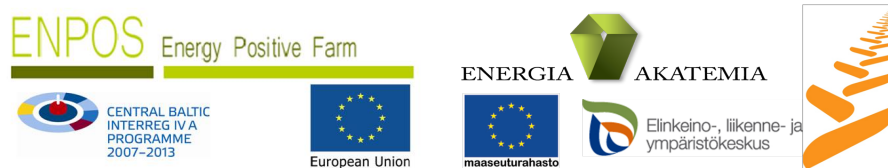


Leikkuupuimurin polttoaineen kulutus

Jukka Ahokas

7. helmikuuta 2012





This material has been produced in ENPOS and Rural Energy Academy projects. ENPOS is acronym for *Energy Positive Farm*.

The ENPOS project partners are

- University of Helsinki, department of Agricultural Sciences – Agrotechnology
- MTT Agrifood Research Finland - Agricultural Engineering
- Estonian University of Life Sciences

Project home page is at <http://enpos.weebly.com/>

The project is financed by the EU Central Baltic IV A Programme 2007-2013

The Rural Energy Academy (Maaseudun Energia-Akatemia) project partners are:

- University of Helsinki, department of Agricultural Sciences – Agrotechnology
- Seinäjoki University of Applied Sciences, School of Agriculture and Forestry
- JAMK University of Applied Sciences, School of Technology
- The project is financed by the European Agricultural Fund for Rural Development

This publication reflects the authors views and the Managing Authority cannot be held liable for the information published by the project partners.



CENTRAL BALTIC
INTERREG IV A
PROGRAMME
2007-2013



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE



The European Agricultural Fund
for Rural Development:
Europe investing in rural areas

Johdanto

Tämä puimurin tehon tarpeeseen ja polttoaineen kulutukseen liittyvä teksti on tehty Helsingin yliopiston hallinnoimien ENPOS (Energy Positive Farm) ja Maaseudun Energia-Akatemia tutkimushankkeiden avulla. Rahoittajina näissä on ollut EU:n Central Baltic Interreg IVA 2007-2013 ohjelma ja EU:n Maatalousrahaston Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2007-2013.

Näihin hankkeisiin osallistuvat seuraavat tahot:

- Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitos - Agroteknologia
- Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus - Teknologiatutkimus
- Viron maatalousyliopisto
- Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksikkö
- Jyväskylän ammattikorkeakoulun teknologiayksikkö

Tämä opas ja muu hankkeissa tuotettu maatalouden energian käyttöön liittyvä materiaali on saatavissa sivustoilta:

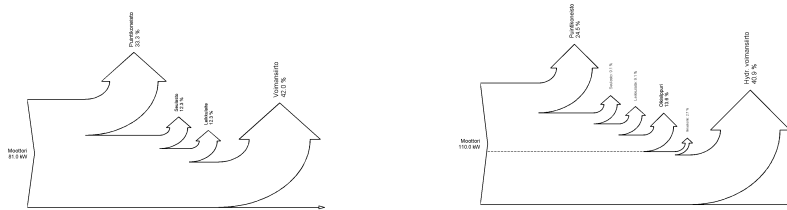
- <http://www.energia-akatemia.fi>
- <http://enpos.weebly.com/>

Sisältö

1 Puimurin teho	4
2 Puimurin moottori	6
3 Puimurin tehontarve	8
3.1 Kulkuvastus ja kulkuteho	8
3.1.1 Renkaan koon vaikutus vierimisvastukseen	10
3.1.2 Rengaspaineen vaikutus	13
3.2 Ajovoimansiirto	13
3.3 Puintiteho	14
3.4 Olkisilppuri	15
3.5 Viljan kosteuden vaikutus	16
4 Polttoaineen kulutus ja säästö puinnissa	17

1 Puimurin teho

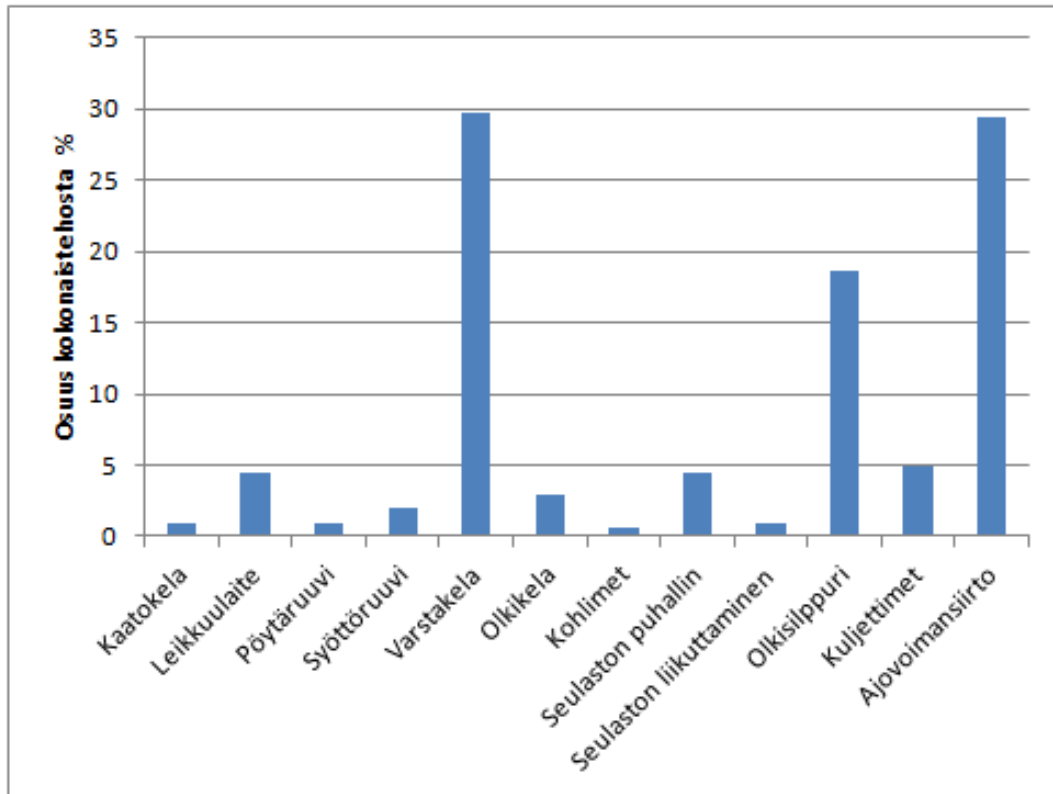
Leikkuupuimurin teho jakaantuu pääasiassa kahteen pääosaan, kulkuun tarvittavaan tehoon ja puintikoneiston tehon tarpeeseen. Tämän lisäksi pienempänä tehontarpeena tulee koneen hallintaan ja säätöön tarvittava teho. Kuvassa 1.1 on esimerkki kahden erikokoisen ja voimansiirroltaan erilaisen puimurin tehon jakautumasta [Kutzbach ja Quick]. Kummankin puimurin puintitehon tarve on ollut sama. Puimurit on vain erilailla varustettu, vasemman puoleisessa on kyse peruspuimurista, jossa on mekaaninen voimansiirto. Oikean puoleisessa puimurissa on hydrostaattien voimansiirto, olkisirppuri ja ohjaamon ilmastointi. Lisälaitteet ovat vaatineet lähes 40% suuremman moottoritehon tarpeen.



Kuva 1.1: Puimurin tehon jakautuminen

Kuvassa 1.2 on esimerkki hieman yksityiskohtaisemmasta puimurin tehon jakaantumisesta eri toimilaitteiden kesken [Mugrauer A. 2002]. Suurimpina tehon tarvitsijoina ovat olleet varstakela, olkisirppuri ja ajovoimansiirto. Muiden toimielinten tehontarpeet ovat olleet alle 5 %. Kun puimurin energian käyttöä tarkastellaan, silloin kannattaa kiinnittää huomiota suurimpiin tehontarpeisiin. Puimurin kulun pitäisi olla mahdollisimman helppoa ja puintikoneisto sekä silppuri pitäisi olla oikeissa säädöissä ja hyvässä kunnossa.

1 Puimurin teho



Kuva 1.2: Puimurin toimilaitteiden tehon osuus 74 kW puimurin kokonaistehosta

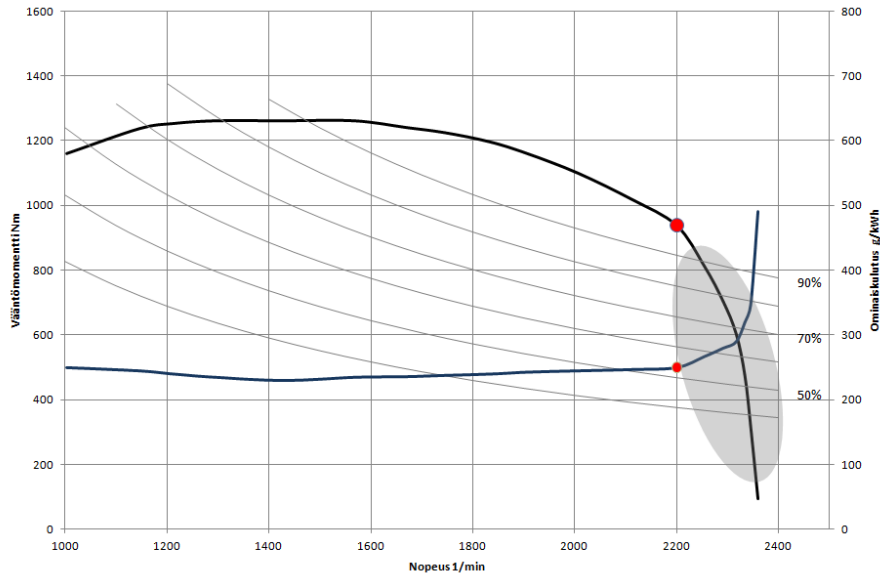
2 Puimurin moottori

Puimurin moottorit ovat suoraruiskutteisia dieselmooottoreita. Niiden ominaisuudet poikkeavat esimerkiksi traktorikäytöstä. Puimurissa moottorin yhtenä pääominaisuutena on pyörimisnopeuden säilyminen tasaisena. Jos puintikoneiston nopeus vaihtelee runsaasti, silloin puintitulos heikkenee. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että moottorissa on oltava tehoreserviä runsaasti. Sen tehon on oltava kaikissa tilanteissa riittävä, jotta pyörimisnopeus ei laskisi. Myös moottorin säätimen on oltava jyrkempi eli sen pitäisi pitää pyörimisnopeus tasaisempana kuin traktorikäytössä.

Puimurin taloudellisuuteen pätee sama asia kuin traktorin moottorin taloudellisuuteen. Kevyesti kuormitettuna moottorin hyötysuhde on alhainen ja kun kuormitus kasvaa moottorin hyötysuhde paranee. Yleensä hyötysuhteen paraneminen on voimakkaampi kuin tehon kasvu, jolloin puimurin taloudellisuus paranee kun sitä kuormitetaan reilusti. Suoraruiskutteisten dieselmooottoreiden ominaiskulutukset ovat silloin, kun niitä kuormitetaan kohtalaisesti tai reilusti luokkaa 200 - 400 g/kWh. Puimurin moottorin pyörimisnopeus on käytössä korkea eli sen ominaiskulutus on etenkin kevyesti kuormitettaessa korkea ja käytännössä ominaiskulutuksien voidaan arvioida olevan 300 - 400 g/kWh luokkaa.

Kuvassa 2.1 on esimerkki puimurin tehon jakautumasta puinnissa [Qing et al 2007]. Koska puimurikoneiston nopeuden pitäisi pysyä tasaisena puimureiden moottorit toimivat jatkuvasti osakuorman alueella. Tämä tarkoittaa sitä, että polttoaineen ominaiskulutus riippuu voimakkaasti kuormituksesta. Käytännössä ajonopeuden lisääminen lisää tehontarvetta, mutta saman aikaisesti moottorin kuormittuessa enemmän sen hyötysuhde paranee eli ominaiskulutus vähenee. Kokonaistuloksena puimurin moottorin käytöstä on, että polttoainetalouden kannalta suuri ajonopeus on usein eduksi.

2 Puimurin moottori



Kuva 2.1: Esimerkki puimurin tehon käytöstä. Puinnissa teho vaihteli harmaalla merkityllä alueella. Prosenttiluvut ovat tehoja nimellistehoon verrattuna. Punaiset pisteet kuvaavat nimellistehon kohtaa (100% teho).

Esimerkki. Puimurin käyttöteho on 40 kW ja työsaavutus on 0,9 ha/h. Kuinka paljon tarvitaan polttoainetta yhden hehtaarin puintiin?

Oletetaan ominaiskulutukseksi 320 g/kWh. Tällöin tuntikulutus on $320 \cdot 40 = 12,8$ kg/h. Jos polttoaineen tiheys on 0,83 kg/l, kulutus on 15,4 l/h ja kun tunnissa puidaan 0,9 hehtaaria, kulutus on $15,4/0,9 \approx 17$ l/ha.

3 Puimurin tehontarve

3.1 Kulkuvastus ja kulkuteho

Kuvassa 3.1 on esitetty puimuriin sen liikkuessa vaikuttavat voimat. Puimurin renkaiden ja maan muodosonmuutokset aiheuttavat vierimisvastuksen F_v . Sen lisäksi rinnettä noustessa puimuriin kohdistuu rinnevastus, joka on puimurin painon rinteeseen suuntaisen komponentti ($G\cos\alpha$). Puimuriin kohdistuva painovoima jaetaan yleensä kahteen komponenttiin rinteeseen suuntaiseen komponenttiin, joka on edellä ollut rinnevastus ja rinnettä vastaan kohtisuoraan olevaan komponenttiin ($G\sin\alpha$).

Puimurin kohdistuva liikkumiseen tarvittava voima F_l on:

$$F_l = F_v + G\cos\alpha \quad (3.1)$$

Renkaan vierimisvastusvoima ilmaistaan vierimisvastuskertoimella, joka on renkaan liikkumiseen tarvittava voima F_v jaettuna renkaan kuormituksella R :

$$f = \frac{F_v}{R} \quad (3.2)$$

Käytännössä vierimisvastuskerroin riippuu maan pehmeystä ja renkaan rakenteesta, koosta ja rengaspaineesta.

Koko puimurin vierimisvastusvoima saadaan vierimisvastuskertoimen ja rinnettä vastaan olevan painokomponentin avulla, $F_v = fG \cdot \sin\alpha$. Tällöin saadaan liikkumiseen tarvittavaksi kokonaisvoimaksi:

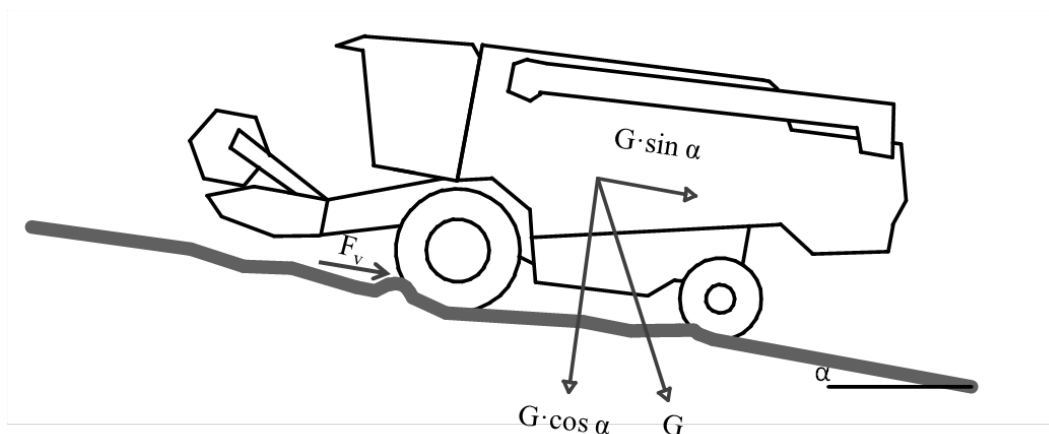
$$F_l = fG \cdot \sin\alpha + G\cos\alpha = G(f \cdot \sin\alpha + \cos\alpha) \quad (3.3)$$

Puimurin paino muuttuu puinnin edistyessä ja viljasäiliön täytyessä. Tällöin myös kulkuvastus muuttuu. Vierimisvastuskertoimen ollessa alle 0,2 puimurin kulku on vaivatonta, kun kerroin on 0,2 ja 0,3 välillä, kulkeminen on vaivalloista ja kertoimen ollessa yli 0,3 kulkeminen on vaikeaa [Mäkelä ja Laurola 1990]. Näitä vastaavat pyörien luistot olivat peltokokeissa 10, 20 ja 30 %.

Kulkemiseen tarvittava teho P_l saadaan kertomalla kulkuvastus ajonopeudella v :

$$P_l = F_l v \quad (3.4)$$

Kulkuvastus riippuu siten puimurin kokonaispainosta, maan pehmeystä (vierimisvastuskerroin) ja rinnekuumasta. Kulkutehoon vaikuttaa näiden lisäksi ajonopeus. Vierimisvastus riippuu myös rengastyypistä ja koosta sekä myös takarenkaiden kuvioinnista ja raidelevydestä [Mäkelä ja Laurola 1990].



Kuva 3.1: Puimurin kulkuvastus

Esimerkki. Puimurin massa on 7100 kg ja siinä on 4 m³viljasäiliö. Mikä on puimurin kulkutehon tarve kun puidaan kovalla 3^o vastarinteessä ja ajonopeus on 5 km/h?

Kovan pellon vierimisvastuskerroin on 0,1 luokkaa eli käytetään sitä laskuissa. Kun viljasäiliö on tyhjä, massa on 7100 kg (puimurissa on kyllä usein muutaman sadan litran polttoainesäiliökin ja kuskikin painaa lähes sata kiloa). Puimurin massan aiheuttama voima voidaan jakaa kahteen komponenttiin, rinnettä vastaan kohtisuoraan ja rinteeseen suuntaiseen. Rinnettä vasten oleva komponentti on $7100 \cdot 9,81 \cdot \cos 3^\circ = 69,6$ kN ja rinteeseen suuntaainen on $7100 \cdot 9,81 \cdot \sin 3^\circ = 3,6$ kN. Puimurin rinnettä vasten oleva voima ei muutu kovinkaan paljon, mutta rinnevastus on jo huomattava. Vierimisvastusvoima on $0,1 \cdot 69,6$ kN = 7,0 kN ja 3^o rinteeseen rinnevastus (3,6 kN) on siitä reilut 50%. Kokonaiskulkuvastus on $3,6 + 7,0 = 10,6$ kN ja kulkutehon tarve on $10,6$ kN $\cdot 5/3,6$ m/s = 14,7 kW ≈ 15 kW.

Kun viljasäiliö on täynnä, silloin lisäpainoa tulee, jos viljan hehtolitrapaino on 60 kg, $4 \cdot 600 = 2400$ kg ja puimurin kokonaismassa on 9500 kg. Kokonaiskulkuvastus on $4,9 + 9,3$ kN = 14,2 kN ja kulkuteho on 19,7 kW ≈ 20 kW. Kulkutehon tarve lisääntyi siten 5 kW eli reilut 30%.

Siirtoajat

Jos peltolohkot ovat kaukana tilakeskuksesta, lohkoille siirtymiseen ja paluuseen kuluu oma aikansa ja polttoainemääränsä. Lähdetäänkin laskemaan puimurin polttoaineen kulutusta ajettua kilometria kohden. Kulkemiseen tarvittava teho saadaan yhtälöstä 3.4. Siitä voidaan päätellä, että mitä kovempaan me ajetaan, sitä suurempi teho tarvitaan. Jotta me saataisiin kulutus selville, meidän pitää tietää moottorin ominaiskulutus. Merkitään sitä symbolilla b [kg/kWh]. Moottorin kulutus on siten, kun polttoaineen tiheys on ρ [kg/l] ja voimansiirron hyötysuhde on η :

$$q_v = \frac{P_l \cdot b}{\eta \cdot \rho} \quad (3.5)$$

3 Puimurin tehontarve

Kun tämä jaetaan nopeudella v [km/h] ja otetaan mukaan yhtälö 3.4, saadaan kulutukselle yhtälö:

$$q_{Vkm} = \frac{F_l \cdot b}{v \cdot \eta \cdot \rho} = \frac{F_l \cdot v \cdot b}{v \cdot \eta \cdot \rho} = \frac{F_l \cdot b}{\eta \cdot \rho} \quad (3.6)$$

Asfalttitiellä vierismisvastuskerroin on luokkaa 0,02 ja soratiellä 0,05. Voimansiirron hyötysuhde, silloin kun kyseessä on hihnavariaattori, on n 0,8 - 0,9. Hydrostaattisen voimansiirron hyötysuhde on 0,40 - 0,68 [Aumer et al 2008].

Esimerkki. Puimurin massa on 7200 kg ja siinä on kuvan 2.1 mukainen 110 kW moottori. Mikä on puimurin kulutus asfalttitiellä?

Ensiksi oletetaan, että emme aja mäkisillä teillä. Tällöin mäktivastus voidaan jättää pois. Sinänsä kun mennään pellolle ja tullaan takaisin lähtöpisteeseen, palataan aina samaan korkeuteen ja mäkien vaikutus ei ole kovin suuri. Asfalttitien vierimisvastuskerroin on 0,02, jolloin saadaan vierimisvastusvoimaksi $F_l = 0,02 \cdot 7200 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,4 \text{ kN}$. Ajonopeuden ollessa 25 km/h ($25/3,6 = 6,9 \text{ m/s}$), ajoteho on $1,4 \cdot 6,9 = 9,7 \text{ kW}$. Puimurissa on hydrostaattinen voimansiirto ja koska tehontarve on pieni, sen hyötysuhde on silloin heikko eli otetaan hyötysuhteeksi 0,4. Moottoritehon tarve on silloin $9,7/0,4 \approx 25 \text{ kW}$. Moottoritehon tarve on $25/110 = 23\%$ moottorin nimellistehosta. Kuvasta 2.1 voidaan arvioida, että polttoaineen ominaiskulutus on silloin luokkaa 400 - 500 g/kWh. Käytetään laskuissa arvoa 450 g/kWh ja tiheydelle arvoa 0,83 kg/l. Kulutus on siten $q_V = 25 \text{ kW} \cdot 0,45 \text{ kg/kWh} / 0,83 \text{ kg/l} = 13,6 \text{ l/h}$. Jos tunnissa ajetaan 25 km, silloin kulutus km kohden on: $0,5 \text{ l/km} = 50 \text{ l/100 km}$. Laskussa on oletettu, että 25 km/h saadaan ajamalla kaasua auki. Kulutusta voitaisiin alentaa huomattavasti, jos puimurissa olisi ylivaihde, jonka avulla moottorin kierroksia voitaisiin alentaa. Tällä kulutusta voitaisiin alentaa 10 - 20%.

Jos puimurissa olisi hihnavariaattori, voimansiirron hyötysuhde voisi olla 0,8. Ajoteho oli 9,7 kW, jolloin moottoriteho on $9,7/0,8 \approx 12 \text{ kW}$. Moottoritehon tarve on vain puolet hydrostaattisen puimurin tehontarpeesta. Moottoriteho on $12/110 = 11\%$ nimellistehosta. Kuvasta 2.1 ei näy tätä tehoa vastaavaa ominaiskulutusta, mutta arvioidaan sen olevan 500 g/kWh. $q_V = 12 \text{ kW} \cdot 0,5 \text{ kg/kWh} / 0,83 \text{ kg/l} = 7,2 \text{ l/h}$ ja $\approx 0,3 \text{ l/km} = 30 \text{ l/100 km}$. Vaikka tehontarve puolittui, kulutus ei puolittunut. Tämä johtuu siitä, että kevyempi moottorin kuormitus aiheuttaa suuremman ominaiskulutukset.

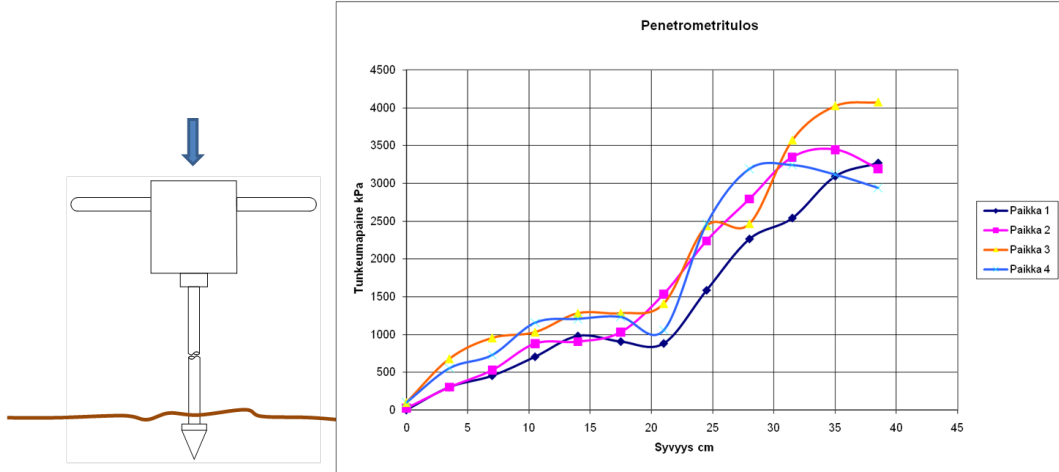
3.1.1 Renkaan koon vaikutus vierimisvastukseen

Renkaan vierimisvastuksille on kehitetty useita erilaisia kokeellisia yhtälöitä. Esimerkiksi standardissa ASAE D497 [ASAE D497.6] on esitetty yksi tällainen malli. Renkaan koon vaikutusta voidaan tarkastella yksinkertaisen mallin avulla:

$$f = \frac{1,2}{C_n} + 0,04 \quad (3.7)$$

C_n on renkaan liikkuvuusluku ja se saadaan renkaan leveyden b , halkaisijan d , rengas-kuorman R ja maan cone-index arvon CI perusteella:

3 Puimurin tehontarve



Kuva 3.2: Penetrometri ja esimerkki sen maahan työntämiseen tarvittavasta paineesta

$$C_n = \frac{CI \cdot b \cdot d}{R} \quad (3.8)$$

Tämä malli pätee, kun renkaan leveyden suhde alkaisijaan on $n = 0,3$, sijoitetaan $b = 0,3 \cdot d$ ja liikkuvuusluvun C_n yhtälö yhtälöön 3.7 :

$$f = \frac{1,2 \cdot R}{CI \cdot 0,3 \cdot d \cdot d} + 0,04 = \frac{1,2 \cdot R}{CI \cdot 0,3d^2} + 0,04 \quad (3.9)$$

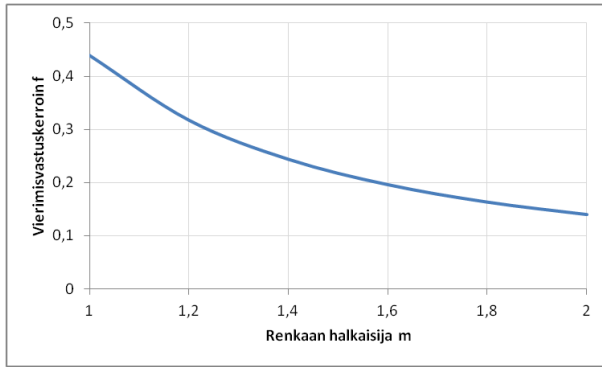
Renkaan vierimisvastus pienenee siten halkaisijan toisessa potenssissa.

Cone index (penetrometri) arvo CI saadaan työntämällä kuvan 3.2 mukainen kartio maahan. Työntövoimasta voidaan laskea tarvittava tunkeumapaine. Saatu arvo kuvaa maan tilaa kulkukyvyn kannalta, märän ja pehmeän maan tunkeumapaineen keskiarvo on 200 kPa, kuivan ja pehmeän 400 kPa ja kuivan sänkipellon 1000 kPa.

Esimerkki. Puimurin eturenkaan kuormitus on 2000 kg ja maa on kuiva ja pehmeä ja sen CI-arvo on 400 kPa. Miten renkaan halkaisija vaikuttaa vierimisvastuskertoimeen?

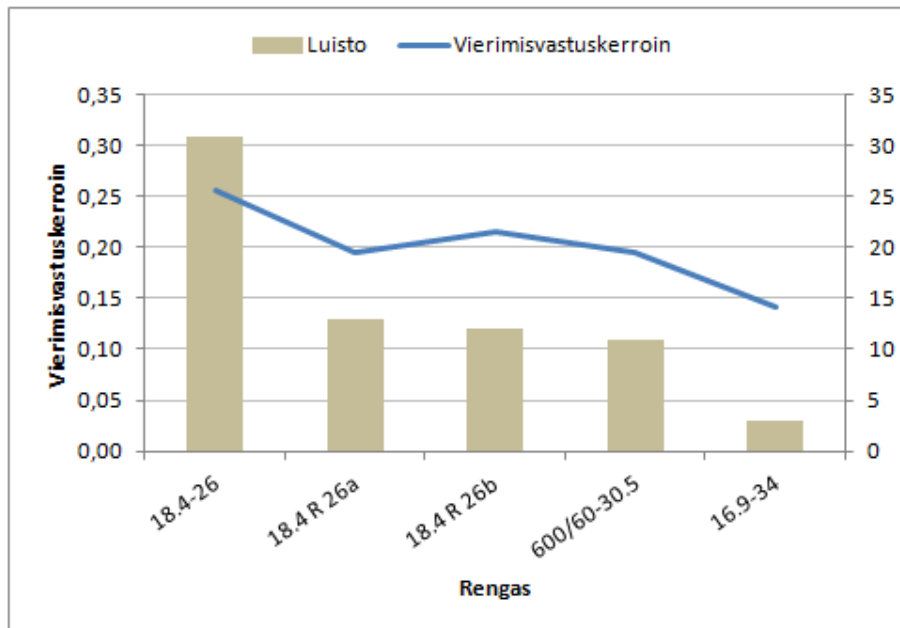
R on $2000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 20 \text{ kN}$. Esimerkiksi 1,2 m halkaisijalle saadaan $f = \frac{1,2 \cdot 20 \text{ kN}}{400 \text{ kPa} \cdot 0,3 \cdot 1,2^2 \text{ m}^2} + 0,04 = 0,18$. Vierimisvastusvoima on $0,18 \cdot 20 \text{ kN} = 3,6 \text{ kN}$. Oheisessa kuvassa on laskettu vierimisvastuskerroin esimerkin tapauksessa 1 - 2 m halkaisijalla.

3 Puimurin tehontarve



Etenkin pehmeällä pellolla liikuttaessa renkaan halkaisijan merkitys kulkukykyyntä on merkittävä. Samalla vastusvoima ja tarvittava liikkumisteho pienenevät.

Kuvassa 3.3 on esimerkki rengastyypin ja koon vaikutuksesta vierimisvastuskertoimeen. Puimurin etuakselikuorma oli 5020 kg. Alkuperäiset eturenkaat olivat kooltaan 18.4.-26 ristikudosrenkaat. Kun nämä vaihdettiin vyörenkaisiin (18.4R26 a ja b ovat erimerkkisiä vyörenkaita), vierimisvastuskerroin aleni ja tämä näkyi etenkin luistossa, joka aleni 30% luistosta n 12 % luistoon. 30% luisto tarkoittaa huonoa kulkukykä ja 12% luisto tarkoittaa suhteellisen helppoa kulkukykä. 600/60-30.5 rengas oli matalaprofilinen ristikudosrengas ja sen ominaisuudet olivat samanlaiset kuin vyörenkaiden. 16.9-34 rengas oli halkaisijaltaan selvästi suurempi ristikudosrengas ja se antoi selvästi parhaimman tai helpoimman kulkukyvyn. [Mäkelä ja Laurola 1990]



Kuva 3.3: Eturenkaiden vaikutus puimurin kulkukykyyntä

Kuvan 3.3 tapauksessa alkuperäisten renkaiden vaihto suurempihalkaisijaisiin renkai-



Kuva 3.4: Rengaspaineen vaikutus renkaan kosketusalaan, vasemmalla 0,5 bar, keskellä 1,0 bar ja oikealla 1,5 bar rengaspaine

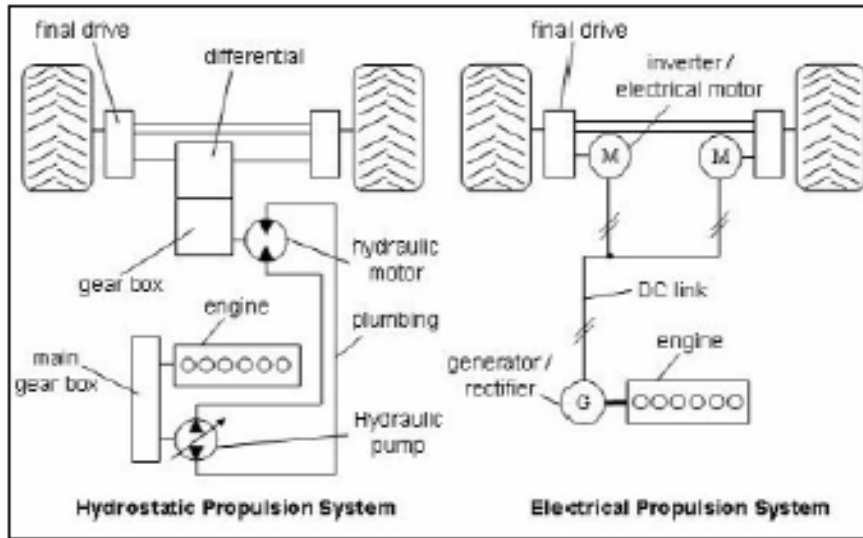
siin alensi vierismisvastuserrointa 44%. Tämä sama aleneminen tulee myös liikkumistehoon. Sen lisäksi peltoon ei tule renkaiden uria eli pellon rakenne säilyy parempana.

3.1.2 Rengaspaineen vaikutus

Alhainen rengaspaine parantaa renkaan joustoa ja sen seurauksena rengas joustaa enemmän. Joustosta seuraa, että renkaan kosketuspituus ja kosketusala maahan pitenee, kuva 3.4. Tämä aikaansaa suuremman kosketusalan ja pienemmän pintapaineen. Pidempi kosketusala aikaansaa useamman renkaan rivan kosketuksen maahan, jolloin renkaan pito paranee ja luisto pienenee. Renkaan pintapaine on lähes sama kuin renkaan rengaspaine. Renkaan sisällä oleva ilma kantaa sille tulevan kuorman ja rengas toimii eräänlaisena ilman 'paineastiana'. Renkaan runko kylläkin kantaa osan renkaan kuormasta. Vyörenkaita käytettäessä tämä on melko pieni osa, mutta jäykillä ristikudosrenkailla renkaan runko voi kantaa huomattavankin kuorman. Renkaan rungon jousto puhdistaa sen paremmin ja pito paranee kun ripojen välit pysyvät puhtaina. Pehmeällä pellolla kannattaa aina käyttää alhaisimpia mahdollisia rengaspaineita. Sillä varmistetaan helppo kulkukyky.

3.2 Ajovoimansiirto

Puimureissa on siirrytty kiilahihnavariaattorivoimansiirroista hydrostaattisiin voimansiirtoihin. Seuraavana kehityskaskelena on nähtävissä sähköisten voimansiirtojen kokeilu. Niiden käyttöönotto ja yleistyminen riippuvat paljolti hintatasosta ja hydrostaattiseen verrattaessa saavutettavista eduista. Kuvassa 3.5 periaatekuvat hydrostaattisesta ja sähköisestä voimansiirrosta. Sähköisessä voimansiirrosta tarvitaan vähemmän mekaanisia vaihteita ja komponenttien sijoittelu on helpompaa. Aumer et al [Aumer et al 2008] ja Bernhard et al [Bernhard ja Schreiber 2005] vertasivat hydrostaattista ja sähköistä voimansiirtoa keskenään ja saivat seuraavia etuja ja haittoja. Kumpikin voimansiirto on helposti automatisoitavissa ja ne toimivat lähes samalla hyötysuhteella, kuitenkin sähköisen voimansiirron hyötysuhde oli hieman korkeampi. Sähköinen voimansiirto on hydrostaattista painavampi, mutta sen osuus koko puimurin painosta ei kuitenkaan ollut merkittävä. Sähköisen voimansiirron etuna nähdään, että sitä voitaisiin käyttää muidenkin puimurin



Kuva 3.5: Esimerkki hydrostaattisesta (vasen kuva) ja sähköisestä (oikea kuva) voimansiirrosta [Aumer et al 2008]

toimilaitteiden käyttöön helposti. Sähköisen voimansiirron hinta hydrostaattista kalliimpi.

3.3 Puintiteho

Kuten kuvasta 1.1 näkyy puintiteho jakaantuu monen eri vaiheen osalle. Suurin näistä on varsinainen puintityö eli varstasillan toiminta. Näitä eri komponenttien tehontarpeita ei käytännössä voida erottaa, vaan koko puintikoneisto käsitellään yhdessä. ASAE 497 [ASAE D497.6] ja ASAE EP496 [ASAE EP496]standardien mukaan leikkuupuimurin kokonaistehon tarve voidaan laskea seuraavasti:

$$P = P_t + K_m q_m \quad (3.10)$$

- P_t = Tyhjäkäyntiteho
- K_m = Kerroin
- q_m = Koneikon läpi menevä olkimassavirta

Puimurin tehontarve riippuu siten koneikon käyntiin tarvittavasta ns tyhjäkäyntitehosta ja puimurin läpi syötetystä olkimäärästä. Tyypillisesti puimureiden puintitehot ja -tappiot ilmoitetaan ns MOG-arvoina (Material Other than Grain = muu kuin jyvämateriaali) eli koneiston läpi menneenä muuna kuin jyvämääränä tai virtauksena. Pelkkä jyvien massavirtaus ei anna tarkkaa kuvaa kuormituksesta.

Mikä on sitten puimurin läpi menevä olkien massavirtaus. Ensisijaisesti tämä riippuu kasvustosta ja siitä kuinka korkealta tai matalammalta vilja voidaan puida. Mitä enemmän olkea otetaan koneistoon, sitä suurempi teho tarvitaan. Puimurin puintikapasiteetti

3 Puimurin tehontarve

saadaan työleveydestä b ja ajonopeudesta v . Jos esimerkiksi ajonopeus on 1 m/s ja työleveys 3 m, yhden sekunnin aikana puidaan 3 m²/s eli:

$$q_A = bv \quad (3.11)$$

Laadutettuna, kun ajonopeus on yksikkönä km/h ja työleveys yksikkönä m, saadaan työsaavutus ha/h:

$$q_A[\text{ha/h}] = \frac{b[\text{m}] \cdot v[\text{km/h}]}{10} \quad (3.12)$$

Jos satotaso on s [kg/ha], silloin saadaan puimurin läpi menneeksi massavirraksi [kg/h], työsaavutus on yksiköissä ha/h.

$$q_m = q_A \cdot s \quad (3.13)$$

Kun yhtälöt 3.10, 3.11 ja 3.13 yhdistetään, saadaan

$$P = P_t + K_m b \cdot v \cdot s \quad (3.14)$$

Puimurin tehontarve riippuu siten ajonopeudesta, työleveydestä ja satotasosta. ASAE D497 standardi antaa seuraavat kertoimien arvot, $P_t = 20$ kW ja $K_m = 3,6$ kWh/t. Tässä laskentatavassa on mukana sekä liikkumiseen tarvittava teho että puintikoneiston tarvitsema teho eikä näitä voida erottaa erikseen. Nämä laskelmat pätevät yhdysvaltalaisille olosuhteille, meillä pehmeämpi pelto ja märempi puitava vilja tarkoittavat hieman suurempaa puintitehon tarvetta.

Esimerkki. Leikkuupuimurin ajonopeus on 5 km/h ja työleveys on 3 m. Puimurin läpi menevä olkisato on 60% viljasadosta 3 t/ha. Mikä on puimurin tehontarve?

Työsaavutus on $5 \cdot 3 / 10 = 1,5$ ha/h ja kun olkisato on $0,6 \cdot 3$ t/ha = 1,8 t/ha, saadaan puimurin läpi meneväksi massavirraksi $1,5$ ha/h \cdot 1,8 t/ha = 2,7 t/h. Puimurin tehontarve on 20 kW + $3,6 \cdot 2,7 \approx 30$ kW.

Kun puintitehon tarvetta tarkastellaan moottorin ominaisuuksien kanssa yhdessä, nähdään, että toimiakseen hyvällä hyötysuhteella moottoria on kuormitettava kunnolla (kappale 2). Tämä tarkoittaa sitä, että ajonopeuden puinnissa pitäisi olla mahdollisimman korkea.

3.4 Olkisilppuri

Olkisilppurin tehontarve voidaan laskea samalla tavalla kuin puimurin kokonaisteho, koska silppurin läpimenevä massavirta määrää tehontarpeen, yhtälö 3.10. Kokeissa olkisilppurin ominaistehontarve on vaihdellut 0,5 - 2,0 kWh/t väliltä (K_m -kerroin yhtälössä 3.10). Tässä massavirtana on käytetty jyvää MOG sijasta ja oletettu, että jyvävirralla ja MOG-virralla on sama suhde. Silppurin pyörimisnopeuden alentaminen vähensi tehontarvetta, mutta seurauksena oli olkisilppurin pituuden lisääntyminen ja sitä kautta

silpun laadun heikkeneminen ja se voi aiheuttaa vaikeuksia esimerkiksi suorakylvössä. [Schwarz et al 2011]

Olkisilppuri vaati kuvan 1.2 mukaisesti melko suuren osatehon puimurin moottorilta. Silppureiden osalta käyttäjän tehtäväksi jää terien pitäminen hyvässä kunnossa. Terävät terät tarvitsevat vähemmän tehoa kuin tylsät terät. Silpun pituuden ja levittämisen suhteen vaatimukset ovat selvästi lisääntyneet. Suorakylvö vaatii, jotta kylvökone ei tukkeutuisi tasaisen olkien leviämisen ja lyhyen silpun pituuden. Jos suorakylvöä ei käytetä, silloin silppurien vaatimukset ovat vähäisemmät ja voitaisiin valita vähemmän tehoa tarvitseva silppuri.

3.5 Viljan kosteuden vaikutus

Kostea vilja ei kulje yhtä hyvin puintikoneistossa kuin kuiva vilja. Lisäksi jyvien irtoaminen tähkistä voi olla heikompa. Matthiesen [Matthiesen 2008] pui aksiaalipuimurilla sekä kuivaa että kosteaa ohraa ja vehnää. Kuivan ohran kosteus oli 10,2% ja määrän 30,4%. Polttoaineen kulutus lisääntyi 15%. Kuivan vehnän kosteus oli 16,9% ja määrän 37,5% ja kulutus lisääntyi 10%. Aksiaalipuimuri on puintitavaltaan erilainen kuin normaali tangentiaalipuimuri. Tuloksia ei voida tämän takia yleistää suoraan koskemaan myös näitä puimureita.

4 Polttoaineen kulutus ja säästö puinnissa

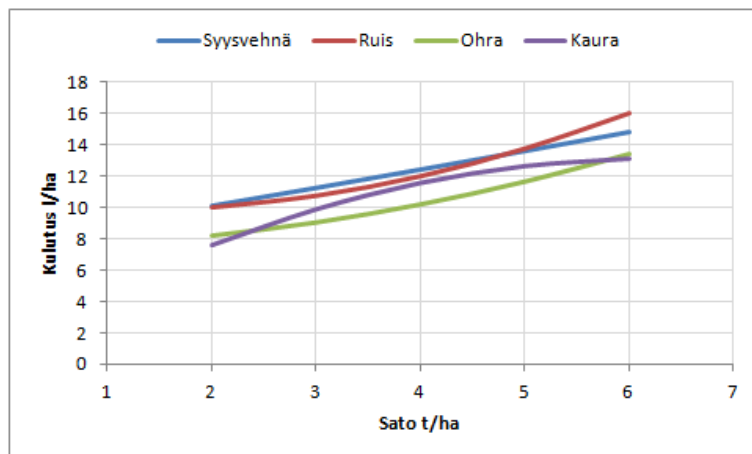
Mikkola ja Ahokas [Mikkola ja Ahokas 2009] antavat puinnille keskimääräiseksi kulutuslukumaksi 15,1 l/ha. Tämä on keskimääräinen kirjallisuudesta saatu luku ja siinä on vaihtelua siten, että kulutukset ovat 10 - 20 l/ha väliltä. Saksalaisen KTBL:n (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) taulukkolaskentapohja antaa kuvan 4.1 mukaisen polttoaineen kulutuksen. Kuvan mukaan kulutus riippuu satotasosta ja kulutus vaihtelee 8 l/ha - 16 l/ha väliltä.

Puintiin liittyy läheisesti sadon kuljetus pellolla kuivurille. Kuljetuksien polttoaineen kulutus lasketaan kuorman ja ajetun matkan mukaisesti. Kuljetuksissa asfalttitiellä menee keskimäärin 0,03 - 0,04 l/(t·km) [Moitzi ym 2009].

Esimerkki. 3 ha lohko on 20 km päässä ja siellä viljellään ohraa, jonka sato on 3,5 ton/ha. Kuinka paljon sadonkorjuu tarvitsee polttoainetta?

Otetaan puimurin massaksi 7 ton. Puintiin tarvitaan vaikka kuvan 4.1 mukaisesti n 10 l/ha = 30 litraa kyseiselle lohkolle. Satoa lohkolta saadaan kaikkiaan 3·3,5 ton = 10,5 t. Lohkon sadon kuljettamiseen tarvitaan polttoainetta kuluu $10,5 \cdot 20 \cdot 0,04 \approx 9$ l. Tästä puuttuu vielä puimurin siirtyminen pellolle ja takaisin samoin kuin traktorin tulo pellolle. Jos aiemman esimerkin mukaan puimuri kuluttaisi 0,3 l/km maantieajossa, puimurin siirtyminen pellolle ja takaisin kuluttaa 12 l. Traktorin kululle pellolle voidaan käyttää samaa 0,3 l/km, jolloin siihen tarvitaan 6 l. Näin saadaan kuljetusten ja siirtymisten kokonaiskulutukseksi 27 l ja puinnin kulutus oli 30 l eli kulkemiseen menee likimain yhtä paljon polttoainetta kuin puintiin.

4 Polttoaineen kulutus ja säästö puinnissa



Kuva 4.1: KTBL puimurin polttoaineen kulutus

Polttoaineen kulutusta voidaan säästää puinnissa seuraavin keinoin:

- Kuormittamalla moottoria kunnolla, tämä tarkoittaa sitä, että pyritään käyttämään suurta ajonopeutta. Kasvusto ja sen kunto (lakoisuus) määräävät usein puinnopeuden ja tämä ohje on mahdollista lähinnä hyvissä olosuhteissa ja pystyviljassa.
- Puimalla mahdollisimman pitkään sänkeen. Tämä on mahdollista pystyviljassa. Puimurin läpi menevän olkimassan määrä vähenee ja puimurin tehontarve alenee.
- Pitämällä puimurin koneisto hyvässä kunnossa ja oikeissa säädöissä. Tämä koskee etenkin varstasiltaa ja silppuria.
- Pehmeillä pelloilla kannattaa käyttää mahdollisimman hyvää rengastusta ja alhaisia rengaspaineita.

Kirjallisuutta

- [ASAE EP496] ASAE EP496.3. Agricultural Machinery Management. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [ASAE D497.6] ASAE D497.6, Agricultural Machinery Management Data. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [Aumer et al 2008] Aumer W., Lindner M., Geißler M., Herlitzius T. ja Bernhard G. Conceptual Comparison of Electrical and Hydrostatic Propulsion in Combine Harvesters. Landtechnik no. 2,2008.
- [Bernhard ja Schreiber 2005] Bernhard B. ja Schreiber M. Experimental Comparison of Ground Drives for Combine Harvesters. Landtechnik 2/2005.
- [Kutzbach ja Quick] Kutzbach H.D. ja Quick G.R. Harvesters and Threshers, grain. CIGR Handbook III, p. 311 - 347.
- [Matthiesen 2008] Matthiesen, M. 2008 Experimentelle Untersuchungen zur Feuchtgetreidekonservierung im Folienschlauch. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn. 169 s.
- [Mikkola ja Ahokas 2009] Mikkola H. ja Ahokas J. Energy ratios in Finnish agricultural production. Agricultural and food science, Vol. 18, 2009
- [Moitzi ym 2009] Moitzi, G., Refenner, K., Weingartmann, H. & Boxberger, J. 2008. Kraftstoffverbrauch beim landwirtschaftlichen Transport. Landtechnik 63 (2008), no. 5, pp. 284 – 285.
- [Mugrauer A. 2002] Mugrauer, A. 2002. Einsatzmöglichkeiten von Elektromotoren zum Antrieb von Mähdreschern. Seminar paper S 78 H. Stuttgart, Germany.: University of Hohenheim. Ref. B. Bernhard and V. R. Schlotter. Electric drives for combine harvesters. International Conference on Crop Harvesting and Processing, 9-11 February 2003, ASAE Publication Number 701P1103e.

Kirjallisuutta

- [Mäkelä ja Laurola 1990] Mäkelä J. ja Laurola H. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos, Tutkimusselostus 58, Vihti 1990.
- [Qing et al 2007] Qing W., Qin Z. and Zhihuai M. Power Efficiency Analysis of Combine Harvester in Field Operations. ASABE Annual International Meeting, Minnesota USA 2007
- [Schwarz et al 2011] Schwarz M., Zähl T., Gottlieb D. ja Böttinger S. Power requirement at the combine chopper. Landtechnik no. 4,2011.