIÖ, R. 1982. Maan humuksen säilyttäminen. Koetoiminta ja käytäntö. 19.10.
- FOGELFORS, H. Vilka ekologiska konsekvenser kan en odling av speciella grödor för energiändamål medföra. SLU. Konsulentavd. rapp. Allmänt 35
- HOLMA, M. 1981. Esitutkimus lannan hyväksikäytöstä. SITRA.
- HOLMIN, I. 1981. Energigräs. SLU Instit. ekonomi och statistik. Rapp. 177.
- JAAKKOLA, A. 1977. Olkien maahankyntö. Maataloustutkimuksen päivät 15.-16.2.
- KURKELA, R. 1980. Hädän tullen haukkaa leipää puuron kanssa. Käyt. maamies 11:33-34.
- KELLER, E. R. 1979. Eri maanviljelymenetelmien tulevaisuudennäkymistä. Seminaari Viikissä 18.9.1979. Moniste.
- LAACKSONEN, K. ja KETTUNEN, L. 1981. Maatalouden huoltokyky. Esitutkimus. Pellervon TT, 14.
- LAILDLAW, A. S. & WRIGHT, C. E. 1980. The advantages in energy terms of legumes in grassland systems. Grass and For. Sc. 35:70-71.
- LATOLA, P. Jätteen käyttö energian tuotantoon. Suomen Akatemian julk. 1/1980.
- LATOSTENMAA, H. 1982. Keinot maatalouden vesiensuojelun edistämiseksi. Lounais-Suomen vesiensuojeluyhd. r.y. Julk. 49. s. 45-49.
- LOLL, V. 1976. Energy inputs for nitrogen, phosphorus and potash fertilizers in energy in agriculture. D. Pimentel (ed.) CRC Press Florida.

- LONG, G. 1977. Solar energy: Its potential contribution within the UK. Energy Paper No 16 HMSO.
- MAATILATALOUDEN ENERGIARESERVIEN KÄYTTÖ, SITRA Sarja B, 59, 1980
- MONTEITH, J. L. 1977. Climate and efficiency. Ed. COOC, G. W., PIRIE, N. & BELL, G. D. H. Publ. the Royal Soc. London p. 203.
- OKSANEN, E. 1980. Oljen korjuu-, käyttö- ja jalostusmahdollisuudet. "Biomassan käyttö energian tuotantoon". Suomen Akatemian julk. 1/1980.
- ORAVA, R. 1980. Oljen korjuu ja käyttö maataloilla. Työtehoseuran julk. 22
- 1980b. Järviruo'on korjuu energiaksi. Työtehos. maatal. tied. 6 (264).
- PARMALA, S. P. 1980. Polttomoottorien varustaminen kotimaisten poltto-
aineiden käyttöön soveltuvaksi. VAKOLA. Tutk. selostus N:o 24.
- 1982. Suullinen tiedonanto.
- PATTERSON, D. & STEEN, R. 1982. Silage. Farmers Weekly, July 9, s. 62-63.
- PIMENTEL, D. et. al. 1981. Biomass energy from crop and forest residues. Science, Vol. 212, 5 June.
- and PIMENTEL, M. 1979. Food energy and society. Arnold. London.
- POHJONEN, V. 1980. Energiametsät ja energiaviljely. Tutkimus ja tekniikka
2-3.
- 1980. Energiaviljelyn haaste. Suomen luonto 39, 6-7.
- 1982. Helsingin Sanomat 14.4.
- REINIKAINEN, A. 1979. Energian käyttö maataloudessa. Biol. typensid. semin. 29.-30.5. SITRA.
- RINNE, K., SIMOJOKI, P. ja RINNE, S-L. 1981. Omavarainen maataloustuotanto. Sata-Hämeen koeaseman tiedote N:o 4.
- TAKALA, M. 1982. Suullinen tiedonanto.
- VARIS, E. 1980. Viljelykasvien käyttömahdollisuudet energiantuotantoon. Suomen Akatemian julk. 1/1980.

