

# Nurmikasvien korjuun energiankulutus

*Jussi Esala*

*SeAMK Elintarvike ja maatalous*



Nurmikasvien korjuun energiankulutuksen aiheuttavat traktorin ja työväliseen kulkuvastukset sekä työkoneen käyttötöehantarve. Nurmenkorjuun aikana maa yleensä kantaa hyvin, joten koneiden kulkuvastukset ovat erityisesti kevyillä mailla samat, tai jopa alhaisemmat, kuin muokkaustöissä mulloksella.

Osa nurmenkorjuukoneista on masaltaan ja tehontarpeeltaan niin pieniä, että traktorin koko tehoa ja masaa ei tarvita koneen käyttämiseksi. Huomattava osa energiasta kuluu tällöin pelkästään yhdistelmän liikkumiseen. Traktorin kulutusta voidaan pienentää oikeilla käyttöperiaatteilla.

Useissa nurmenkorjuutöissä, kuten niittomurskauksessa, käytettävä kone vaikuttaa keskeisesti polttoaineen kulutukseen aiheuttaen lähes kokonaan moottorin kuomittumisen. Polttoaineen kulutusta voidaan pienentää pitämällä koneet hyvässä kunnossa ja säätämällä ne oikein.



## Niitto ja niittomurskaus

Työtehon nostaminen on ohjannut niittoteknologian kehittymistä viime vuosikymmeninä. Vuosikymmeniä sitten siirryttiin palkkiniittokoneista pyöriväteräisiin lauta- tai lieriöniittokoneisiin ja niistä nopeasti niittomurskaimiin. Valtaosa nurmikasveista niitetään nykyisin lautasniittomurskaimilla, joista suurimpien työleveys on yli 10 m. Työteho on näin moninkertaistunut, mutta pelkkään niittoon verrattuna energiatehokkuus on heikentynyt.

Viime vuosina ovat murskaimettomat lautasniittokoneet herättäneet uudeleen kiinnostusta Keski-Euroopassa ja Suomessa. Niittotehoa voidaan edelleen kasvattaa jättämällä murskaavakela pois, jolloin polttoaineen kulutus jää niittomurskausta alhaisemmaksi, mutta sadon kuivuminen hidastuu.

### *Palkkiniittokone*

Palkkiniittokoneella heinän korren katkaisu sujui energiataloudellisesti. Tyypillisesti käytössä olleen 1,5 m leveän niittoterän käyttämiseen tarvittiin vain parin kilowatin teho, mikä tarkoittaisi parin desilitran polttoainemäärää hehtaaria kohti. Niittokonetta käyttävän traktorin kulutus olisi hallitseva, ja niinpä kokonaisku-



Kuva: Perfekt 401 es, Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0.

lutus olisi pienelläkin traktorilla noin 2 – 3 l/ha.

### **Lautasniittokone ja lautasniittomurskain**

Lautasterällä varustetun niittokoneen niittotapahtuma perustuu nopeasti pyörivän terän iskuun ja kasvin hitausvoimiin. Liian hitaasti pyörivät terät kaatavat kasvuston alleen korsiä katkaisematta. Riittävällä kehänopeudella (70 – 90 m/s) pyörivät terät iskevät korret poikki jopa tylsiksi kuluneina. Terävät terät toimivat energiataloudellisemmin kuin tylsät. Kuitenkin vain reilu kolmannes lautasniittokoneen kuluttamasta tehosta tarvitaan korren katkaisuun.

Suurin osa akselitehosta kuluu erilaisien kitkojen voittamiseen. Voimansiirron kulmavaihteisiin ja teräpalkin voimansiirtolinjaan kuluu noin viidennes tehosta. Tämä ilmenee kyseisten osien voimakkaana lämpenemisenä. Jäähdytysrivoista huolimatta varsin-

kin heinäsilpun peittämät kulmavaihteet käyvät joskus jopa liian kuumina. Noin neljännes akselitehosta kuluu terien ja lautasten sekä niitettävän kasvuston välisiin kitkavoimiin ja vajaa viidennes terien ja lautasten pyöriessään kohtaamaan ilmanvastukseen. Ilmanvastukseen kuluvan tehon osuus kasvaa terän kehänopeuden kasvaessa. Toisaalta, jos kehänopeutta alennetaan liikaa, terän leikkausominaisuudet heikkenevät liian pienen iskuenergian vuoksi.

Lautasniittokoneen akselitehontarve on tyypillisesti 5 – 8 kW/m. Lukemaan vaikuttavat ajonopeus sekä niitettävä kasvusto. Akselitehon tarve aleni 17 %, kun voimanottoakselin nopeutta pienennettiin 15 % suositellusta lukemasta. Niittokoneen alennetulla kierrosnopeudella voitiin niittotyö tehdä 20 km/h ajonopeudella, vaikka satotaso oli niittotuoreena mitattuna ollut jopa lähes 40 t/ha.



Kuva: MsHarvestE, Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0.

Akselitehon lisäksi lautasniittokoneen kuljettamiseen tarvitaan ajonopeudesta ja teräpalkin kevennyksestä riippuen 0,5 – 3 kW/m vetotehoa. Hyvin alhaisella teräpalkin pintapaineella on vaarana, että terä nousee välillä irti maasta ja lisää sängin pituusvaihtelua. Hinattavalla niittokoneella vetovastus on hieman nostolaittekoneneen vetovastusta suurempi.

Korkea ajonopeus on energiataloudellisempi kuin alhainen. Ajonopeuden kasvaessa akselitehon leikkaamiseen ja voimansiirron kitkoihin kuluvat osat kasvavat samassa suhteessa. Sen sijaan ajonopeus ja sitä kautta materiaa-  
livirran muutokset eivät juurikaan vaikuta terälautasen ilmanvastukseen eikä terälautasen ja heinämaterialin välisten kitkojen teho-osuuksiin. Saksalaisissa kokeissa ajonopeuden kasvataminen lähes kaksinkertaiseksi nosti akselitehon tarvetta vain noin 50 %.

Edellä mainittujen kohteiden lisäksi traktorin moottorin tehoa tarvitaan traktorin omiin toimintoihin, sisäisiin kitkoihin sekä traktorin omaan kulmiseen.

Niitto tehdään nykyisin useimmiten lautasniittomurskaimilla. Iskukelaan perustuvat murskaimet ovat lähes ainut vaihtoehto. Näissä murskaimissa on lähes teräpalkin levyinen akseli, jo-

hon teräksiset tai muoviset iskevät terät on kiinnitetty (Kuva 1). Murskaus-tehoa voidaan säätää muuttamalla akselin kierrosnopeutta sekä säätämällä pyörintäkehän ja vastinlevyn tai -kamman välistä etäisyyttä. Kun nopeutta kasvatetaan tai pyörintäkehän ja vastaelementin väliä pienennetään, murskauksen teho nousee, mutta samalla niittomurskaimen akselitehon-tarve ja energiankulutus lisääntyvät. Pelkän murskainyksikönkin pyöritys kuluttaa tehoa, sillä varstojen pyöräminen aiheuttaa merkittävästi ilmanvastusta. Tässä suhteessa telamurskain on edullisempi.

Testeissä niittomurskaimen akselitehontarve on ollut 8 – 15 kW/m ajonopeuden ollessa 10 – 13 km/h ja sato-tason 20 – 25 t/ha (kosteus noin 80 %). Tehontarve voi olla korkeampikin, koska monen niittomurskaimen terä-laitte sallii tasaisella pellolla huomattavasti suuremmankin ajonopeuden. Myös tiheä ja kostea kasvusto voi nostaa tehontarvetta, vaikka ajonopeus olisikin vain 12 km/h. Käyttäjän onkin huolehdittava, ettei ylikuormita murskaimen voimansiirtoa vahvassa kasvustossa.

Tehontarvetta ja sitä kautta poltto-aineenkulutusta voi alentaa hieman tinkimällä murskauksen tehosta. Toisaalta on hyvä muistaa, että niit-



**Kuva 1. Karhon siirtimellä varustettu niittomurskain**



**Kuva 2. Perhosniittomurskain.**



tomurskaimen pitäminen pelkäs-  
tään käynnissä työnopeudella vaatii  
5 – 6 kW/m akselitehon, eli lähes puo-  
let täydessä työssä olevan murskai-  
men akselitehosta. Koneen vetotehon  
tarve on lautasniittokoneen tapaan  
0,5 – 3 kW/m.

Niittomurskauksen polttoaineen ku-  
lutus on laskettavissa edellä anne-  
tuista lähtötiedoista. Lähtökohtana on  
optimitilanne, jolla saavutetaan koh-  
tuullisen alhainen kulutus. Tällöin hy-  
vän sadon niitossa 12 km/h ajonopeu-  
della tarvitaan niittomurskauksessa  
13 kW/m ominaisteho ja 1 kW/m  
vetoteho. 4 m:n niittomurskain tarvit-  
see käyttötehoa:  $14 \text{ kW/m} \times 4 \text{ m} =$   
56 kW. Jos traktorin massa on  
5 000 kg ja ajonopeus on 3,3 m/s  
(12 km/h), maan vetovoiman kiih-  
tyvyys on  $10 \text{ m/s}^2$  ja vierimisvastus-  
kerroin on 0,05, traktorin kulkuvas-  
tuksesta laskettu etenemisteho on:  
 $5000 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,05 \times 3,3 \text{ m/s} =$   
8 kW.

Jos traktorin voimansiirtoon ja hyd-  
rauliikkaan kuluu lisäksi 10 kW,  
moottorista tarvitaan vähintään  
74 kW:n teho. Jos saatu teho on  
80 – 95 % moottorin nimellistehosta,  
polttoaineen ominaiskulutus on  
yleensä edullisimmalla tasolla. Jos lu-  
kema olisi 230 g/kWh, kulutus olisi  
17 kg/h (20 l/h).

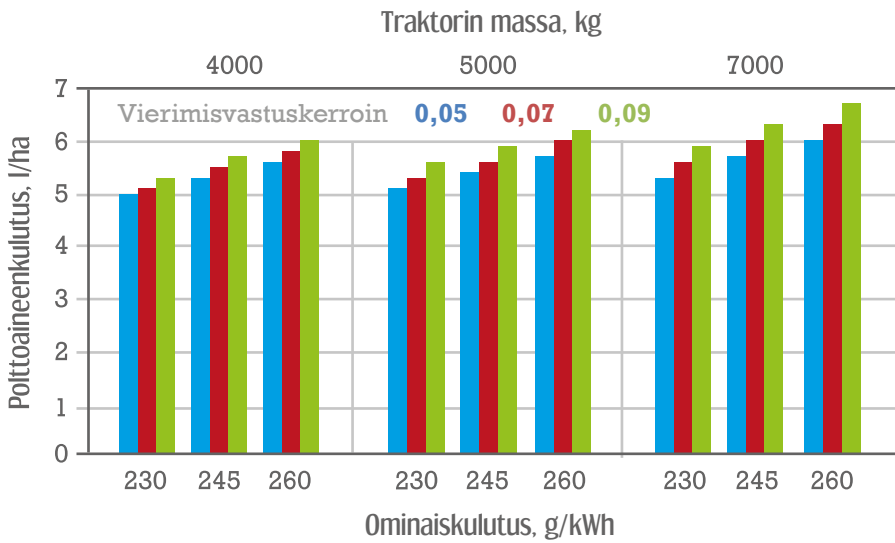
Hehtaarin alalla on 4 m:n työleveydellä ajettavaa:  $10\,000\text{ m}^2/\text{ha} / 4\text{ m} = 2\,500\text{ m}$ . Hehtaarin nettomääräinen ajoaika 12 km/h ajonopeudella on:  $2,5\text{ km}/\text{ha} / 12\text{ km}/\text{h} = 0,21\text{ h}/\text{ha}$ .

Vastaava polttoaineen kulutus on:  $0,21\text{ h}/\text{ha} \times 20\text{ l}/\text{h} = 4,2\text{ l}/\text{ha}$ . Kun polttoaineen kulutus jaetaan tuottavan työn osuudella, saadaan todellisuutta vastaava hehtaarikohtainen kulutuslukema:  $4,2\text{ l}/\text{ha} / 0,85 = 4,9\text{ l}/\text{ha}$ . Tässä oletetaan työhyötysuhteen olevan 85 %, eli 15 % menee päisteisiin ja vajaalla työleveydellä ajamiseen, ja lisäksi oletetaan hukka-ajon kulutuksen olevan samalla tasolla kuin työajon. Testeissä ja saksalaisessa energiakasvinormistossa kulutukseksi on mitattu noin 5 l/ha. Pelkällä lautasniittokoneella kulutus on 2–3 l/ha. Niittomurskauksessa sekä pelkässä niitossa alhaisimmat lukemat on saatu kytkemällä traktoriin työkoneet sekä eteen että taakse.

Kuvassa 3 kuvataan eroja traktorin polttoaineen hehtarikohtaisessa kulutuksessa, kun traktorin massaa, vierimisvastuskerrointa ja ominaiskulutusta on vaihdeltu. Niittomurskaimen, sen tehontarpeen ja ajonopeuden on oletettu säilyvän ennallaan. Oletuksena oli myös, että niittomurskaimen terät ovat terävät ja että teräpalkki kulkee kevyesti maan pintaa

pitkin. Tarpeeton traktorimassa lisää kulutusta 0,2–0,4 l/ha kahta tonnia kohti ja samaa luokkaa on vierimisvastuskertoimen muutos 0,02 yksiköllä. Vierimisvastuskerroin alenee renkaan korkeutta suurentamalla ja rengaspainetta alentamalla. Traktorin ominaiskulutus on osin traktori-kohtainen ominaisuus. Kuljettaja voi vaikuttaa ominaiskulutukseen kuormittamalla moottoria riittävästi. Yleensä niittomurskain kuormittaa traktoria riittävästi. Kuitenkin jo tilanteissa, jossa moottoritehoa tarvitaan vain 60–75 %, voi polttoaineen ominaiskulutus nousta 230 g/kWh:sta 260 g/kWh:iin. Moottoria voidaan kuormittaa riittävästi valitsemalla kokosuhteeltaan sopiva traktori ja niittomurskain pari, käyttämällä tarvittaessa säästövoimanottonopeutta ja säättämällä ajonopeus riittävän korkeaksi.

Niittopalkin keventämisen vaikutus voidaan laskea myös edellä mainitulla tavalla. Jos niittopalkki kulkee hyvin raskaasti lähes koko massallaan nurmen sängellä tai kevennysvara on käytetty lähes kokonaan (tehontarve-ero  $3 > 0,5\text{ kW}/\text{m}$ ), voidaan hehtari-kohtaisesta kulutukseen vaikuttaa lähes 0,5 l/ha. Vaihtamalla loppuun kuluneet terälaput uusiin voidaan parhaimmillaan säästää 0,5–1 l/ha polttoaineen kulutuksessa. Lisäksi terävillä terillä voidaan pitää hieman korkeampaa ajonopeutta.



Kuva 3. Polttoaineen hehtaarikohtainen kulutus niittomurskauksessa traktorin massan, vierimisvastuskertoimen ja ominaiskulutuksen muuttuessa.



## Pöyhintä

Pöyhintään tarvittava teho saadaan traktorista voimanulosottoakselin välityksellä. Pöyhinnän lisäksi tehoa tarvitaan koneen vetämiseen ja traktorin oman kulkuvastukseen voittamiseen. Pöyhintään käytetään lähes yksinomaan roottoripöyhimiä, joissa yhden roottorin työleveys on hieman yli metrin. Työleveydet vaihtelevat 2,5 m – 15 m. Pöyhijän roottorille tulevasta tehosta suurin osa kuluu pöyhintään, niitetyn heinän siirtämiseen ja heittämiseen. Koneen säädöistä riippuen tehoa tarvitaan hieman myös kitkavoimiin piikkien osuessa maahan tai sänkeen. Roottorien kierrossnopeus on melko alhainen, kehänopeus noin 10 m/s, joten ilmanvastuksen voittamiseen tarvitaan vain vähän tehoa. Voimansiirtolinjassa on koneen koosta riippuen muutamia laakereita ja kulmavaihteita. Tyypillisesti tällaisessa voimansiirtolinjan hyötysuhde on noin 90 %.

Testien perusteella koneiden käyttämiseen tarvittava kokonaisteho on 1,5 – 3 kW/m. Tästä valtaosa kuluu akselitehona. Vetotehon osuus vaihtelee kokonaistehosta 7 – 25 %. Työleveydeltään pienten pöyhimien tehontarve on niin alhainen, että ne kuormittavat vetotraktoria vain hyvin

vähän. Tällöin tulee, mikäli mahdollista, käyttää 1 000 r/min kierrosnopeutta tai säästövoimanottoa ja vastaavasti alennettua moottorin kierrosnopeutta. Näin moottorin kuormitusaste nousee ja ominaiskulutus sekä pinta-ala-kohtainen polttoaineen kulutus laskevat. Suurempien, 8 – 15 metristen, pöyhimien tehontarve on 25 – 45 kW. Käytettäessä teholtaan 40 – 50 kW traktoreita niiden ominaiskulutus on tällä tehon tarpeella alhainen ja polttoainetalous hyvä.

Pienimmillään polttoaineen kulutus voi olla noin 2 litraa hehtaaria ja käsitte-lykkaa kohden. Saksalaisessa energianormissa kulutus on 2,5 – 3 l/ha. Kulutus voi olla useita litroja enemmän, jos pieni pöyhin on kytketty suurehkon traktorin perään. Niitetty kuiva heinä pöyhitään tavallisesti 1 – 2 kertaa päivässä. Alle 20 %:n korjuukosteuteen pyrittäessä heinää voidaan joutua pöyhimään 4 – 6 kertaa, jolloin pöyhinnän kokonaiskulutus voi nousta jopa yli 10 l/ha. Tällöin pienenistäkin kerta-ajoon liittyvistä säästöistä voi kertyä jopa usean litran hehtaari-kohtainen säästö. Traktorin ja pöyhimen kokosuhde sekä voimanottonopeuden ja moottorin kierrosnopeuden suhde vaikuttavat olennaisesti ajon taloudellisuuteen.



## Karhotus



Kuva: MarkusHagenlocher, Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.



Kuva 4. Pöyhin.



Kuva 5. Karhotin.

Karhottimilla (Kuva 5) kerätään pelolla levällään oleva heinä karhoiksi ja yhdistetään tai siirretään olemassa olevia karhoja. Pienimmissä karhottimissa on yksi rataohjatuilla piikeillä varustettu roottori. Näillä koneilla saavutetaan yhteen suuntaan heinää keräten noin 3 m karhoväli ja kahteen suuntaan ajaen noin 6 m karhoväli. Suuremmissa karhottimissa on kaksi tai neljä roottoria ja vastaava työleveys on 7–15 m. Joillakin kaksiroottorikarhottimilla voidaan heinä siirtää koko työleveyden verran sivulle, jolloin kahdella vierekäisellä ajolla saadaan lähes 15 m:n työleveydeltä heinät yhteen karhoon.

Karhoittimet vaativat käyttötehoa ja kuluttavat polttoainetta yhtä paljon kuin pöyhimet. Erityisesti kuivan heinän karhoituksessa tarvitaan vähemmän akselitehoa kuin pöyhittäessä, mutta vetotehon tarve voi olla hieman suurempi johtuen pöyhimen suuremmasta massasta. Suurimmat karhottimet voivat painaa jopa 5 000–6 000 kg. Karhoituksen polttoainekulutus on noin 2 l/ha. Käsittelykertoja on lähes poikkeuksetta vain yksi satoa kohden.

## Säilörehun korjuu tarkkuussilppurilla

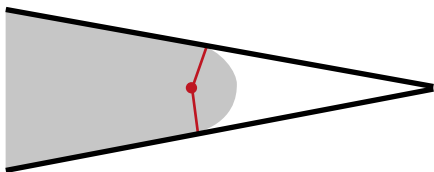
Tarkkuussilppurilla korjattaessa noukin nostaa karhotetun rehun maasta, syöttörullat puristavat rehun ohueksi, tiiviiksi matoksi ja syöttävät kelakammioon, jossa nopeasti pyörivä kela terineen leikkaa rehun silpuksi vastaterää vasten. Silpun pituutta säädetään syöttötelojen ja silppurikelan keskinäistä nopeutta säättämällä ja kelan terien lukumäärällä. Selvästi eniten tehoa tarvitaan silppurikelan pyörittämiseen. Itsekulkevissa tarkkuussilppureissa on usein lisäksi myös kiihdytinkela parantamassa heittokykyä. Maissisäilörehun korjuuseen on saatavilla jyvämurskain. Nämä myös lisäävät moottorin tehontarvetta.

Itsekulkevan silppurin tehosta noin 70 % tarvitaan materiaalin käsitteilyyn, 20 % voimansiirron tappioihin ja lopun 10 % silppurin etenemiseen. Hinattavilla silppureilla traktorin ja silppurin etenemiseen tarvittavan tehon osuus voi olla suurempikin erityisesti, jos silppurin perään on kytketty perävaunu.

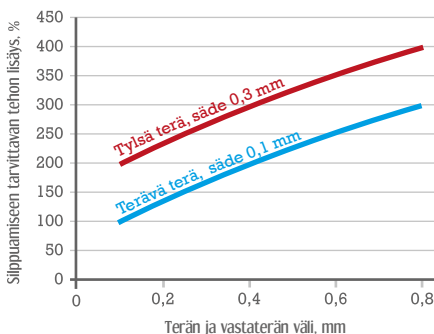
Silppurille välitetystä akselitehosta suurimman osan kuluttaa silppuriroottori: puolet tehosta menee silp-

puamiseen ja puolet silputun rehun heittämiseen ja ilmavirran aikaansaamiseen. Silppurin heitto-ominaisuutta tarvitaan tuulisissa oloissa ja pitkiä perävaunuja käytettäessä. Heittokyky paranee silppurikelan kehää suurentamalla tai pyörimisnopeutta kasvattamalla. Tämä tosin kasvattaa tehontarvetta ja lisää polttoainekulutusta tuotettua rehutonnia kohden.

Silppurin kela pyörii useimmiten niin, että terät leikkaavat rehun vastaterää vasten alaspäin kiertäen, kuljettavat rehun pitkien kelakammion pohjaa ja heittävät rehun suoraan ylös torveen. Jopa 30 %:n tehonsäästö voidaan saavuttaa silppurikelan akselitehossa, jos terä leikkaa rehun vastaterää vasten ylöspäin suuntaavana liikkeenä ja heittää rehun suoraan poistotorveen, mutta heittokyky jää hieman huonommaksi. Jos heittokykyä parannetaan suurentamalla kelan halkaisijaa tai kehänopeutta, osa tehonsäästöstä menetetään. Kun silpun pituus lyhentyy, kelan silppuamiseen kuluvan tehontarpeen osuus kasvaa ja polttoaineenkulutus rehutonnia kohden kasvaa. Toisaalta tilavuuspaino kasvaa ja kuormaan saadaan enemmän silppua ja varastotilan tarve pienenee. Lisäksi lyhyt silppu vähentää apevaunun tehon kulutusta.



**Kuva 6.** Terän terävyyttä kuvataan terän kärjen pyöreysäteellä. Säde mitataan kohdasta, jossa terän sivun ajateltu jatke poikkeaa terän pinnan taosta.



**Kuvio 7.** Silppurin terän terävyyden sekä terän ja vastaterän jäävän välin vaikutus silppuamisessa tarvittavaan tehoon. Piirretty McClure ja Hall 1991 kuvion tiedoista.



**Hinattava tarkkuussilppuri**

Silppurin terät on pidettävä terävinä sekä terän ja vastaterän väli riittävän pienenä. Terän kärjen terävyyttä mitataan pyöreysäteellä (Kuvio 6). Pyöreysäteen tulee olla alle 0,1 mm. Jos pyöreys säde on 0,5 mm tai enemmän, voi leikkaamisen tehontarve nousta kaksinkertaiseksi (Kuvio 7). Silppurin terät teroitetaan yleensä kerran työpäivässä. Terä lyhenee teroitettaessa, joten terän ja vastaterän väli suurenee. Tämä väli on muistettava säätää aina teroituksen yhteydessä tai ainakin ajoittain alle 0,5 mm:n. Suuri väli lisää tehon tarvetta ja silppu jää hie-man pidemmäksi.

Hinattavan silppurin, perävaunun ja traktorin yhteiseksi polttoaineen kulutukseksi on saatu noin 3 l kuiva-aine tonnia kohden. Käytännössä tämä tarkoittaa satotasosta ja esikuivauksesta riippuen 6 – 10 l/ha kulutusta satoa kohden.

Polttoaineen kulutukseen voi vaikuttaa muutamilla keinoilla. Traktorin ja silppurin kokosuhteen ja ajonopeuden tulee olla kohdallaan niin, että traktorin moottori kuormittuu lähelle nimellistehoja. Polttoainetta säästyy myös välttämällä tarpeettoman lyhyttä silppua. Silpun pituus tulee säätää rehun säilymisen ja ruokinnallisten vaatimusten mukaisesti. 10 mm:n silppuun verrattuna 40 – 50 mm:n

silppu säästää polttoainetta 1 – 0,5 l/ha mutta mahdollisesti lisääntyvät kuormatilan tarve ja apevaunun käyttöenergia voivan vähentää säästöä.. Jos korjataan rehu esikuivattuna tuoreena korjattavan sijaan, säästö voi olla jopa yli 1 – 2 l/ha satoa kohden.

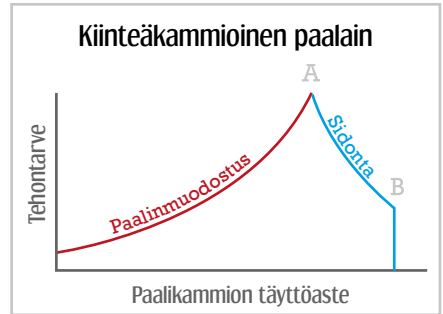
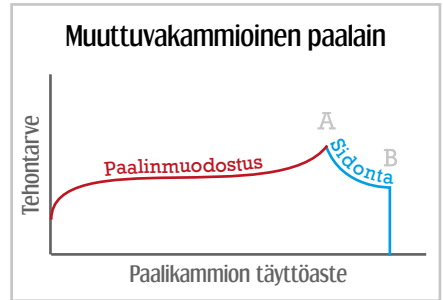


Itsekulkeva tarkkuussilppuri

Ajosilppureilla on mittauksissa kulunut polttoainetta lievästi esikuivatun nurmirehun korjuussa noin 10 l/ha, kun silpunpituus on ollut 20 mm. Saksalaisissa energiakasvinormistossa ajosilppureiden kulutus on satotasosta riippuen 7 – 8 l/ha.

Ajosilppurien läpäisytehot ovat suuria, yli 100 t/h. Silppurin tehokas hyödyntäminen edellyttää riittävän suuria karhoja. Hyvä polttoainetalous voidaan saavuttaa vain lähes täydellä tehonhyödyntämisasteella. Silppurin polttoainekulutukseen joudutaan käytännössä lisäämään 1 – 2 l/ha karhotuksen polttoainekuluja.

Silppuamiseen ja perävaunun vetämiseen kuluu 8 – 12 l/ha. Silppurin kulutus on pienimmillään, kun terät pidetään terävinä, terän ja vastaterän väli säädetään pieneksi, kela leikkaa ylöspäin ja heittää rehun suoraan torveen. Tämän lisäksi traktorin tehon ja massan tulee olla sopivassa suhteessa silppuriin ja sen läpäisytehoon nähden. Karhojen on oltava riittävän suuria ja



Kuva 8. Muuttuva- ja kiinteäkammioisen paalaimen tehontarpeen periaatekuvaajat paalinmuodostumisen (alusta pisteeseen A) ja sidonnan (A > B) aikana. Freeland ja Bledson 1988.

silppuria käytetään lähellä sen maksimaalista läpäisytehoa. Perävaunun aiheuttamaa vetovastusta voi pienentää suurentamalla rengaskokoa, erityisesti kasvattamalla renkaan kehää.

## Säilörehun ja heinän korjuu pyöröpaalaimella

---

Paalaimet ovat joko muuttuvakammioisia tai kiinteäkammioisia. Nykyisin on saatavilla myös erilaisia välimalleja. Paalaimien akselitehon tarve muuttuu paalikammion täytösteen mukaan (Kuva 8.). Muuttuvakammioisen paalaimen tehontarve nousee paalin muodostumisen alussa melko nopeasti paalaimelle tyypilliselle tasolle ja säilyy siinä suuren osan kammion täyttymisajasta. Sidontavaihe lisää tehotarvetta hieman. Kuvassa 8 alhaalla on periaatekuva kiinteäkammioisen paalaimen tehontarpeesta paalinmuodostuksen aikana. Sidonnan lähestyessä ja sidonnan alkuvaiheessa tehontarve on selkeästi suurempi kuin paalin muodostuksen alkuvaiheessa. Kiinteäkammioisten paalainten erilaiset esitiivistämistekniikat muuttavat kuvaajaa hieman muuttuvakammioisen paalaimen kuvaajan suuntaan.

Paalaimien käyttämiseen tarvittava teho jakaantuu koneen vaatimaan akselitehoon, koneen kuljettamiseen ja traktorin kulkemiseen tarvittavaan tehoon. Silppuavien terien käytöllä on merkittävä vaikutus akselitehon tarpeeseen ja siten myös polttoaineen kulutukseen.

Paalaimen pyörittäminen täydellä nopeudella paikallaan vaatii muutaman kilowatin tehon. Muuttuvakammioisten lukemat ovat tällöin hieman kiinteäkammioisia korkeammat sisäisten kitkojen vuoksi. Paalausvaiheessa muuttuvakammioisten paalainten tehontarpeet ovat olleet testeissä keskimäärin 25 – 40 kW ja huipputehontarpeet 1,5 – 2-kertaisia keskitehoihin nähden. Silppuavien terien osuus tehosta on 5 – 15 kW.

Kiinteäkammioisten paalaimien akselitehontarve on aluksi alhainen, noin 20 kW. Tästäkin tehotarpeesta yli puolet saattaa olla silppuavien terien aiheuttamaa. Paalikammion täytyessä tehontarve nousee moninkertaiseksi ja huipputehon tarpeet voivat olla 50 – 80 kW. Kiinteäkammioisen paalaimen tarvitsema huipputeho on siis korkeampi kuin samankokoista paalia tekevän muuttuvakammioisen.

Edellä esitellyistä lukemista voidaan laskea, että akselin kautta välittyä energiaa 1 – 2,5 kWh korjuukosteudessa olevaa korjuutonna kohden. Moottorilta tarvittava teho saadaan, kun keskimääräisiin akselitehoihin lisätään massaltaan 3 000 – 4 000 kiloisen paalaimen ja traktorin kulkemiseen tarvittava teho (tässä 18 – 23 kW). Kokonaistehon pe-



Pyöröpaalain ja käärin

rusteella voidaan laskea, että hehtaarikohtainen polttoaineen kulutus on 7–9 l/ha satokertaa kohden.

Paalaimen on kytketty usein käärin, joka nostaa traktorin tehontarvevaatimusta. Käärin painaa paalin kerra noin 2 000 kg jolloin se aiheuttaa 0,07 vierimisvastuskertoimella edellisen esimerkin tapauksessa n. 3 kW:n vetotehotarpeen. Käärimet voi tarvita 15 MPa:n paineella 25 l/min jatkuvan tuoton toimintansa aikana. Käärimen aiheuttama tehontarve, kun hydraulisen järjestelmän hyötysuhde on 70 %:  $15\,000\text{ kN/m}^2 \times 0,025\text{ m}^3 / 60\text{ s} / 0,7 = 8,9\text{ kW}$ . Käärin aiheuttaa tässä 12 kW:n lisätehon tarpeen. Polttoainetta tarvitaan noin 1 l/ha, jos oletetaan käärimen toiminta-ajaksi puolet paalaimen käyttöajasta ja paalaimen työsaavutukseksi 2 ha/h.

Kuivan heinän korjuussa paalainyhdistelmän käyttämiseen tarvittava teho on hieman alhaisempi kuin säilörehun korjuussa. Silppuavat terät jätetään pois, mikä alentaa akselitehon

tarvetta. Myös kokonaisuudessa voi olla hieman alhaisempi. Kertakorjuuta kohti korjattavia kuiva-ainetonnejä voi olla selvästi enemmän kuin säilörehun korjuussa, jolloin lopputuloksena on, että polttoaineen kulutus on vain vähän alempi kuin säilörehun korjuussa.

## Säilörehun ja heinän korjuu noukinvaunulla

Nykyiset noukinvaunut ovat suuria sekä läpäisytehoiltaan että kooltaan, joten korjattava nurmirehu kerätään usein suuriksi karhoiksi ennen korjuuta. Näin korjuun ajonopeus ja pinta-alayksiköllä tuleva ajomatka alenevat ja silpun laatu paranee. Noukinvaunun pääkomponentit ja tehoa kulluttavat elementit ovat noukin, sulloja ja pohjakuljetin. Lisäksi koko yhdistelmän liikuttamiseen kuluu runsaasti tehoa.

Nykyisin lähes kaikki noukinvaunut ovat roottorisullojalla varustettuja. Erilaiset kampa- ja hankosullojat ovat jäämässä pois käytöstä, koska ovat teknisesti monimutkaisempia. Noukin nostaa korjattavan rehun sullojalle, joka pyöriessään puristaa rehun silppuavan terärintaman lävitse vaunun sisätilaan. Vaunun etuosan

täyttyessä pohjakuljetinautomaatiikka siirtää kuormaa taaksepäin. Kun rehu puristuu peräporttia vasten säädettyä suuremmalla voimalla, kuljettaja saa ilmoituksen vaunun täyttymisestä. Silppuavien terien teräväli on tyypillisesti 3 – 4 cm. Keskimääräinen silpun pituus on käytännössä lyhyimmilläänkin noin 10 cm eli 2 – 3 kertaa pidempää kuin tarkkuussilppurilla.

Sulloja silppuavien terien kanssa on suuri tehonkuluttaja. Tehontarpeeseen vaikuttavat ajonopeuden ja karhon koon suhde sekä sullojan ominaisuudet, terien määrä, rakenne ja kunto. Arvion mukaan tehotarve alenee 0,25 – 0,5 kW jokaista poistettua terää kohti, mutta samalla silpun pituus kasvaa, mikä voi pienentää kuorman kokoa, vaikeuttaa rehun tiivistämistä laakasiilossa ja lisätä apevaunun käyttöenergian tarvetta. Luonnollisesti kuluneet ja tylsät terät aiheuttavat

suuremman tehontarpeen kuin terävät. Kaikki teho ei kuitenkaan kulu silppuamiseen, vaan sullojan akselille tulevasta tehosta 20 – 30 % on arveltu kuluvan rehun tiivistämiseen.

Yleensä pyritään hyödyntämään vaunun koko läpäisyteho, joka voi suuren vaunun kohdalla tarkoittaa jopa yli 200 kW:n traktoritehon tarvetta. Tällöin läpäisyteho on jo 50 – 80 kuiva-ainetta tonnia tunnissa. Energiataloudellisesti hyvä tulos saavutetaan, kun rehu on kerätty suureksi karhoksi ja ajetaan kohtuullisella ajonopeudella koko läpäisyteho hyödyntäen. Tällöin hehtaarille kertyy vähiten ajometrejä. Suuresta karhosta korjatun rehun silpun laatu on myös parempi kuin pienestä karhosta vastaavasti suuremmalla ajonopeudella korjatun. Jos traktorin teho ei kuitenkaan riitä, joko ajonopeudesta tai karhon koosta on tingittävä. Jos molemmissa tapauk-



sissa traktorin moottori kuormittuu täysin, ei pienitehoisemmalla traktorilla saavuteta energiataloudellista hyötyä, vaan päinvastoin pienemmän karhon tapauksessa hehtaarin ajometrit lisääntyvät ja hehtaarikohtainen energiankulutus voi jopa nousta. Mittauksissa on todettu, että DIN-kooltaan 25 m<sup>3</sup>:n vaunujen voimanottotehotarve on kuormitusasteesta ja vaunun täyttymisasteesta riippuen 40 – 80 kW ja suurimpien vaunujen 80 – 160 kW.

Noukinvaunun ja traktorin vierimisvastukset voivat aiheuttaa jopa puolet noukinvaunukorjuun tehontarpeesta. Vierimisvastustehoon vaikuttavat mm. vaunun ja traktorin omamassa, rengastyypit ja -koko, kuorman koko, maan ominaisuudet ja käytetty ajono-

peus. Hyvällä rengastuksella varustetun vaunun ja traktorin vierimisvastuserroin on hyvin kantavalla nurmella 0,05 ja hieman pehmeämmällä maalla 0,07. Monen vaunun vakiorengaskaat ovat kooltaan sellaiset, että kuorman kantamiseen tarvittavilla rengaspaineilla vierimisvastus voi olla edellä esitettyä korkeampi. Kun yhdistelmän kokonaismassa kerrotaan maan vetovoiman kiihtyvyydellä (10 m/s<sup>2</sup>) ja vierimisvastuskertoimella, saadaan kulkuvastus. Esimerkiksi kokonaismassaltaan 20 t yhdistelmän vetämiseen tarvitaan kantavalla alustalla:  $20\,000\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 \times 0,07 = 14\,000\text{ N}$ :n voima ( $N = \text{kgm/s}^2$ ). Kulkuvastuksen ja nopeuden tulo on etenemisteho. Kun etenemisteho jaetaan voimansiirron hyötysuhteella, saadaan moottorissa tarvittava te-





ho. Kun ajonopeus on 3 m/s eli 10,8 km/h, moottorilta tarvittava teho on:  $(14\ 000\ \text{kgm/s}^2 \times 3\ \text{m/s}) / 0,8 = 52,5\ \text{kW}$ . Vetotilanteessa tapahtuva pieni luisto voi lisätä tehontarvetta pari kilowattia. Keskikokoisen vaunun kokonaistehon tarve on tavallisesti 100 kW tai enemmän.

Järeän vaunun ja traktorin kokonaismassa voi olla jopa 30 tonnia. Jos tällaisen vaunun läpäisyteho on tunnissa 70 kuiva-ainetonnia, edellyttää kapasiteetin hyödyntäminen 10 m:n karhovälille kootulla rehulla 14 km/h ajonopeutta, jos korjattavaa olisi hehtaarilla 5 kuiva-ainetonnia. Etenemisen tarvittava teho ylittää tällöin 100 kW. Tähän on lisättävä vielä voimanottoakselilta tarvittava teho ja hydraulikalle pohjakuljettimen siirtämisestä tuleva 2–5 kW:n teho. Näin laskien kokonaistehon tarve voi nousta yli 200 kW.

Testeissä on laskettu energian kulutus suhteuttamalla voimanottotehon tarve läpäisytehoon. Energiankulutus on ollut useimmiten kuiva-ainetonnia kohden 1,5 kWh (vaihteluväli 1,1–2,5 kW). Jos silppuavia teriä on vähän, voi lukema olla alarajalla. Ylärajalla koko läpäisytehoa ei ole käytetty tai on pyritty tekemään hyvin tiivis kuorma.



Kuva: Verum, Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0.

Jos oletetaan, että 40 % tehosta kuluu etenemiseen ja 60 % akselin kautta vaunun käyttämiseen, energian kulutuslukemat ovat kuiva-ainetonnia kohden 1,8–4,2 kWh. Jos kertakorjuussa saadaan hehtaarilta 5 kuiva-ainetonnia, on hehtaarilla kuluva energiamäärä 9–21 kWh. Lukema vastaa 0,9–2,1 litraa moottoripolttoöljyä kuiva-ainetonnia kohti. Suuntaa-antava hehtaarikulutus saadaan, kun kulutuslukema jaetaan voimansiirron hyötysuhteella ja moottorin hyötysuhteella. Voimansiirron hyötysuhteeksi oletetaan 80 % ja tämä sisältää voimanoton osalta myös hydraulisen



Kuva: Rasbak, Wikimedia Commons. CC-BY-SA-3.0.

tehon. Hehtaarilla polttoainetta kuluu:  $1,5 \text{ l/ha} / (0,8 \times 0,35) = 5,3 \text{ l/ha}$  (vaihteluväli 3,2 – 7,5 l/ha). Moottorin hyötysuhde 35 % tarkoittaa kulutusta 240 g/kWh, joka on saavutettavissa vain lähes täysin kuormitetulla moottorilla. Koneviestissä julkaistussa polttoaineenkulutustarilla mitatuista mittaustuloksista laskien polttoainetta kului kuiva-ainetonna kohden 1,1 – 1,5 l. Lukemat tarkoittavat aktiiviseen korjuuseen kuluva polttoainemäärää, johon on lisättävä päisteissä ja muussa hukka-ajossa kuluva polttoaine. Saksalaisessa energiakasvinormissa noukinvaunukorjuun polttoaineen kulutus on sadosta riippuen 6 – 7,7 l/ha.

## Sadon kuljetus

Kuljetustyö muodostuu pääasiassa vierimisvastuksen ja mäki­vastuksen voittamisesta. Kantavalla pellolla vierimisvastuskerroin 0,05 tasolla. Vierimisvastus voi olla 0,07 tai korkeampi, jos maa on huonommin kantavaa tai jos joudutaan käyttämään suurehkoja ilmanpaineita renkaiden pienestä koosta johtuen. Tieajossa peltokäyttöön tarkoitetun renkaan vierimisvastuskerroin vaihtelee renkaan koosta, tyypistä ja rengaspaineesta riippuen 0,015 – 0,05. Maan tiivistymisen kannalta peltoajoon hyvin sopivan pienipaineisen ja suurikokoisen renkaan vierimisvastuskerroin on tieajossa epäedullisempi kuin pienempi rengas, jossa riittävän kantavuuden vuoksi on suuri paine. Lyhyillä kuljetusmatkoilla voidaan käyttää keskimääräistä 0,05 kerrointa.

Kuljetustyön polttoaineenkulutusta on käytännössä mahdoton laskea, koska kuljetusmatkat vaihtelevat lohko­kohtaisesti, matkalla on tiestä ja liikenteestä johtuvia nopeuden muutoksia, perävaunun ja traktorin optimaalinen kokosuhde on ainakin jossain määrin nopeusriippuvainen ja lisäksi

## Yhteenveto

kuljettaja voi ajaa traktoriaan monella tavalla. Tieajon vertailuissa traktori-kuljetusten polttoaineenkulutus oli 40 – 100 l/100 km ja 0,04 – 0,07 l tonnikilometriä kohden, kun kuljettavaa on ollut täyden kantavuuden verran. Säilörehun kuljetuksissa vaunujen kantavuus ei useinkaan tule täyteen, jolloin kulutustaso voi olla tonnia kohden esitettyä korkeampi. Myös rengaskoot ja -paineet voivat olla epäedullisemmat kuin edellisissä vertailuissa.

Kuljetusvaiheen kulutusta voidaan pyrkiä minimoimaan muutamilla keinoilla. Esikuivaus vähentää oleellisesti kuormien määrää ja hieman korjuuvaiheen kulutusta pellolla. Perävaunut ovat tilavia, ne kuormataan täyteen ja niitä vedetään traktorilla, joka juuri riittää massansa ja tehonsa puolesta työhön. Lisäksi traktori on mieluiten takavetoinen ja nopea sekä sen rengaspaineet ovat tiekäytön mukaiset eli käytännössä rengaskohtaiset maksimipaineet. Kuljettajan tulee käyttää maltillista moottorin kierroksia ja aina suurinta mahdollista vaihdetta.

Taulukossa 1 on yhteenveto koko nurmenkorjuuketjun polttoaineen kulutuksesta ja sen työvaihekohtaisesta tavanomaisesta vaihtelusta. Merkittävimmät vaihtelua aiheuttavat tekijät ovat satotaso, maan kantavuus, kuljetusmatkat, työkonen ja traktorin kokosuhte ja traktorin käyttöperiaate. Myös se, kuinka voimaperäisesti korjattavaa materiaalia käsitellään, vaikuttaa kulutukseen. Tehokas murskaus, lyhyt silppu tai hyvin tiivis paali tai noukinvaunu lisäävät pinta-alakohtaista kulutusta. Toisaalta, tiivis kuorma tai paali vähentää kulutukseen kuluva polttoainemäärää.

**Taulukko 1. Yhteenveto nurmenkorjuun eri työvaiheiden aiheuttamasta polttoaineen kulutuksesta.**

Kone	Kulutus l/ha
Lautasniittokone	2 – 5
Lautasmurskain	4 – 6
Pöyhintä	2,5 (1 kerta)
Karhotus	2
Tarkkuussilppuri	6 – 12
Pyöröpaalain	8
Noukinvaunu	6 – 8
Kuljetus	1 – 10

## Sisällysluettelo

- 2 Niitto ja niittomurskaus
- 8 Pöyhintä
- 9 Karhotus
- 10 Säilörehun korjuu tarkkuussilppurilla
- 13 Säilörehun ja heinän korjuu pyöröpaalaimella
- 14 Säilörehun ja heinän korjuu noukinvaunulla
- 18 Sadon kuljetus
- 19 Yhteenveto



Lisää maatalouden energiatietoa  
[www.energia-akatemia.fi](http://www.energia-akatemia.fi)

## Heinäkorjuun energiankulutus

- Nurmenkorjuussa polttoaineen säästökeinot ovat hyvin työ- ja työkonekohtaisia.
- Kevyissä töissä, kuten pöyhinnässä ja karhotuksessa, pienitehoinen ja kevyt traktori kuluttaa vähemmän kuin suuri.
- Jos työkoneen tehontarve on huomattavasti pienempi kuin traktorin teho, tulee opetella käyttämään säästövoimantoa tai 1000 r/min nopeudella pyörivää voimantoakselia ja vastaavasti alennettua moottorin nopeutta.
- Tarpeettoman tehokas murskaus lisää polttoaineen kulutusta, mutta aiheuttaa myös varisemistappioiden kautta energiahukkaa erityisesti kuivan heinän korjuussa, mutta myös säilörehun korjuussa karhotusta käytettäessä.
- Silpun pituus säädetään tarvetta vastaavaksi, sillä polttoaineen kulutus nousee silpun pituuden lyhentyessä.
- Esikuivaus, kuormaa tiivistävät koneiden käyttöperiaatteet ja suuri kuormatila pienentävät rehunkuljetuksen polttoaineen kulutusta.
- Oppaan tiedot perustuvat tutkimustuloksiin ja esimerkeihin. Varmista aina omalta osaltasi ohjeiden sopivuus.