

Peltokasvituotannon energiataselaskelmat

Kalle Kautto¹, Ari Klemola¹, Jukka Ahokas¹

¹⁾ Maa- ja kotitalousteknologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Sähköposti: etunimi.sukunimi@helsinki.fi

Johdanto

Maataloustuotanto perustuu nykyisellään hyvin voimakkaasti energian käyttöön. 70 % tuotannon energiasta kuluu polttoaineisiin ja lannoitteisiin. Jotta erilaisia tuotantotapoja voitaisiin arvioida keskenään, niille tehdään energia-analysejä ja elinkaariarvioiteja. Nämä arviointimenetelmät liittyvät tuotannon ja menetelmien ekologiseen arviointiin ja niiden merkitys kasvaa jatkuvasti. Energia-analyseissä käytetään usein seuraavia askeleita:

1. Tuotantoprosessi rajataan systeemianalyysin avulla. Tämän lähestymistavan ansiosta itse prosessien sisäistä toimintaa ei tarvitse tietää, riittää kun tiedetään rajapinnan ylittävät virrat.
2. Rajan sisälle meneviä energioita ja ulos tulevia energioita tarkastellaan niiden lukuarvojen avulla. Itse päätuotteen lisäksi myös sivutuotteiden energiat voidaan ottaa mukaan tarkastelussa.
3. Verrataan saatua energiaa tuotantoon käytettyyn energiaan, jolloin saadaan tuotannon energiapanos. Myös voidaan verrata tuotettua yksikköä kohti käytettyä energiamäärää.

Tuotannolle voidaan laskea erityyppisiä energiataseita, kuten energiasuhdeita, nettoenergiasaantoa tai ominaistuottoa. Energiasuhde lasketaan käytetyn energiamäärän ja tuotteesta saadun lämpömäärän avulla. Nettoenergiamäärä on mahdollista vapauttaa tuotteesta polttamalla se tai se voidaan käyttää ravinnoksi, jolloin energiamäärä vapautuu käyttöön metabolisen prosessin tuloksena. Muuntaminen ei ole häviötöntä, palamisessa päästään suurimmillaan yli 90 %:n hyötysuhteeseen. Lihastyön hyötysuhde on parhaimmillaan yli 20 %.

Tuotannossa käytetyt energiat voidaan jakaa kahteen osaan: suoraan ja epäsuoraan energiankäyttöön. Suoraa käyttöä ovat viljelykautena tarvittavat polttoaineet, sähköenergia, lannoitteet sekä kemikaalit. Suoran polttoaineenkulutuksen arvot vaihtelevat maalajin, maan kosteuden, ajonopeuden, kasvuston sekä konetyypin mukaan. Arvot ovat tällöin tyypillisiä vain kyseiselle työtavalle. Polttoaineenkulutuksesta voidaan suoraan määrittää tehty työ. Epäsuoria energiapanoksia ovat tuotantokoneiden valmistuksen, korjauksien ja huoltojen energiat. Lisäksi epäsuoriin energiapanoksiin luetaan lannoitteiden, torjunta-aineiden sekä kylvösiementen tuottamiseen tarvittavat energiapanokset. Epäsuoraa energiaa tarvitaan myös tuotantoon. Suomessa peltokasveista saatava sato joudutaan kuivaamaan, joten kuivauksen energiankulutus joudutaan energiataseessa ottamaan myös huomioon. Tähän joudutaan lisäämään vielä varastoinnista aiheutuvat energiapanokset.

Energiataseet

Energiasuhde lasketaan käytetyn energiamäärän ja tuotteesta saadun lämpömäärän avulla seuraavasti:

$$N_e = \frac{E_{tuote}}{E_{tuotu}} \quad (1)$$

N_e = energiasuhde

E_{tuote} = tuotteen energiamäärä lämpöarvon mukaan laskettuna (saatu energia)

E_{tuotu} = tuotantoon käytetty energiamäärä (panos).

Joidenkin tuotteiden lämpöarvoja on taulukossa 1.

Taulukko 1. Eräiden maataloustuotteiden kuiva-aineiden lämpöarvoja.

Tuote	Lämpöarvo MJ/kg
Vilja	20
Olki	19
Rypsi	37
Puu	19

Materiaaleissa on kosteutta mukana ja sen paino vähennetään koko tuotteen painosta. Tämä huomioidaan kaavalla:

$$H_a = H_{ak} \cdot (1 - w) - 2,443 \cdot w \quad (2)$$

H_a = materiaalin tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa

H_{ak} = materiaalin kuiva-aineen lämpöarvo

w = materiaalin vesipitoisuus, märkäkosteus ($w_b \sim$ wet basis).

Tuotannossa pitäisi aina päästä yli yhden olevaan energiasuhteeseen, muutoin tuotannossa käytetään enemmän energiaa kuin mitä tuotteista saadaan. Taulukossa 2 on eräiden tuotteiden energiasuhteita.

Taulukko 2. Yleisimpien viljelytuotteiden energiasuhteita.

Tuote	Energiasuhde	
	Min	Max
Viljasato	1,7	2,5
Olkisato	1,3	2
Jyvä- ja olkisato	2,5	3,5
Nurmi	3,3	3,3
Sokerijuurikas	5	5
Peruna	4,2	4,2

Polttoaineenkulutus

Peltotöissä kuten esim. kynnössä ja äestyksessä maan kääntäminen tarvitsee saman työn riippumatta siitä, minkä kokoisilla koneilla työ tehdään. Tämän takia hehtaaria kohden ilmoitettuja kuluksia voidaan melko hyvällä tarkkuudella pitää riippumattomina koneiden koosta. Massaa käsittelevissä koneissa (leikkuupuumurit, niittokoneet) polttoaineenkulutuksen muutokset ovat pienemmät joutuksen koneiston tasaisemmasta kuormituksesta maalajin vaikutuksen ollessa pieni. Seuraavassa esimerkissä lasketaan työ hehtaari kohti ominaiskulutuksen avulla, kun polttoaineen kulutus tunnetaan.

Esimerkki	Kynnetäessä kuluu polttoainetta (Q_A)	18 l/ha
	Ominaiskulutus (raskas kuormitus) (q_{om})	250 g/kWh
	Polttoaineen tiheys (ρ)	0,83 kg/l
Tällöin kynnössä tehty työ		$W_A = \frac{Q_A \cdot \rho}{q_{om}}$
W_A	59,8 kWh/ha	
W_A	215,1 MJ/ha	

Kaavassa on seuraavat merkinnät:

W_A = työ pinta-alaa kohti

Q_A = polttoaineenkulutus [l/ha]

ρ = polttoaineen tiheys

q_{om} = moottorin ominaiskulutus.

Taulukossa 3 on erilaisten maataloustöiden polttoaineenkulutus litroina hehtaaria kohti. Huomattavaa on, että kulutusarvot riippuvat voimakkaasti maalajista.

Taulukko 3. Maataloustöiden polttoaineenkulutus hehtaaria kohden. (Ortiz-Cañavate et al. 1999)

Työ	Polttoaineenkulutus		
	l/ha	l/ha	l/ha
	Maalaji		
	Kevyt Min	Keskiraskas Keskiarvo	Raskas Max
Kyntö, siipiaura	18	25	32
Raskas lautasäes	6	9	12
Keskiraskas lautasäes	5	7	9
Raskas kultivaattori	8	10	12
Kevyt kultivaattori	7	8	9
Joustopiikkinen kultivaattori	5	6	7
Jyrä	4	5	6
Jyrsin	16	20	24
Muokkaava suorakylvökone	18	24	30
Keskipakoislevitin	1,5	2	2,5
Lannan levitin	5	7	9
Kasvinsuojeluruisku, nostolaite	1	1,5	2
Kasvinsuojeluruisku, hinattava	2,5	3	3,5
Kylvökone	4,5	5	5,5
Leikkuupuumuri	16	18	20
Sormipalkkiniittokone	3,5	4	4,5
Pyöröniittokone	5	5,5	6
Paalain	4	5	6
Niittosilppuri	20	25	30
Sokerijuurikkaan nostokone	50	60	70

Lannoitteet, torjunta-aineet sekä siemenet

Lannoitteet voidaan jakaa kolmeen luokkaan niiden syntyvän mukaisesti: kemiallisiin, orgaanisiin sekä biologisiin lannoitteisiin. Kemiallisia lannoitteita ovat esimerkiksi ilman tyypestä valmistettavat typpilannoitteet sekä kaivoksista saatavat fosfori ja kalium. Orgaanisia lannoitteita ovat kasvi- ja eläinjätteet. Biologisia lannoitteita ovat esimerkiksi hernekasvien tuottama tyyppi. Kemiallisten lannoitteiden tarvitsemia valmistusenergioita on taulukossa 4 ja yleisimpien peltolannoitteiden valmistusenergioita on taulukossa 5.

Taulukko 4. Eräiden lannoitteiden kokonaisenergioita.

Lannoite	Valmistusenergia	Pakkaus, kuljetus ja levitys	Yhteensä	
Tyyppi, N ₂	69,5 MJ/kg	8,6 MJ/kg	78,1	MJ/kg
Fosfori, P ₂ O ₅	7,6 MJ/kg	9,8 MJ/kg	17,4	MJ/kg
Kali, K ₂ O	6,4 MJ/kg	7,3 MJ/kg	13,7	MJ/kg

Taulukko 5. Yleisimpien peltolannoitteiden valmistusenergioita. (Hero, 2003)

Lannoite	Valmistusenergia
Pellon Y1	13600 MJ/t
Pellon Y3	11700 MJ/t
Pellon Y4	11450 MJ/t
Pellon Y7	15200 MJ/t

Torjunta-aineiden valmistusenergiat ovat luokkaa 85...520 MJ/kg. Esimerkiksi MCPA:n valmistusenergia on 130 MJ/kg. Hyönteisten torjuntaan tarkoitettujen aineiden valmistusenergia on suuruudeltaan 60...850 MJ/kg. Näihin energia-arvoihin on lisättävä vielä pakkauksen ja kuljetuksen osuus 3...8 MJ/kg. Myös viljelyyn käytettävien siementen valmistamiseen tarvitaan energiaa. Siementen valmistusenergioita on taulukossa 6.

Taulukko 6. Kylvösiementen valmistusenergioita (Kalk & Hülsbergen, 1999). Suomessa nämä arvot ovat korkeammat johtuen suuremmasta sadon kuivaustarpeesta.

Kasvi	Energian käyttö
Sinimailanen	230 MJ/kg
Apila	135 MJ/kg
Maissi	100 MJ/kg
Vehnä	13 MJ/kg
Ohra	14 MJ/kg
Kaura	18 MJ/kg
Soija	34 MJ/kg
Riisi	17 MJ/kg
Sokerijuurikas	54 MJ/kg
Heinä	88 MJ/kg
Rypsi	200 MJ/kg
Peruna	93 MJ/kg
Puuvilla	44 MJ/kg

Epäsuora energiankulutus

Epäsuoraa energiaa tarvitaan vastaavasti suorien energiapanoksien käyttämiseen. Polttoaineen valmistukseen ja kuljetukseen tarvitaan energiaa. Tämän huomioimiseksi eri energialähteille voidaan määrittää taulukon 7 kokonaisenergiämäärät.

Taulukko 7. Tavallisimpien energialähteiden kokonaisenergiasisältöjä.

Energialähde	Energiasisältö	Tuotantoenergian tarve	Kokonaisenergia
Bensiini	38,2 MJ/l	8,1 MJ/l	46,3 MJ/l
Dieselöljy	42,9 MJ/kg	10 MJ/kg	52,9 MJ/kg
Polttoöljy	42,9 MJ/kg	10 MJ/kg	52,9 MJ/kg
Nestekaasu	26,1 MJ/l	6,2 MJ/l	32,3 MJ/l
Maakaasu	41,4 MJ/m ³	8,1 MJ/m ³	49,5 MJ/m ³
Sähköenergia	3,6 MJ/kWh	8,4 MJ/kWh	12,0 MJ/kWh

Koneiden valmistuksen energia

Energiaa kuluu koneiden raaka-aineiden valmistukseen sekä myös itse koneen valmistukseen. Joidenkin maatalouskoneiden valmistusenergioita on taulukossa 8. Nämä energia-arvot ovat riippuvaisia erilaisista valmistusmenetelmistä, mutta arvot ovat suuntaa antavia.

Taulukko 8. Maatalouskoneiden valmistusenergioita.

Työkone	Valmistusenergia
Traktori	138 MJ/kg
Kyntöaura	180 MJ/kg
Lautasäes	140 MJ/kg
Leikkuupuimuri	116 MJ/kg

Taulukon 8 arvot joudutaan muuttamaan samaan yksikköön kuin suoran energian käyttökin eli ne pitää laskea pinta-alaa (hehtaaria) kohti. Tällöin pitää tietää koneiden massa ja niiden käyttöikä sekä vuotuinen käyttö. Viljelysesongin kuten kevät- ja syystyön pituus on sama, riippumatta tilan koosta näiden aikojen työt täytyy tehdä samassa ajassa. Tämän takia karkeassa arvioinnissa voidaan käyttää samoja tuntimääriä riippumatta siitä kuinka suuresta pinta-alasta on kyse.

Päästöt

Tuotannossa pitää pyrkiä sekä positiiviseen energiataseeseen että pieniin päästöihin. Työkoneiden ja maataloustraktoreiden moottoreiden päästörajat ovat taulukossa 9. Taulukon lukuja voidaan käyttää lähtöarvoina määritettäessä uusien traktoreiden päästöjä. Päästörajat annetaan ominaispäästöinä, mikä tarkoittaa että ne on suhteutettu tehtyyn työhön. Päästöarvot määritetään usean kuormituspiirteen painotettuna keskiarvona ja ne kuvaavat keskimääräistä koneen käyttöä. Jos päästöt halutaan laskea tarkemmin, silloin on tunnettava moottorin kuormitus ja vastaava päästöarvo. Päästöarvot ovat moottorin päästöarvoja eli työkoneen ottaman tehon lisäksi on laskettava myös traktorin oma tehonkäyttö ja voimansiirron häviöt.

Taulukko 9. Työkoneiden ja työkone moottoreiden ominaispäästörajat EU:ssa.

Teho kW	HC g/kWh	CO g/kWh	NO_x g/kWh	PM g/kWh
37...75	1,30	6,50	9,20	0,85
75...130	1,30	5,00	9,20	0,70
130...560	1,30	5,00	9,20	0,54

Moottoritehon mukaisen päästöjen laskennan ongelmana on moottoritehon laskenta. Jotta tarvittavat moottoritehot olisivat oikein, pitää tietää työkoneen aiheuttama kuormitus ja pellon kulkuominaisuudet. Työkoneen tehontarpeen arviointi ja mittaaminen on hankalaa. Päästölaskut voidaan tehdä myös lähtien kulutetusta polttoainemäärästä. Tämän mittaaminen on helpompaa ja myöskään ei tarvita työkoneen ja traktorin kokotietoja.

Kuivauksen energiantarve

Kuivauksessa ulkoilma imetään puhaltimeen ja lämmitetään kuivurinuunissa. Tämä puhalletaan viljakerroksen läpi, jolloin se sitoo itseensä viljassa olevaa kosteutta. Kuivauksessa tarvittavaan energiamäärään vaikuttaa ulkoilman tila ja viljan kosteus. Mitä kylmempää ulkoilma on, sitä enemmän tarvitaan energiaa sen lämmittämiseen ja vastaavasti kuivuriseinämien lämpöhäviöt lisääntyvät. Viljan kosteus vaikuttaa tarvittavaan kuivausaikaan, kosteampaa viljaa pitää kuivata kauemmin, koska suurempi vesimäärä pitää poistaa viljasta. Viljankuivauksessa veden haihdutuksessa tarvittava energiamäärä ilmoitetaan haihdutettua vesikiloa kohti. Tämä on meillä käytetyissä kuivurirakenteissa ja olosuhteissa 4,3 MJ/kg (vesikilon haihdutusenergia) hajonnan ollessa 0,6 MJ/kg. Mikäli energiantarve muutetaan polttoöljymääräksi, tarvitaan keskimäärin 100 g kevyttä polttoöljyä vesikilon haihduttamiseen. Veden haihdutusnopeudeksi on saatu 146 kg/h hajonnan ollessa 33 kg/h. Öljyn lisäksi tarvitaan sähköenergiaa käyttämään puhallinta ja poltinta sekä elevaattoreita. Poistettava vesimäärä voidaan laskea viljan alkukosteuden ja viljamäärän perusteella. Viljamäärät ja sadot ilmoitetaan varastointikosteuden mukaan eli viljoilla 14 %:n kosteuden mukaan ja kosteusprosenttina käytetään märkäkosteutta eli vesimäärä ilmoitetaan erän kokonaispainon (kuiva-aines & vesi) mukaan. Viljassa oleva vesimäärä ja kuiva-aineksen määrä saadaan viljaerän kokonaismäärästä kosteusprosentin ollessa w. Yleensä tunnetaan erän tai hehtaarisadon määrä varastointikosteudessa sekä korjuu- ja varastointikosteudet. Poistettu vesimäärä voidaan laskea määrittämällä ensin varastointikosteudessa oleva kuiva-aineksen määrä. Tämä kuiva-ainemäärä säilyy samana kosteusprosentin muuttuessa, vain vesimäärä muuttuu kosteuden muuttuessa. Puintikosteudessa viljassa oleva vesimäärä saadaan, kun korjuukosteus w_{korjuu} tunnetaan. Poistettava vesimäärä saadaan kaavalla 3, sama voidaan myös laskea korjuu- ja varastointikosteuksien vesimäärien erotuksesta.

$$M_v = M_{koko} \cdot \left(\frac{w_{korjuu} \cdot (1 - w)}{1 - w_{korjuu}} - w \right) \quad (3)$$

M_v = viljaerästä poistettava vesimäärä

M_{koko} = viljaerän kokonaismäärä korjuukosteudessa

w_{korjuu} = kosteus satoa korjattaessa

w = varastokosteus, viljoilla 14 % (= 0,14).

Kuljetukset

Maataloudessa kuljetukset muodostavat suuren osan työstä. Materiaaleja, koneita, lannoitteita ja tuotteita kuljetetaan tuotanto- tai jalostuspaikoille. Kuljetuksiin tarvittava energia ilmoitetaan normaalisti kuljetettavaa massaa ja kilometriä kohti yksikössä MJ/kg*t. Kuorma-autoilla energiantarve kuljetuksissa on 1,6...4,5 MJ/kg*t. Traktoreille vastaavia lukuja ei ole saatavissa, kuitenkin suuruusluokaltaan ne ovat samansuuruisia.

Ihmistyön energiankulutus

Ihmistyölle voidaan myös laskea energiantarve. Energiantarpeet vaihtelevat työn raskauden ja elintapojen mukaan ja ne ovat välillä 510...1450 MJ päivässä. Vaihtelua tässäkin aiheuttaa mm. miten esimerkiksi ruuan valmistuksen epäsuora energiankäyttö, kuten valmistus, kuljetus, varastointi ja jakeilu otetaan huomioon.

Kirjallisuutta

- Ahokas, J.** 1994. Mittaustraktorin instrumentointi ja koekäyttö. Maatalousteknologian julkaisuja 16. Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos. Helsinki. 99s.
- Ahokas, J. & Mikkola, H.** 1986. Traktorin polttoaineenkulutukseen liittyviä seikkoja. Vakolan tutkimusselostus nro 43. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. Vihti. 107 s.
- Ortiz-Cañavate, J. & Hernanz, J. L.** 1999. Energy Analysis and Saving. Teoksessa: Kitani, O. (toim.) CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume V, Energy and Biomass Engineering. The International Commission of Agricultural Engineering.. American Society of Agricultural Engineering. Sivut 13 – 42.
- Hero, H.** Kemira Grow-How. Helsinki. Tiedonanto 20.7. 2003.
- Kalk W.-D. & Hülsbergen, K.-J.** 1999. Dieselkraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion. Landtechnik 6/99. Sivut 332 - 333.
- McKyes, E.** 1985. Soil Cutting and Tillage. Elsevier. 217 p.
- Peltola, A.** 1997. Viljaa kierrättävän lämmintilmauivurin säädöt. Työtehoseuran julkaisuja 355.
- Sinkkonen, M.** 2001. Tuotantotavan ja -paikan vaikutukset Helsingissä kulutettavan rukiin energiantarpeeseen. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTTL). Selvityksiä 15/2001. 35 s.
- Yli-Viikari, A., Hietala-Koivu, R., Risku-Norja, H., Seuri, P., Soini, K., Widbom, T. & Voutilainen, P.** 2000. Maatalouden kestävyuden indikaattorit. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, sarja A. Nro 74. Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen.