

Teknologiavalinnat, maalaji ja maan rakenne avainasemassa kyntötyön energiankulutuksessa

Jussi Esala

SeAMK, Maa- ja metsätalous, Ilmajoki, Ilmajoentie 525, 60800, jussi.esala@seamk.fi

Tiivistelmä

Maaseudun energia-akatemia on Helsingin yliopiston, Jyväskylän ammattikorkeakoulu ja Seinäjoen ammattikorkeakoulu yhdessä toteuttama maatalouden energiankäytön perusteiden tuntemiseen ja energian säästön edistämiseen tähtäävä hanke. Energia-akatemia jakaantuu lukuisiin osiin, ja esillä oleva artikkeli keskittyy yhteen niistä eli viljelijän mahdollisuuksiin vaikuttaa toimillaan kynnön energian kulutukseen.

Käyttämä voi vaikuttaa lukuisilla teknologisilla keinoilla kyntötyön energian kulutukseen. Merkittävimmät ovat työsyvyys, käsittelyajankohta, menetelmä- ja laitevalinnat, koneen kunto ja ajonopeus. Myös maan rakenteen hoidolla voidaan pienentää kyntöön kuluvaan energiaan tarvetta. Hyvä rakenteisen maan aiheuttama vetovastus on huonorakenteisen maan vetovastusta alhaisempi, se muokkautuu helpommin ja kyntösyvyys voidaan jättää matalammaksi. Silti viljelijän valintojen ulkopuolella oleva asia, maalaji, voi olla vaikutukseltaan merkittävämpi kuin kaikki mainitut tekijät.

Maan muokkauksessa energiaa kuluu maan vetovastuksen sekä traktorin ja työkoneen kulkuvastuksen voittamiseen. Vetovastus aiheutuu maan muokkauksessa tapahtuvista leikkaus- ja kitkavoimista. Kun auran terä tunkeutuu maaprofiilin läpi, syrjäyttää se maata työväliseen muodon mukaisella tavalla. Maapartikkelien siirtämisestä ja hajoamisesta aiheutuvat voimat ovat sitä suurempia, mitä enemmän maapartikkelien koko pienenee ja mitä suurempi nopeus niille annetaan. Muokattavan maaprofiilin koko ja muokkaukseen tarvittava energiamäärä lisääntyy kyntösyvyyden lisääntyessä. Samalla aura kohtaa yleensä pintamaata kovempaa maata, jolloin muokkauksen energian tarve kasvaa nopeammin kuin syvyyden lisäys edellyttäisi. Eri keinoilla, joilla parannetaan maan rakennetta (ojitus, kalkitus, viljelykierto, pintapaineiden minimointi) voidaan alentaa kyntötyön polttoaineen kulutusta. Hyvä maan rakenne voi johtaa alhaisempaan polttoaineen kulutukseen myös välillisesti, koska voidaan madaltaa muokkausta, pienentää intensiteettiä tai vähentää käsittelykertoja.

Tyypillinen kyntötyön polttoaineen kulutus on n. 30 l/ha 20 cm kyntösyvyydellä. Epättydyttävästi sovitettu auran ja traktorin kokosuhte, huonot veto-olosuhteet, ja huonon hyötysuhteen omaava voimansiirto voi johtaa kuitenkin jopa 10 l/ha suurempaan kulutukseen. Jokainen muutossentti työsyvyydessä vaikuttaa kulutukseen 1-2 l/ha, ja hyvin hoidettu maan rakenne voi alentaa kulutusta jopa kymmeniä prosentteja.

Polttoaineen kulutuksen vähentäminen kyntötyössä edellyttää tietoisuutta auran vetovastuksen syntymekanismeista ja traktorin voimantuoton periaatteista. Lisäksi täytyy hallita auran ja traktorin koon yhteensovittamisen periaatteet sekä tuntea missä vuorovaikutuksessa moottorin pyörimisnopeus ja ajonopeus ovat näihin. Lisääntyvä tietoisuus sekä uusi traktoriteknikka, joka mahdollistaa hehtaarikohtaisen kulutuksen seurannan, auttaa viljelijää energian säästämisessä

Avainsanat: energiankulutus, polttoaineenkulutus, muokkausmenetelmät, teknologiavalinnat

Johdanto

Maatalouden energian käyttöön on kiinnitetty lisääntyvää huomiota, ja useita projekteja ja hankkeita on ollut toiminnassa ja toimii edelleen tavoitteenaan maatalouden energiatalouden parantaminen (Bioenergian verkkopalvelu). Maaseudun energia-akatemia on Helsingin yliopiston vetämä maatalouden energiankäytön perusteiden tuntemiseen ja energian säästön edistämiseen tähtäävä hanke. Hankkeen osatoteuttajina toimivat Jyväskylän ammattikorkeakoulu ja Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Esillä oleva artikkeli on osa hankkeen toimintaa. Energia-akatemia jakaantuu lukuisiin osiin, joista tämä artikkeli käsittelee kyntötyön energiankulutusta ja viljelijän mahdollisuuksia vaikuttaa toimillaan ja valinnoillaan kulutuksen suuruuteen.

Perinteisessä viljanviljelyssä maan muokkaus ja kylvö on jokavuotinen toimenpide. Jokaisella ajokerralla kuluu polttoainetta, ja kulutuksen suuruus riippuu työväliseen vetovastuksesta, traktorin omasta kulkuvastuksesta sekä traktorityön hyötysuhteista. Kirjallisuudessa on esitetty useita arvioita muokkauksen ja kylvön yhteydessä tapahtuvasta kulutuksesta, ja niissä näkyy teknologiavalinnoista johtuva suuri vaihtelu. Jäykillä kivennäismailla kulutusvaihtelu on 20 – 50 l/ha ja kevyemmällä kivennäismailla 15 – 25 l/ha (Arvidsson 2010). Kyntö on edelleenkin yleisin perusmuokkausmenetelmä huolimatta sen muihin menetelmiin verrattuna pienemmästä työsaavutuksesta ja suuremmasta polttoaineen kulutuksesta. Kynnön osuus voi olla puolet koko konetyön kulutuksesta, ja se voi yksinään olla enemmän kuin koko konetyön kulutus kevennettyihin muokkausmenetelmiin perustuvassa viljelyssä. Polttoaineen kulutuksen kannalta on tärkeää löytää ne teknologiset keinot, joilla polttoaineen kulutukseen voidaan vaikuttaa. Tässä artikkelissa haetaan vastauksia siihen, miten paljon teknologiavalinnoilla ja maan rakenteella voidaan vaikuttaa muokkaustöiden polttoaineen kulutukseen. Tulos syntyy kirjallisuudesta saatujen viitetietojen, omien mittausten sekä traktorin ja työkoneen yhteensovittamiseksi tehtyjen laskelmien pohjalta.

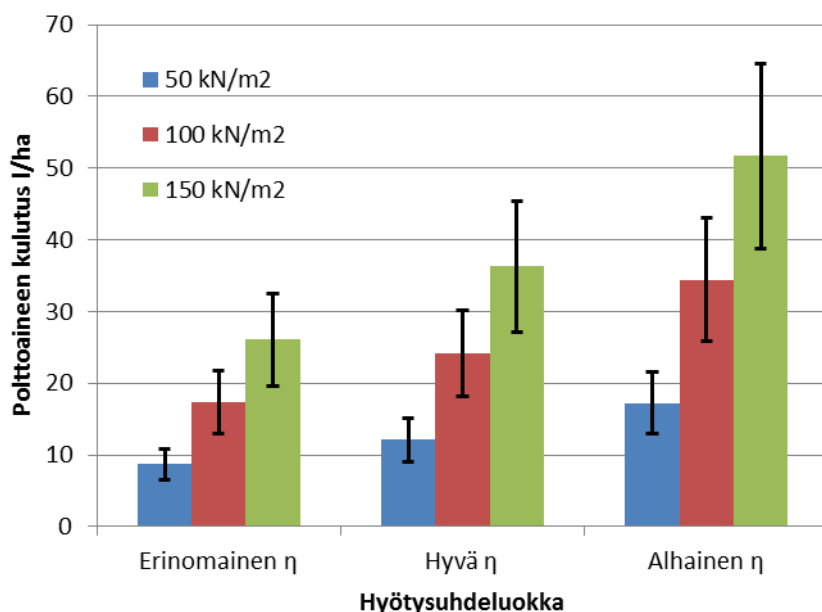
Vaihteleva vetovastus ja traktorityön hyötysuhde

Kyntö on runsaasti energiaa vaativa muokkausmenetelmä. Tämä johtuu pääosin suuresta työsyvyydestä (yleensä 15 – 25 cm) minkä seurauksena käsiteltävän maan poikkipinta-ala on suuri. Kyntövastus ja energian kulutus kasvaa kasvavan vetovastuksen myötä kyntösyvyyden lisääntyessä. Tämä on ymmärrettävää, sillä käsiteltävän maan tilavuus kasvaa jokaista työsyvyyden lisäsenttiä kohti 100 m³/ha ja käsiteltävä massa maalajista riippuen 100 – 200 t/ha.

Muokkaukseen kuluva energia ilmoitetaan yleensä hyvin käytännön läheisesti l/ha. Ilmoitustavan ongelmana on, että se ei kerro mitään kyntösyvyydestä eikä muokkauksen tuloksesta. Muokkaussyvyyden vaikutusta voidaan arvioida ottamalla huomioon käsitellyn maaprofiilin poikkipinta-ala (muokkaussyvyys * työväliseen työleveys). Kun muokkausväline aiheuttama vetovastus jaetaan käsitellyn maan poikkipinta- alalla, saadaan ominaisvastus k (kN/m²). Lukua voidaan käyttää luokittelemaan eri maalajeja esimerkiksi niiden aiheuttaman kyntövastuksen mukaan tai vertailtaessa eri muokkausvälineiden vetämiseen tarvittavaa voimaa samalla maalajilla. Ominaisvastus vaihtelee kivennäismailla tavallisesti 50 – 100 kN/m² (Arvidsson 2004, Ahokas ja Mikkola 1986), mutta se voi hyvin kuivissa oloissa olla jopa yli 150 kN/m². Ominaisvastuksesta voidaan johtaa hehtaarin työmäärä ($W=kbts$) ja samalla laskennallinen polttoaineen kulutus (l/ha) kertomalla keskenään ominaisvastus, työväliseen muokkausprofiilin poikkipinta-ala (työleveys (b) x työsyvyys (t)) ja hehtaarille kertyvät ajometrit (s). Jos auran ominaisvastus (k) on 100 kN/m², auran leveys (b) 1.6 m, työsyvyys (t) 0.2 m ja ajomatka hehtaarille (s) 6250 m, saadaan työksi 200 MNm. Tämä vastaa noin 5.6 l/ha polttoaineen kulutusta. Todellinen hehtaarikulutus l/ha saadaan kun arvioidaan ja otetaan laskennassa huomioon traktorin pyörien vetohyötysuhde, voimansiirron hyötysuhde ja muut traktorin sisäiset tappiot sekä moottorin hyötysuhde. Näin saatuaan lukemaan täytyy vielä lisätä kääntymisiin ja muuhun tuottamattomaan toimintaan liittyvä polttoaineen kulutus. Vetohyötysuhde voi parhaimmillaan olla n. 70 %, voimansiirron hyötysuhde mukaan lukien hydrauliiikan häviöt n. 80 % ja moottorin hyötysuhde n. 40 %. Kun teoreettinen kulutus jaetaan hyötysuhteiden tulolla, saadaan todellista hehtaarikulutusta vastaava lukema 25 l/ha. Laskelman mukaan noin 22 % polttoaineen energiasta päättyy varsinaiseksi maan kääntämistyöksi.

Kun laskennassa otetaan mukaan maan ominaisvastuksen koko vaihtelualue ja sekä traktorin hyötysuhteiden vaihtoehdot, vaihtelee polttoaineen kulutus laajoissa rajoissa (Kuvio 1.). Kuvio muodostaa raamin, jonka ilmaisemia kulutuslukemia on käytännössä vaikea alittaa tai ylittää. Kaikkien

hyötysuhdekomponenttien yhtäaikainen asettuminen erinomaiselle tasolle onnistuu vain erikoistapauksissa. Samoin niiden yhtäaikainen asettuminen huonolle tasolle edellyttää mm., että veto-olosuhteet ovat huonot ja traktorin moottoria kuormitetaan reilusti liian vähän (moottorin hyötysuhde). Vaihteiston huono hyötysuhde (tässä 0.75) tulee vastaan esimerkiksi, jos tavanomainen vaihteisto on rakenteeltaan hyvin monimutkainen, käytössä on täyspowershift tyyppinen vaihteisto tai portaaton vaihteistoa käytetään sille epäedullisella välitysalueella. Traktorin vetohyötysuhteeseen voi vaikuttaa valitsemalla sopiva kyntökeli, sekä varmistamalla renkaan hyvä kunto ja riittävän alhainen ilmanpaine. Traktorin moottorin hyötysuhteeseen käyttäjä voi vaikuttaa sovittamalla traktorin ja auran koon hyvin yhteen sekä käyttämällä sellaista ajonopeutta, että moottori kuormittuu lähes täysin. Moottorin pyörimisnopeus tulisi olla 60 – 90 % suurimmasta nopeudesta.



Kuvio 1. Maan ominaisvastuksen sekä traktorin veto-, voimansiirto- ja moottorihyötysuhteiden vaikutus kynnön (syvyys 20 cm) laskennalliseen hehtaarikohtaiseen polttoaineen kulutukseen. Vaihteluvälimerkintä ilmoittaa +/- 5 cm kyntösyvyysmuutoksesta aiheutuvan kulutusmuutoksen kirjallisuudesta laskettuun keskimääräiseen 1.5 l/ha/cm perustuen. (Hyötysuhteet erinomaisesta alhaiseen: vetohyötysuhde; 0.7 – 0.65 – 0.6, voimansiirron hyötysuhde; 0.85 – 0.8 – 0.75, moottorin hyötysuhde; 0,45 – 0.37 – 0.3)

Auran säädöt ja kulutus

Tutkimuksissa ja käytännön mittauksissa on kyntötyön polttoaineen kulutuksen havaittu vaihtelevan 10 – 35 l/ha (mm. Clark ym. 1978, Danfors, 1988, Palonen ym. 1993). Alhaisimmat lukemat luonnollisesti saadaan kevyillä multa- ja turvemaiilla ja kohtuulliseen syvyyteen kyntäen. Arvidsson'in (2010) tutkimuksissa polttoaineen kulutus oli savimaalla keskimäärin n. 30 l/ha (suoritusajan kulutus ilman päästey-m. sivuaikoja) ja hiesuisella hienolla hiedalla n. 15 l/ha 20 cm kyntösyvyydellä. Vastaavat luvut olivat 12 – 13 cm kyntösyvyydellä n. 20 ja n. 10 l/ha. Hänen tuloksistaan voidaan laskea, että polttoaineen kulutus väheni savimaalla kyntösyvyyden madaltuessa lähes 2 l/ha/cm vastaavan luvun ollessa hiesuisella hienolla hiedalla reilu yksi litra. Uotilan ja Liskolan (1969) tutkimuksessa kulutus nousi 1 l/ha/cm lisättäessä kyntösyvyyttä 20 >> 35 cm, ja kulutuksen nousussa oli havaittavissa lievää kiihtymistä suuremmissa syvyyksissä, mikä viittaa joko kyntöanturan olemassaoloon tai siihen, että kyntösyvyys alkoi muodostua liian suureksi käytetylle auran työleveydelle. Ahokan ja Mikkolan (1986) julkaisemat tulokset tukevat edellisiä. Heidän tuloksista on laskettavissa, että kyntösyvyyden lisääntyminen 18 – 24 cm (33 %) lisäsi kyntövastusta multamaalla n. 50 % ja hiesumaalla n. 80 %. Myös heidän kokeissaan oli nähtävissä kyntövastuksen jyrkkä nousu kyntösyvyyden noustessa normaalia kyntösyvyyttä suuremmaksi. Ilmeisesti jonkinmoinen kyntöantura on vaikuttanut tuloksiin sekä käytetty suhteellisen kapea (36 cm) viilun leveys.

Auran säädöt vaikuttavat kyntötyön polttoaineen kulutukseen. Toki lähtökohtana ovat oikeat säädöt, jotka on kohtuullisen helppo asettaakin, mutta auran sivukallistuksen säädössä esiintyy silti usein virheitä. Normaalisti auran terä ja erityisesti ojas asetetaan 90° kulmaan maahan nähden. Liikaa viilun

kääntymissuuntaan kallistettu aura voi lisätä kulutusta, pahimmillaan jopa kymmeniä prosentteja (von Getzlaff, 1952, Ahokas & Mikkola 1986). Tällöin siipi painaa viilua tiukasti edellistä vasten jolloin siiven ja maan väliset kitkavoimat kasvavat. Samalla vähenee myös auralta traktorille saatavissa oleva painonsiirto, mikä lisää vetävien pyörien luistoa lisäten samalla polttoaineen kulutusta. Päinvastaiseen suuntaan väärin säädetty aura saattaa kulkea hieman kevyemmin, mutta samalla viilujen sulkeutuminen voi vaarantua.

Kyntönopeus on monitahoinen kysymys liittyen oleellisesti auran ja traktorin koon yhteensovittamiseen, auran terän rakenteeseen, maan kivisyyteen ja kyntöolosuhteisiin. Nopeus vaikuttaa myös kyntötyön polttoaineen kulutukseen siten, että nopeuden kaksinkertaistamisen seurauksena voi hehtaarikohtainen kulutus lisääntyä 10 – 50 % (Pedersen, 1971). Suurinta kulutuksen kasvu on kynnettäessä jyrkkämuotoisilla lieriöterillä, joilla kyntönopeuden lisääminen antaa maalle suuren kiihtyvyyden ja useimmiten myös maan murustumisen lisääntyy. Jos halutaan pienentää polttoaineen kulutusta ajonopeudesta tinkimällä, täytyy auran työleveyttä samalla vastaavasti kasvattaa työsaavutuksen säilyttämiseksi ennallaan. Työlevyden myötä kasvava vetovastus lisääisi luistoa ja siten myös polttoaineen kuitusta, ellei lisävastusta kompensoida suuremmalla vetokoneen massalla ja vastaavasti suuremmilla vetävillä renkailla.

Kyntöauran koolla ei sinänsä ole juurikaan vaikutusta hehtaarikohtaiseen kulutukseen, mutta traktoriin nähden väärän kokoinen aura voi aiheuttaa lisäkulutusta. Käytännössä auran ja traktorin kokosuhde on kuitenkin harvoin niin pahoin pielessä, että hehtaarikohtainen kulutus sen vuoksi nousisi oleellisesti. Jos aura on pienekö traktorin kokoon nähden, alenee luisto ja sitä myötä traktorin vetohyötysuhde paranee. Tämä kompensoi osittain osakuormalla käyvän moottorin polttoaineen ominaiskulutuksen kasvusta johtuvaa hehtaarikohtaisen kulutuksen kasvua. Vasta jos moottorin kuormitusaste jää selvästi alle 50 %, voi hehtaarikohtaisessa kulutuksessa havaita nousua. Jos traktorin massa on liian pieni auran kokoon nähden, aiheuttaa vetävien pyörien luisto kulutuksen kasvua vaikka moottori toimisikin polttoaineen kulutuksen kannalta edullisella alueella. Jos taas moottorin teho on alhainen, selvittää tilanteesta vaihtamalla pienemmälle vaihteelle kunhan vain traktorin massa riittää tarvittavan vetovoiman tuottamiseen. Kyntöön kuluva aika kasvaa, mutta hehtaarikohtaiseen kulutukseen tilanteella ei ole suurtakaan vaikutusta.

Auran aiheuttamasta vetovastuksesta suurin osa kuluu viilun irrottamiseen ja nostamiseen ja vain vähäinen osa viilun kääntämiseen. Kun auran terän työleveyttä suurennetaan, kasvaa tietenkin myös terän vetovastus, mutta vähemmän kuin työlevyden muutos edellyttäisi. Kun ruotsalaisessa auratutkimuksessa työleveyttä muutettiin 30 >> 50 cm eli 66 %, kasvoi vetovastus 12 – 20 % (Pettersson 1989). Työlevyysmetriä kohden vetovastus kuitenkin aleni yli 20 %, mikä selittyy sillä, että viilun irrotukseen kuluva vetovastuksen osuus säilyy terän työlevyden muuttuessa suuruudeltaan terää kohti melko vakiona.

Olosuhteiden vaikutus kulutukseen

Kyntöoloilla on merkittävä vaikutus hehtaarikohtaiseen energian kulutukseen. Vaikeissa oloissa renkaiden pito heikkenee ja sitä kautta luisto kasvaa lisäten kulutusta. Hyvin kuivissa oloissa pito on kyllä hyvä, mutta maa voi olla kyntöä ajatellen niin kovaa, että se lisää kulutusta. Arvidsson (2004) havaitsi ominaiskyntövastuksen (kN/m^2) alenevan savimaalla lähes puoleen maan vesipitoisuuden noustessa kaksinkertaiseksi (kuiva (16 %) >> märkä (29 %)). Toisaalta maan murustumiseen tarvittava energia oli alhaisin kosteusalueen puolivälissä, mikä oli lähellä maan muovailtavuuden rajaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sopivan kosteaa maata kynnettäessä suurien kokkareiden osuus maan koko tilavuudesta on alhaisin. Tätä kuivempaa tai kostempaa maata kynnettäessä maa muokkautuu heikommin, jolloin kylvömuokkaukselta vaaditaan enemmän erityisesti syyskylvöjä tehtäessä. Kevääseen mennessä routa murustaa maata, ja erot kyntöjäljessä ovat vaikeammin havaittavissa.

Maan rakenteella ja viljelytekniikalla voidaan vaikuttaa aurojen vetovastukseen ja kynnön polttoaineen kulutukseen. Kanadalaisessa kokeessa maahan sekoitettiin vuosittain tai joka toinen vuosi 100 t karjanlantaa kahdeksan vuoden ajan. Lievästi kompostoitua lantaa vuosittain saaneen kivennäismaan (HtS) aiheuttama vetovastus aleni keskimäärin 38 % pelkkää mineraalilannoitusta saaneeseen maahan verrattuna (McLaughlin ym. 2002). Kokeessa kompostoimattoman lannan vaikutus oli alempi, ollen 27 %. Vastaavasti muokkaustöiden aiheuttama hehtaarikohtainen polttoaineen kulutus aleni 18 ja 13 %. Kun lantaa levitettiin puolet vähemmän, eli vain joka toinen vuosi (ka 50 t/ha/v), olivat vaikutuksen

samansuuntaisia, mutta suuruudeltaan vajaa puolet edellisistä. Kokeessa vetovoiman aleneminen selitettiin parantuneella maan rakenteella, mutta asiaa ei varsinaisesti tutkittu.

Maan viljelyhistoria vaikuttaa maan rakenteeseen ja sitä kautta tarvittavaan vetovastukseen ja polttoaineen kulutukseen. Tunnettua on yksipuolisen viljanviljelyn aiheuttama maan orgaanisen aineksen vähentyminen ja tiivistymisriskin lisääntymien. Jopa yksipuolinen heinäkasvien viljely saattaa lisätä maan kyntövastusta. Jopa kolme kertaa vuodessa tapahtuva raskaan korjuukaluston liikenne saattaa tiivistää maata, vaikka toisaalta uskotaan runsaan juuriston kuohkeuttavan maata. Kanadalaisessa kokeessa kuusi vuotta jatkunut yksipuolinen sinimailasen tai rehukattaran viljely aiheutti 5 – 10 % suuremman kyntövastuksen kuin monipuoliset viljelykierrot (Perfect ym. 1997). Toisaalta kun apilanurmi lopetettiin glyfosaatilla, laski se suuntaa-antavasti vetovastusta ensimmäisenä koevuotena ja noin 10 % toisena koevuotena (McLaughlin ym, 2004). Kasvin juuristoa ei kokeessa tutkittu, mutta tutkijat päättelivät juurien alkavan lahoamisen vaikuttaneen tulokseen.

Johtopäätökset

Teknologisesta näkökulmasta tarkasteltuna kyntötyön polttoaineen kulutuksessa on säästöpotentiaalia. Vuosittaiset sään vaihtelut, viljelykierto ja ajallisuustekijät kuitenkin rajaavat potentiaalista osan pois. Lähes kaikki säästötoimet ovat myös kyntötyön laadun tai maan hoidon kannalta parhaita menetelmiä, joten niitä tulisi tavoitella joka tapauksessa. Polttoaineen kulutuksen vähentäminen kyntötyössä edellyttää tietoisuutta auran vetovastuksen syntymekanismeista ja traktorin voimantuoton periaatteista. Lisäksi täytyy hallita auran ja traktorin koon yhteensovittamisen periaatteet sekä tuntee missä vuorovaikutuksessa moottorin nopeus ja ajonopeus ovat näihin.

Lisääntyvä tietoisuus, jota mm. maaseudun energia-akatemia tuottaa, sekä uusi traktoritekniikka, joka mahdollistaa hehtaariohtaisen kulutuksen seurannan, auttaa viljelijää energian säästämisessä.

Kirjallisuus

- Ahokas, J. & Mikkola, H.** 1986. Traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttavia seikkoja. Vakolan tutkimusloma nro 43. Vihti.
- Arvidsson, J.** 2010. Energy use efficiency in different tillage systems for winter wheat on a clay and silt loam in Sweden / Europ. J. Agronomy 33 (2010) 250–256
- Arvidsson, J., Keller, T. & Gustafsson, K.** 2004. Special draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. Soil & Tillage Research 79 (2004) 221 – 231.
- Bioenergian verkkopalvelu.** Viitattu 7.11.2011. Saatavissa http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/hankkeet_ja_rahoytus/hankehakemisto/
- McLauhlin, N.B., Gregorich, E.G., Dwyer, L.M. & Ma, B.L.** 2002. Effect of organic and inorganic soil nitrogen amendments on mouldboard draft. Soil & Tillage 64:211-219.
- Clark, S., Schrock, M.D. & Kramer, J.A.** 1978. energy use in field operations – opportunities for conservation. Agricultural Engrg. Dept. Kansas State University. Manhattan, K.S.
- Danfors, B.** 1988. Bränsleförbrukning och avverkning vid olika system för jordbearbetning och sådd. Olika sätt att spara motorbränsle och öka kapaciteten. Jordbrukstekniska institutet, meddelande nr 420.
- von Getzlaff, G.** 1952. Änderung der Kräfte bei Drehung der Pflugkörper aus der Normallage. Grundlagen der Landtechnik. Heft 3:71 – 74.
- Palonen, J. & Oksanen, E.H.** 1993. Labour, machinery and energy data bases in plant production. Työtehoseuran julkaisuja 330.
- Perfect, E., McLaughlin, N.B. & Kay, B.D.** 1997. Energy requirements for conventional tillage following different crop rotations. Transactions of the ASAE. VOL. 40(1):45-49.
- Pedersen, S.** 1971. Plovens traekkræftbehov. Jordbruksteknisk Institut. Meddelelse 16.
- Pettersson, C-M.** 1989. Hur påverkas plogens dragkraftsbehov? Lantmannen 11:22-23.
- Uotila, P.J. & Liskola, K.** 1969. Kyntösyvyyden vaikutus traktorin polttoaineen kulutukseen, pyörien luistoon ja kyntökustannuksiin. Työtehoseuran maataloustiedote 123. 3 s.