



Traktorit ja työkoneet

Jukka Ahokas



ENPOS Energy Posit



CENTRAL BALTIC
INTERREG IV A
PROGRAMME
2007-2013

Sisältö

1	Traktorimoottorit	4
1.1	Traktorimoottorit	4
1.2	Moottorin polttoainetalous	5
1.3	Moottorin päästöt	6
1.4	Polttoaineet	7
1.5	Moottorin kuormittuminen	8
2	Traktorin voimansiirto	10
3	Traktorin vetovoima ja vetoteho	12
3.1	Traktorin vetovoima	12
3.2	Traktorin vetohyötysuhde	14
3.3	Vetoteho ja moottoriteho	17
4	Työkoneet	18
4.1	Teoreettinen työsaavutus	18
4.2	Käytännön työsaavutus	18
4.3	Työkoneen vetovastus	20
4.3.1	Yleinen vetovastuksen yhtälö	20
4.3.2	Yksinkertainen vetovastusmalli	21
4.4	Hinattavat ja nostolaitekiinnitteiset työkoneet	22
4.5	Voimanottoakselikäyttöiset työkoneet	23
5	Traktorin ja työkoneen energian tarve	24
5.1	Työsyvyys	24
5.2	Ajonopeus	26
5.3	Maalaji ja maan kosteus	27
5.4	Työkoneiden säädön vaikutus	27
5.5	Työkoneen kunnan vaikutus	28
5.6	Renkaiden vaikutus	28
5.6.1	Maan lujuus ja kantavuus	29
5.6.2	Renkaan koon vaikutus	30
5.6.3	Rengaspaine	32
6	Työkoneen koon valinta ja tehokas traktorin käyttö	34
6.1	Vetovoiman tarve	34
6.2	Moottoritehon tarve ja polttoainetalous	34
6.3	Lisäpainot	35
6.4	Työkoneen käytön laskentaohjelma	36
7	Polttoaineen kulutus kuljetuksissa ja siirtymissä	37
7.1	Yleistä	37
7.2	Polttoaineen laskennallinen kulutus	37
7.3	Mitattuja polttoaineen kulutuksia	39
7.4	Kuorman vaikutus kulutukseen	40
7.5	Yhteenvetoa kulutuksista	40

8	Viljelytapojen ja kuljettajan vaikutus	42
8.1	Ajallisuuskustannus	42
8.2	Konekapasiteetin valinta	42
8.3	Koneketjut ja vaihtoehtoiset tuotantotavat	44
8.4	Kuljettajan vaikutus polttoaineen kulutukseen	44

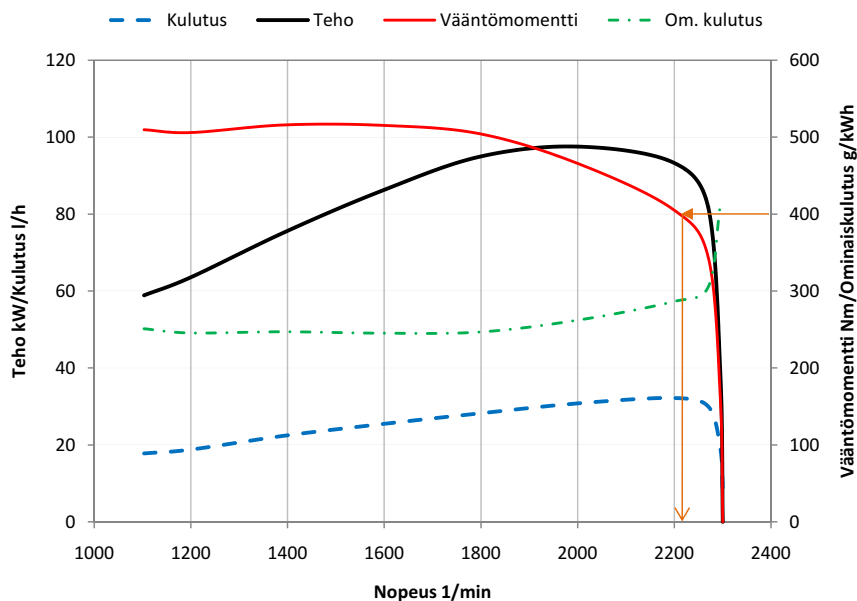
1 Traktorimoottorit

1.1 Traktorimoottorit

Aivan pienimpiä, lähinnä yksiakselisia puutarhatraktoreita lukuunottamatta traktoreiden moottorit ovat suora-ruiskutusdieselmoottoreita. Traktorikäytössä näiltä moottoreilta halutaan toisenlaisia ominaisuuksia kuin esim. ajoneuvokäytössä. Haluttuihin ominaisuuksiin vaikuttaa traktorityyppi ja etenkin voimansiirtotyyppi. Mekaanisessa voimansiirrossa moottorilta vaaditaan hyvää sitkeyttä. Hydrostaattisessa tai hydrodynaamisessa voimansiirrossa sitkeydellä ei ole vastaavaa merkitystä, koska voimansiirto kompensoi mahdollisen sitkeyden puutteen. Myös työn luonne vaikuttaa moottorin ominaisuuksiin. Traktorikäytölle on ominaista hyvän sitkeyden vaatimus, koska raskaan työn aikana (kyntö, äestys) vaihteen vaihtaminen vauhdissa ei ole mahdollista.

Moottorin vääntömomentti ratkaisee millä nopeudella mikin työ voidaan tehdä. Vääntömomentin täytyy olla yhtä suuri kuin kaikki vastukset yhteensä. Jos moottori ei pysty tuottamaan tarvittavaa momenttia, se joko sammuu tai sitten vaihteiston avulla on vaihdettava välitystä siten, että moottorilta tarvittava momentti pienenee. Maatalouskäytössä vetovastus on usein suuri ja ajonopeus alhainen. Jos maalaji muuttuu kovemmaksi tai traktori nousee rinnettä, vastusvoimat lisääntyvät. Ajovaihdetta ei voida vaihtaa, koska vedon katkaiseminen kytkintä käyttämällä pysäyttää traktorin heti ja huonontaa nopeasti työsaavutusta. Pellolla sama tilanne toistuu, jolloin jatkuva vaihteen vaihtaminen olisi rasittavaa. Moottorin ominaisuuksien on tällöin oltava sellaiset, että näistä lisävastuksista selvitään. Jos moottori ei pysty vastaamaan vastukseen, on käytettävä jatkuvasti pienempää ajovaihdetta. Tällöin moottorin koko tehoa ei pystytä hyödyntämään. Kun vastus kasvaa, moottorin kierrokset laskevat ja vääntömomentti kasvaa. Kasvavan momentin pitää kumota kasvanut vastus, jotta traktori selviytyisi. Kuvassa 1.1 on esimerkki traktorin teho- ja momenttikäyrästä sekä moottorin kulutuksesta. Moottorin pyörimisnopeus määräytyy työhön tarvittavan vastuksen mukaisesti.

Pikavaihteet ja portaattomat vaihteistot muuttavat tätä tarvetta, niissä välityssuhde voidaan muuttaa ajon aikana



Kuva 1.1: Esimerkki traktorimoottorin suoritusarvoista

Esimerkki

Työkone ja traktorin oma kulkuvastus vaativat 400 Nm vääntömomentin moottorilta valitulla ajovaihteella. Mikä on kuvan mukaisen traktorin moottorin pyörimisnopeus?

Kun katsotaan 400 Nm vääntömomentin kohdalta, niin se saavutetaan n 2220 1/min moottorin nopeudella. Tätä vastaava teho on n 90 kW (tehokäyrä). Vaihdetta vaihtamalla voidaan moottorilta tarvittavaa momenttia muuttaa. Jos valitaan liian suuri vaihde, moottori ei pysty aikaansaamaan tarvittavaa momenttia ja se sammuu. Jos taas käytetään hyvin pientä vaihetta moottorin kierrokset ovat korkeat ja käyttöteho on pieni. Tällöin ajonopeus ja työsaavutus ovat myös pienet.

1.2 Moottorin polttoainetalous

Maataloustraktoreiden tehot mitataan yleisesti voimanottoakselilta. Tällöin apulaitteiden ja osittain voimansiirron häviöitä on mukana. Tehon katsotaan olevan hyvin lähellä pyörien akseleilta saatavaa tehoa. Traktorin automatisoituminen ja helppo hallittavuus eli hydraulisten kytkinten ja hydraulisen ohjauksen käytön sekä erilaisten automaattisten toimintojen takia polttoainetalous ei välttämättä ole hyvä, koska nämä lisätoiminnot tarvitsevat oman osansa moottorin tehosta. Voimanottoakselilta mitattuna parhaimmat traktorit pääsevät suurimman tehon kohdalla luokkaa 220 g/kWh kulutuksiin. Keskimääräinen kulutus on luokkaa 250 - 270 g/kWh. Moottorin ominaiskulutusten erot ovat monasti pienet, usein vain 10 % luokkaa.

Tämä tehonmittauksessa mitattu ominaiskulutus ei kuitenkaan kerro käytännön työnteon kulutusta. Mittaus-tilanteessa apulaitteita ei tarvita ja ne toimivat pienellä tehontarpeella. Työssä apulaitteiden ottama teho kasvaa, jolloin polttoainetalous heikkenee. Jos moottorin sitkeys on huono, moottoria joudutaan käyttämään jatkuvasti hyötysuhteeltaan huonolla alueella. Lisäksi traktoria harvoin kuormitetaan täydellä teholla, keskimääräinen vuotuinen tehon käyttö onkin vain 20 - 30 % nimellistehosta ja keskimääräinen moottorin nopeus 1500 - 1700 r/min. Tällöin hyvä polttoainetalous osakuormilla on tärkeä. Traktorin kuljettaja voi vaikuttaa kulutukseen useita kymmeniä prosentteja eli paljon enemmän kuin mitä itse moottorin ominaisuudet vaikuttavat. Suurimpia vaikuttajia ovat ajotapa, työkoneen säätö ja kunnossa pito.

Moottorin ominaiskulutus ilmoittaa myös moottorin hyötysuhteen. Dieselöljyn ja kevyen polttoöljyn alempi lämpöarvo H on 42 - 43 MJ/kg ja usein käytetään arvoa 43 MJ/kg. Tämän mukaan, kun moottorin ominaiskulutus tiedetään, saadaan hyötysuhteeksi, yhtälö 1.1. Hyötysuhde on $\eta = \frac{P_m}{P_{pa}}$, jossa P_m on moottorin teho ja P_{pa} on polttoainetehto. Polttoainetehto saadaan polttoaineen kulutuksesta ja lämpöarvosta, $P_{pa} = q_m H$ (q_m on polttoaineen kulutus ja H sen alempi lämpöarvo). Moottorin teho voidaan laskea ominaiskulutuksen ja polttoaineen kulutuksen avulla, $P_m = \frac{q_m}{q_{om}}$. Kun nämä yhtälöt yhdistetään, saadaan $\eta = \frac{q_m}{q_{om} H} = \frac{1}{q_{om} \cdot H}$. Kun lämpöarvona käytetään 43 MJ/kg, saadaan yhtälö 1.1. Parhaiten moottoreiden hyötysuhteet ovat 50 % luokkaa. Traktoridieseleissä hyötysuhteet ovat normaalisti 30 - 35 %.

$$\eta = \frac{83,7}{b} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

η = Hyötysuhde

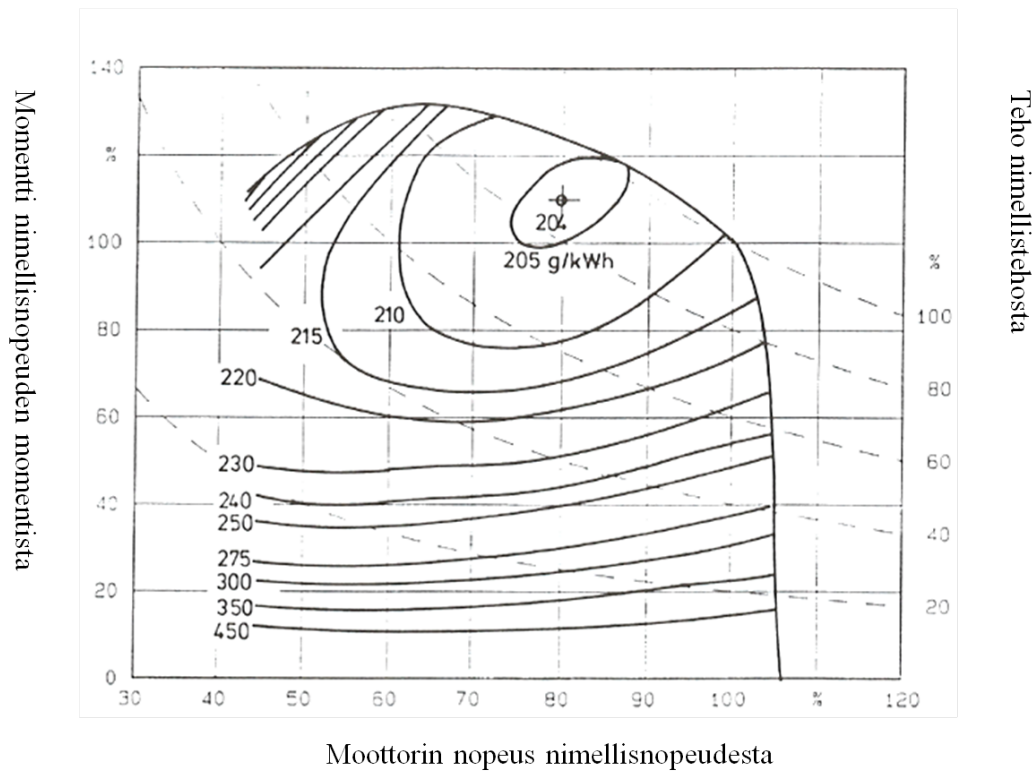
b = moottorin ominaiskulutus [$\frac{g}{kWh}$]

Esimerkki

Moottorin ominaiskulutus on 250 g/kWh, mikä on sen hyötysuhde?

$$\eta = \frac{83,7}{250} \cdot 100 = 33,5 \%$$

Traktorin moottorin koko toiminta-alueen ominaiskulutus kuvataan yleisesti ns simpukkakäyrästä, kuva 1.2. Simpukkakäyrästä ovat työläitä mitata ja sen takia niitä ei useinkaan ole saatavilla. Lisäksi niiden tulkinta on hankalaa, etenkin jos ajatellaan käytännön työskentelyä, koska pitäisi tietää moottorin vääntömomentti ja pyörimisnopeus, jotta nähtäisiin missä kohtaa käyrästä moottori toimii. Käyrän perustana on moottorin vääntömomenttikäyrä kierrosnopeuden funktiona. Tämä on mitattu käyttäen moottorin suurinta nopeutta (kaasuvipu täysin auki). Tällöin puhutaan rajamomenttikäyrästä ja kuvan käyrästä oikea sivu ja yläpuolen käyrä ovat rajamomenttikäyrää. Käyrästä varten tehdään lisäkokeita, joissa ei ole käytössä moottorin suurinta nopeutta, vaan käytetään hieman alhaisempia nopeuksia (kaasuvipu ei ole täysin auki, osakuoma). Tarpeeksi tiheillä mittauksilla saadaan riittävästi pisteitä simpukkakäyrästä piirtämiseen. Kun traktoria käytetään meidän pitäisi tietää moottorin nopeus ja joko vääntömomentti tai teho, jotta me pystytään lukemaan ominaiskulutus.



Kuva 1.2: Traktorimoottorin simpukkakäyrästä[OECD 1992]

Esimerkki

Kuvan 1.2 traktorin nimellisaopeus on 2300 1/min eli pyörimisaopeuden 100 % tarkoittaa 2300 1/min nopeutta. Milloin moottorin hyötysuhde on parhaimmillaan?

Kuvasta nähdään, että pienin kulutus 204 g/kWh saadaan kun moottorin nopeus on 80% nimellisaopeudesta eli 1840 1/min ja teho on 90 % nimellisaopeudesta. Traktorin nimellisaopeus on 60 kW, jolloin 54 kW tehoa käytettäessä saavutetaan edullisin toimintapiste. Jotta tähän päästäisiin moottorin nopeutta pitää hieman alentaa eli sen pitäisi olla 80% nimellisaopeudesta. Tämä tarkoittaa sitä, ettei ajeta täysin 'kaasu' auki, vaan 'kierroksia' on hieman vähennetty.

1.3 Moottorin päästöt

Traktorimoottorin säänneltyjä päästöjä ovat hiilivedyt (HC), häkä (CO), typen oksidit (NO_x) ja hiukkaset (PM). EU:n päästörajat on esitetty taulukossa 1.1

Taulukko 1.1: Traktorimoottorien päästörajat EU:ssa [Ahokas 1986]

Luokka	Teho kW	Voimaantulo	CO g/kWh	HC g/kWh	NO _x g/kWh	PM g/kWh
L	130 ≤ P ≤ 560	1.2011	3.5	0.19	2.0	0.025
M	75 ≤ P < 130	1.2012	5.0	0.19	3.3	0.025
N	37 ≤ P < 75	1.2012	5.0	0.19	3.3	0.025
P	19 ≤ P < 37	1.2013	5.0	4.7 (NO _x +HC)		0.025

Päästörajat annetaan ominaispäästöinä, mikä tarkoittaa että ne on suhteutettu tehtyyn työhön. Päästöarvot määritetään usean kuormituspisteen painotettuna keskiarvona ja ne kuvaavat keskimääräistä koneen vuotuista käyttöä. Jos päästöt halutaan laskea tarkemmin kunkin työn aikana, silloin olisi tunnettava moottorin kuormitus ja sitä vastaava päästöarvo. Päästöarvot ovat moottoreiden päästöarvoja eli ne mitataan pelkälle moottorille. Kun moottorin käyttöteho tunnetaan, päästön massavirta voidaan laskea yhtälöllä 1.2.

1 Traktorimoottorit

$$q_m = P \cdot q_e \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} q_m &= \text{päästön massavirta} \left[\frac{\text{g}}{\text{h}} \right] \\ P &= \text{moottorin teho} \text{ [kW]} \\ q_e &= \text{päästökomponentin ominaispäästö} \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \end{aligned}$$

Esimerkki

Moottorin teho on 45 kW ja hään (CO) ominaispäästö on $1 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$. Mikä on hään massavirtaus?

$$q_m = 45 \text{ kW} \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} = 45 \text{ g/h.}$$

Jos päästöt halutaan laskea tehtyä työtä kohti, niin maataloudessa tärkeä työsaavutuksen yksikkö on pinta-ala eli esimerkiksi ha. Samoin polttoaineen kulutuksessa ja päästöissä hehtaaria kohti käytettyä polttoainemäärää tai hehtaaria kohti tuotettua päästö määrää tarvitaan vertailtaessa esimerkiksi työmenetelmiä. Pinta-alaa kohti tuotettu päästö saadaan päästön massavirrasta yhtälön 1.3 avulla.

$$q_a = \frac{q_m}{v_a} \quad (1.3)$$

$$\begin{aligned} q_a &= \text{päästö pinta-alaa kohti} \left[\frac{\text{g}}{\text{ha}} \right] \\ v_a &= \text{työsaavutus} \left[\frac{\text{ha}}{\text{h}} \right] \\ q_m &= \text{päästön massavirta} \left[\frac{\text{g}}{\text{h}} \right] \end{aligned}$$

Esimerkki

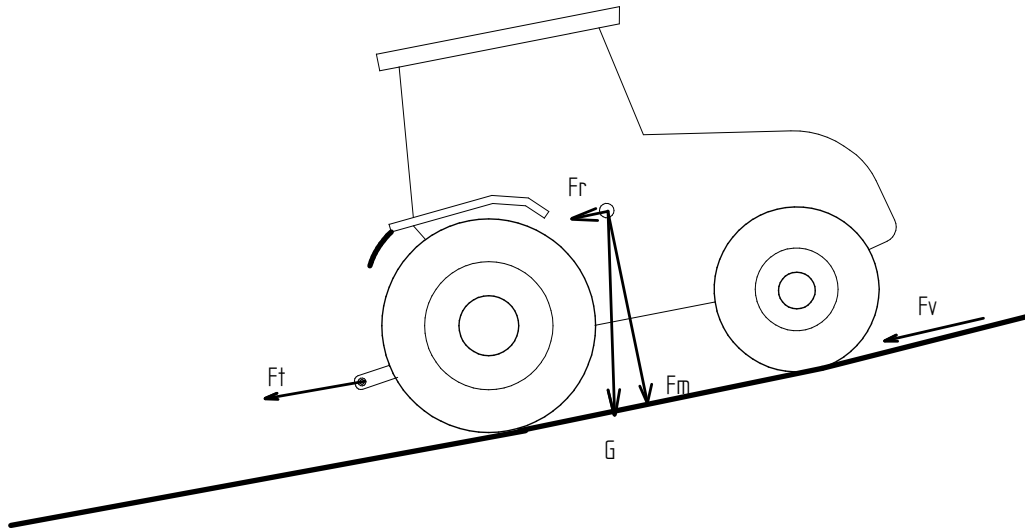
Edellisen esimerkin traktorilla äestetään ja työsaavutus on 3 ha/h. Mikä on päästö määrä hehtaaria kohden?

$$q_a = \frac{45 \text{ g} \cdot \text{h}}{\text{h} \cdot 3 \text{ ha}} = 15 \text{ g/ha.}$$

1.4 Polttoaineet

Dieselöljyn ominaisuudet vaihtelevat meillä kesä, talvi ja arktisen laadun mukaan. Merkittävämpänä muutoksena näissä on samepiste. Kylmässä dieselöljyn parafiinit kiteytyvät ja lämpötilaa, jossa kiteytyminen alkaa kutsutaan samepisteeksi. Parafiinien kiteytyessä polttoainesuodattimien paperiin suodattimet tukkeutuvat täysin. Talvilaatujen viskositeetti ja tiheys ovat myös kesälaatua pienemmät. Dieselpolttoaineiden syttyvyys määritetään setaaniluvulla. Setaaniluvun määrittäminen perustuu standardin mukaiseen koemoottoriin. Dieselpolttoaineissa, samalla lailla kuin bensiinissä, käytetään myös lisäaineita. Näitä ovat esim. hapettumisenestoaineet, korroosion estoaineet ja syttymisen apuaineet.

Energiariisi 1970-luvulla herätti uudestaan mielenkiinnon korvaaviin polttoaineisiin. Mitään uusia polttoaineita ei sinänsä ole kokeiltu, lähinnä kokeiltiin uutta tekniikkaa ja materiaalia jo tunnettujen vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön. Nykyiset moottorit on suunniteltu hyvien polttoaineiden käyttöön ja korvaavia polttoaineita käytettäessä moottoreiden toimintavarmuus heikkenee ja kestoikä lyhenee. Kokeiltuja korvaavia polttoaineita ovat olleet mm. puukaasu, kasviöljyt, kiinteät polttoaineet (pölyt), alkoholit ja vety. Korvaavien polttoaineiden ongelmana on, etteivät niiden ominaisuudet vastaa nykyisten fossiilisten polttoaineiden ominaisuuksia. Ongelmia on niiden pakkaskestävyydessä, juoksevuuksessa, energiatihedessä ja käytettävyydessä. EU on asettanut kuljetuksessa tavoitteen, jonka mukaan vuoteen 2020 mennessä biopolttoaineiden osuuden pitäisi olla vähintään 10%. Biopolttoaineille on myös asetettu seuraavat kestävyyskriteerit. Biopolttoaineiden pitää aikaansaada vähintään 35% kasvihuonekaasuvähennys. 1.1.2017 lähtien säästön pitää olla vähintään 50% ja 1.1.2018 lähtien 1.1.2017 jälkeen käyttöön otetuissa tuotantolaitoksissa tuotetun biopolttoaineen pitää aikaansaada vähintään 60% säästö. [Directive 2009/28/EC]



Kuva 1.3: Traktori

1.5 Moottorin kuormittuminen

Kuvassa 1.3 on esitetty traktori vetotyössä rinteessä. Työkoneen vetämiseen tarvittava vetovoima on F_t , traktorin omaan liikkumiseen tarvittava voima on F_v . Rinteestä johtuen traktorin paino voidaan jakaa kahteen komponenttiin, rinteeseen suuntaiseen ja kohtisuoraan rinteeseen olevaan. Traktorin moottorin on tuotettava riittävä vääntömomentti, jotta renkaiden ja maan välille muodostuu riittävä kehävoima, joka kuljettaa sitä eteenpäin. Traktorin oma kulkuvastus ilmoitetaan vierimisvastuskertoimen avulla, yhtälö 1.4. Kulkuvastus riippuu suurimmaksi osaksi alustasta, jossa liikutaan. Taulukossa 1.2 on esitetty tyypillisiä vierimisvastuskertoimien arvoja.

$$F_v = f \cdot G \quad (1.4)$$

F_v = kulkuvastus, vierimisvastus

f = vierimisvastuskerroin

G = traktorin paino, $G = g \cdot m$

Esimerkki

Traktori, jonka massa on 5400 kg liikkuu pellolla. Kuinka suuri voima ja teho tähän tarvitaan, kun ajonopeus on 8 km/h?

Oletetaan pellon vierimisvastuskertoimeksi $f=0,1$. Traktorin paino on $5400 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 53,0 \text{ kN}$. Vierimisvastusvoima on $F_v = 0,1 \cdot 53,0 \text{ kN} = 5,3 \text{ kN}$. Tarvittava teho $P = F \cdot v = 5,3 \text{ kN} \cdot \frac{8}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 11,8 \text{ kW}$.

Alusta	Vierimisvastuskerroin
Asfaltti	0,02
Soratie	0,04 - 0,05
Normaali pelto	0,07 - 0,10
Pehmyt pelto	0,1 - 0,3

Taulukko 1.2: Tyypillisiä vierimisvastuskertoimien arvoja

Rinnevastus on seurausta ylöspäin nousemisen aiheuttavasta vastuksesta. Maan vetovoiman vaikutus traktoriin voidaan jakaa kahteen komponenttiin, rinteeseen vastaan kohtisuoraan komponenttiin ja rinteeseen suuntaiseen komponenttiin, yhtälöt 1.5 ja 1.6.

$$F_r = G \cdot \sin \alpha \quad (1.5)$$

1 Traktorimoottorit

$$F_m = G \cdot \cos\alpha \quad (1.6)$$

- F_r = rinnevastus
- F_m = rinnepaino
- G = traktorin paino, $G=g \cdot m$
- α = rinnekulma

Esimerkki

Edellisen esimerkin traktori nousee 5° rinnettä, miten tilanne muuttuu?

Rinnevastus $F_r = 53,0 \text{ kN} \cdot \sin 5^\circ = 4,6 \text{ kN}$. Vierimisvastus muuttuu hieman, koska traktorin painon koh-tisuoraan maata oleva komponentti muuttuu, $F_m = 53,0 \text{ kN} \cdot \cos 5^\circ = 52,8 \text{ kN}$, josta seuraa, että $F_v = 0,1 \cdot 52,8 \text{ kN} \approx 5,3 \text{ kN}$. Kokonaisvastusvoima on nyt $9,9 \text{ kN}$ ja tehontarve on $P = 9,9 \text{ kN} \cdot \frac{8}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 22 \text{ kW}$. Edelliseen esimerkkiin verrattuna traktorin tehontarve lähes kaksinkertaistui.

Traktorin renkaiden on aikaansaattava tarvittava voima, jonka suuruus määräytyy traktorin oman kulkuun tarvittavista vastusvoimista ja työkoneen vetämiseen tarvittavasta voimasta. Toisaalta moottorin on aikaansaa-tava riittävä momentti, jonka perusteella tarvittavat voimat syntyvät. Moottorilta tarvittava momentti saadaan yhtälön 1.7 mukaisesti.

$$M = i \cdot M_v \quad (1.7)$$

- M = moottorin vääntömomentti
- i = välityssuhde
- M_v = vastusvoimien voittamiseen tarvittava momentti

Esimerkki

Edellisten esimerkkien traktori vetää äestä, joka tarvitsee 10 kN vetovoiman. Kuinka suuri on traktorin tehontarve ja kuinka suuri vääntömomentti moottorilta vaaditaan, jos traktorin moottorin tehokäyrä on kuvan 1.1 mukainen?

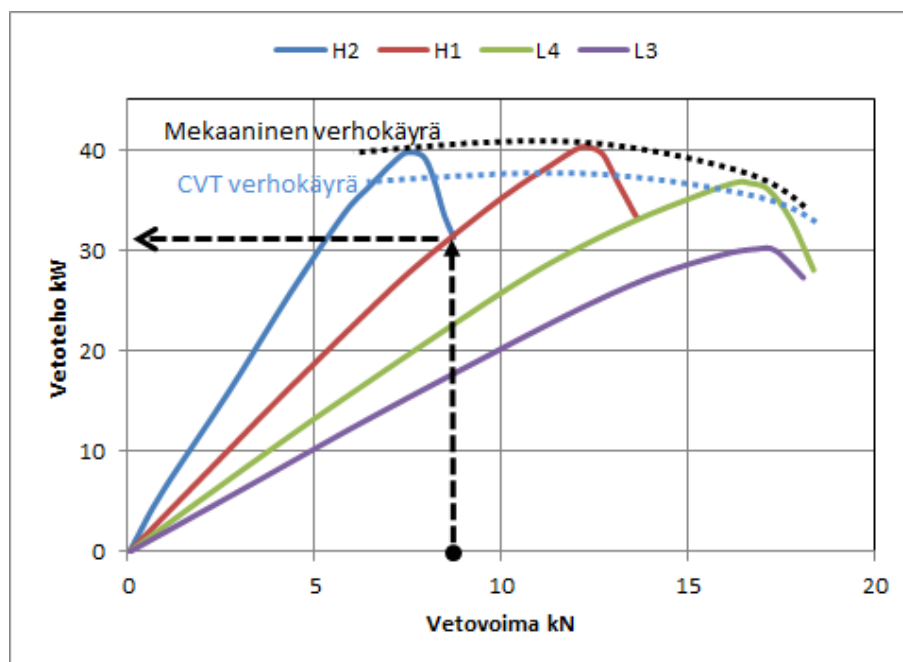
Kokonaisvastusvoima on nyt $9,9 \text{ kN} + 10 \text{ kN} = 19,9 \text{ kN}$ (työtä tehdään rinteessä). Tarvittava teho on $19,9 \text{ kN} \cdot \frac{8}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 44,2 \text{ kW}$. Lasketaan momentti takavetoiselle traktorille, tarvittava taka-akselin vääntömomentti on säteeltään $0,8 \text{ m}$ renkaille, $M = F \cdot r = 19,9 \text{ kN} \cdot 0,8 \text{ m} = 15,9 \text{ kNm}$. Moottorin nimellisteholla vääntö-momentti on 300 Nm (kuva 1.1). Jotta työ onnistuisi, tarvitaan välille vaihde, joka muuntaa momentin moottorille sopivaksi. Tässä tapauksessa kokonaisvälityssuhteen pitää olla $i = \frac{15900}{300} = 53$. Riippuu trakto-rin voimansiirrosta onko siellä saatavilla juuri tämän suuruinen välitys. Laskettu välityssuhde tarkoittaa sitä, että moottorin kierrähtäessä 53 kierrosta pyörä pyörähtää yhden kierroksen. Jos moottorin nopeus on 2200 r/min , pyörän nopeus on $41,5 \text{ r/min}$. Renkaan kehä on $\pi \cdot r = \pi \cdot 0,8 \text{ m} = 2,51 \text{ m}$. Yhden minuutin aikana rengas etenee $41,5 \cdot 2,51 = 104 \text{ m/min} = 6,3 \text{ km/h}$.

Kyse oli takavetoisesta traktorista, momentti ja kehävoima jakaantuu tällöin kahdelle pyörälle. Nelive-toisessa traktorissa momentti ja kehävoima jakaantuvat neljälle pyörälle. Koska maatalustraktorin etu- ja takapyörien välillä ei ole tasauspyörästöä vaan ne ovat kiinteästi toisiinsa kytketyt, kokonaismomentti jakaantuu neljälle pyörälle pyöräkuormien ja renkaan ominaisuuksien mukaan.

2 Traktorin voimansiirto

Vaiheistolla on kaksi tehtävää. Ensinnäkin sen avulla valitaan työhön sopiva ajonopeus, toisaalta se mahdollistaa raskaissa vetotöissä moottorin koko tehon hyödyntämisen. Yhtälön 1.7 avulla voidaan laskea moottorin vääntömomentti, kun vastusvoimat tiedetään. Koska traktoria käytetään moniin erilaisiin töihin, traktoreiden vaihemäärät ovat suuret. Optimiratkaisuna olisi portaaton vaihteisto, jolloin meillä olisi kaikissa tilanteissa oikea välitys käytettävissä. Traktorin voimansiirto ja lähinnä vaihteisto on muuttunut viime vuosina perusteellisesti. Aiemmin traktorin vaihteisto oli pääasiassa mekaaninen ja se oli mahdollista varustaa kaksi- tai moniportaisella pikavaihteella. Portaattomat vaihteistot tulivat aluksi hydrostaattisina ja nykyään planeettapyörästövaihteina. Hydrostaattisen voimansiirron ongelmana on sen heikko hyötysuhde raskaassa vetotyössä. Sen takia sen soveltuvuus maataloustraktoriin on huono. Metsä- ja taajamatraktoreissa hydrostaattinen voimansiirto on yleistynyt hyvän hallittavuuden ja kevyiden standardisoitujen komponenttien takia. Maataloustraktoreissa portaattoman voimansiirron ratkaisuna on ollut planeettapyörästön hyödyntäminen. Kun sen kehäpyörän nopeutta muutetaan hydrauliiikan avulla, saadaan portaattomasti eri välityssuhteita. Planeettapyörästövaihteistoissa moottoriteho jaetaan silloin mekaanisen ja hydrostaattisen siirron väliltä. Silloin kun voima siirtyy pääosin mekaanisesti, hyötysuhde on selvästi parempi kuin silloin, kun myös voimaa siirtyy myös hydrostaattisesti. Näistä vaihteistoista käytetään yleisesti termiä CVT-vaihteisto (Continuous Variable Transmission).

Kuvassa 2.1 on periaatekuva traktorin vetotehosta. Ajovaihteina on ollut vaihteet L3 - H2. Sekä H1 että H2 vaihteilla on saavutettu n 40 kW vetoteho. L3 ja L4 vaihteilla vetoteho on jäänyt pienemmäksi sen takia, koska pyörät ovat lähteneet luistoon eli renkaiden pito on loppunut. Jos työssä tarvitaan 9 kN vetovoima, kuvasta nähdään, että joudutaan käyttämään joko vaihdetta H2 tai H1. Kumpaa tahansa käytetään teho jää runsaaseen 30 kW. Jos traktorissa olisi portaaton mekaaninen vaihteisto, voisimme valita mekaaniselta verhoikäyrältä vaihteen ja saada koko tehon käyttöön. Kuvassa 2.1 on piirretty myös esimerkki siitä, miten CVT-vaihteisto muuttaisi tilannetta (CVT- verhoikäyrä). Siinä on hieman enemmän tehohäviöitä kuin mekaanisessa vaihteistossa, mutta voimansiirtoon ei jää aukkokohtia ja koko moottoriteho on aina hyödynnettävissä.



Kuva 2.1: Esimerkki traktorin vetotehosta

Portaaton voimansiirto mahdollistaa paremman traktorin moottorin ja voimansiirron ohjauksen. Traktoriin voidaan ohjelmoida useita erilaisia toimintatapoja, joista käyttäjä valitsee työtehtävään sopivan. Yhtenä tapa-

2 Traktorin voimansiirto

na on taloudellinen ajotapa. Kuljettaja valitsee ajonopeuden ja vaihteiston välitys ja moottorin toimintapiste säätyy niin, että moottori toimii taloudellisella tavalla. Howard et al [Howard et al 2011] vertasivat CVT ja mekaanista vaihteistoa vetokokeilla. Kun mekaanisen vaihteiston traktoria käytettiin täysillä kierroksilla, se oli CVT-vaihteistoa taloudellisempi silloin, kun vetoteho oli alle 76 - 81 % suurimmasta vetotehosta. Kun mekaanista traktoria ajettiin niin, että kevyillä kuormilla vaihdettiin suurempi vaihde ja pudotettiin moottorin kierroksia, se oli CVT-vaihteistoa taloudellisempi, kun sen kuormitus oli enemmän kuin 37 - 52% suurimmasta vetotehosta. CVT-vaihteiston avulla on tämän mukaan mahdollista säästää polttoainetta silloin kun traktoria ei kuormiteta täysin. Toisaalta traktorin ohjaus valitsee automaattisesti sopivan välityksen ja moottorin nopeuden ilman että kuljettajan tarvitsee huolehtia asiasta.

3 Traktorin vetovoima ja vetoteho

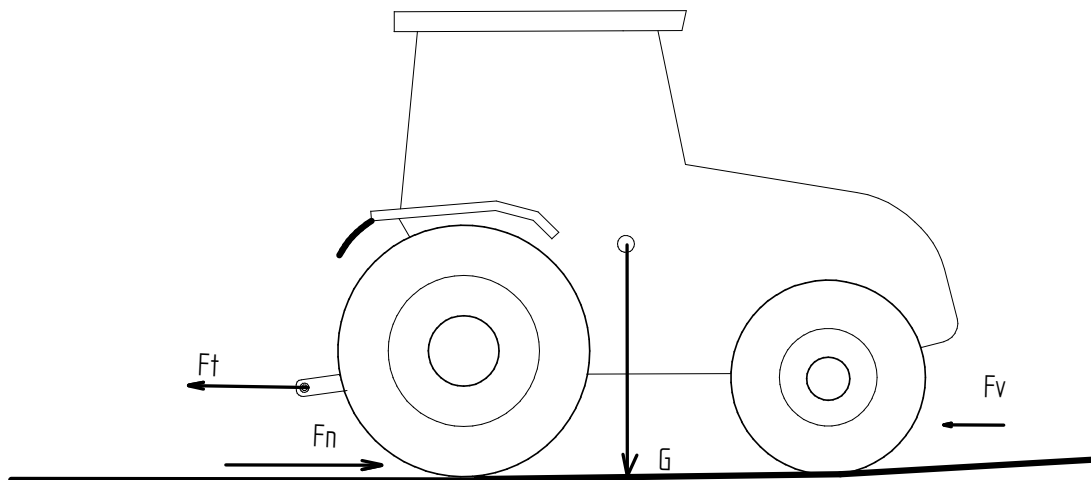
Traktori on maatalouden perustyökone, se ei pysty pelkästään tekemään työtä vaan traktoriin kiinnitetään erilaisia työkoneita työtarpeen mukaan. Kun kyseessä on hinattava työkone sen vetämiseen tarvitaan riittävä vetovoima, jotta se saadaan liikkeelle. Jos traktorin vetovoima ei ole riittävä, sen pyörät luistavat ja joko työ etenee hitaasti tai pahimmassa tapauksessa työkonetta ei saada liikkeelle. Pyörien luisto, jos se on liiallista, aiheuttaa urien syntymisen peltoon ja sitä kautta maan rakenne kärsii. Kun työkone on saatu liikkeelle, moottorin teho määrää sen millä nopeudella liikutaan. Jokaisella työllä on sille sopiva nopeus ja jos moottoriteho on liian pieni, tätä nopeutta ei saavuteta. Jos teho taas on suurempi kuin tarvittava teho, silloin käytetään vain osa moottoritehoa hyödyksi.

3.1 Traktorin vetovoima

Vetäminen on usein maataloustraktorin tärkein tehtävä. Tähän voi liittyä myös muita toimintoja, kuten työkonen kannattaminen tai voimansiirto työkoneeseen. Työn onnistumisen kannalta ratkaisevana asiana on riittävä vetovoima ja riittävä vetoteho. Hinattava työkone kiinnitetään traktorin vetokoukkuun, vetotankoon tai vetovarsiin. Tilannetta voidaan tarkastella kuvan 3.1 mukaan. Voima- ja momenttitasapainoista ratkaistaan vetovoima. Kun tarkastellaan alustan suuntaisia voimia, saadaan yhtälön 3.1 mukainen tasapaino.

$$F_k - F_v - F_t - F_r = 0 \quad (3.1)$$

- F_k kehävoima (kitkavoima), joka syntyy renkaan ja maan välillä moottorin avulla
- F_v vierimisvastusvoima, joka syntyy renkaiden ja maan muodonmuutoksesta
- F_t työkonen vetämiseen tarvittava voima
- F_r rinnevastus



Kuva 3.1: Hinattavan työkonteen vedossa vaikuttavat voimat

Yhtälön 3.1 kehävoima saadaan yhtälön 3.2 avulla kun kyseessä on nelipyörävetoinen traktori (koko traktorin massa on vetävien pyörien päällä). Kehävoiman ja akselikuorman suhdetta sanotaan kehävoimakertoimeksi. Se ilmoittaa kuinka suuri kehävoima on traktorin massa verrattuna.

$$F_k = \mu G \quad (3.2)$$

3 Traktorin vetovoima ja vetoteho

- F_k kehävoima
 μ kehävoimakerroin (kitkakerroin)
 G traktorin massa

Traktorin omaan liikkumiseen tarvittava voima saadaan yhtälön 1.4 avulla. Traktorin omaan liikkumiseen tarvittavaa voimaa kutsutaan vierimisvastusvoimaksi. Sen ja traktorin massan suhdetta kutsutaan vierimisvastuskertoimeksi.

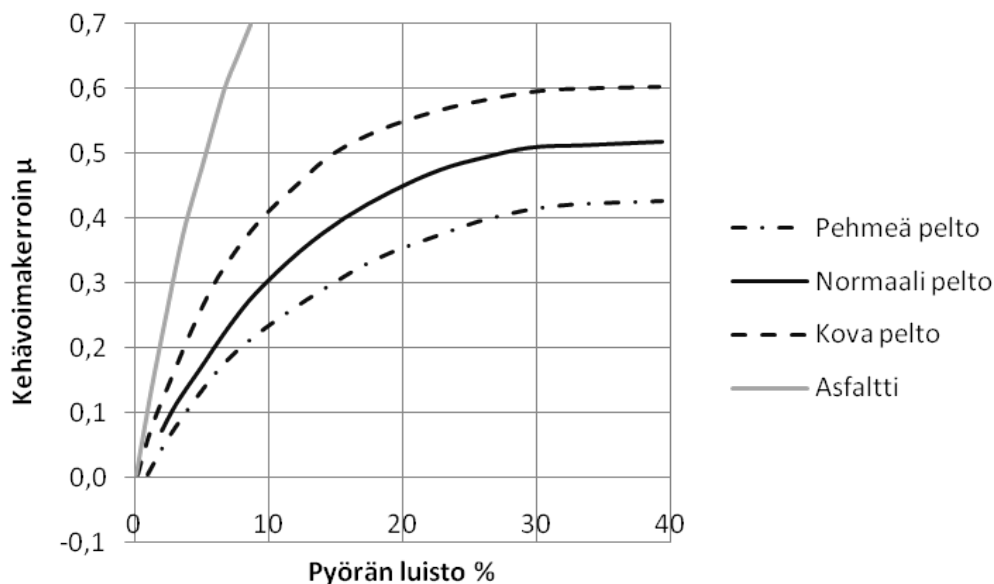
Nelipyörävetoiselle traktorille saadaan yhtälön 3.3 mukainen vetovoima.

$$F_t = G \cdot (\mu - f) \quad (3.3)$$

Kun liikutaan rinteessä, silloin täytyy ottaa huomioon rinteän aiheuttama lisävastus, yhtälö 1.5. Kun tämä otetaan huomioon, saadaan traktorin vetovoimaksi rinteessä yhtälö 3.4.

$$F_t = G \cdot (\mu - f - \sin\alpha) \quad (3.4)$$

Maastossa pehmeällä alustalla liikuttaessa renkaiden rivat uppoavat maahan ja pyrkivät kuorimaan maan pintaa. Pyörien pito (kehävoima) perustuu tähän kuorimiseen, renkaat käyttävät hyväksi maan leikkauslujuutta. Mitä kovempi ja pitävämpi maa on sitä lujempi se on ja sitä parempi pito aikaan saadaan. Kehävoimakerroin riippuu maan lujudesta mutta myös pyörien luistosta, kuva 3.2. Kuvan käyrät edustavat keskimääräisiä arvoja ja renkaiden ominaisuudet vaikuttavat niihin merkittävästi.



Kuva 3.2: Tyypillisiä kehävoimakertoimia eri olosuhteissa. Tyypillisiä vierimisvastuskertoimia on taulukossa 1.2. [Renius K.T. 1999]

Esimerkki

Traktorin massa on 4500 kg. Jotta peltoon ei jäisi luistouria, pyörien luisto ei saa ylittää 20 %. Kuinka suuri vetovoima ja vetoteho saadaan aikaiseksi kuivalla savella kun ajonopeus on 9 km/h?

Katsotaan kuvasta 3.2 20% kohdalta kehävoimakerroin $\mu \approx 0,45$ ja normaalin pellon vierimisvastuskerroin $f = 0,1$. $F_t = (0,45 - 0,1) \cdot 4500 \cdot 9,81 = 15,5 \text{ kN}$ (yhtälö 3.3). Ajonopeus pitää muuttaa laskuja varten yksikköön m/s, yhdessä kilometrissä on 1000 m ja tunnissa on 3600 s, $v = 9 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 2,5 \text{ m/s}$. Vetoteho $P = F_t \cdot v = 15,5 \text{ kN} \cdot 2,5 \text{ m/s} = 38,8 \text{ kW}$. Traktorin vierimisvastuskerroin oli 0,1, jolloin traktorin omaan kulkemiseen tarvitaan $0,1 \cdot 4500 \cdot 9,81 = 4,4 \text{ kN}$ voima ja $P = 4,4 \cdot 2,5 \text{ m/s} = 11,0 \text{ kW}$. Tämän lisäksi tehoa hukkaantuu myös pyörien luistoon. Normaalisti tarvitaan 1,5 - 2 kertainen moottoriteho vetotehoon verrattuna. Tässä tapauksessa moottoriteho olisi 58 - 78 kW.

Kuten kuvasta 3.2 nähdään, kehävoimakerroin riippuu pyörien luistosta. Ilman luistoa ei olisi kehävoimaa, luisto on siten välttämätön paha. Sitä tarvitaan, jotta saataisiin vetovoima aikaiseksi, mutta toisaalta luisto on suoraan häviötehoa. Pyörien ja telojen pito perustuu siihen, että pehmeöllä maalla renkaan rivat uppoavat maahan ja rengas yrittää leikata ripojen väliin jäävän maakannaksen irti. Leikkausvoiman suuruus riippuu siirtymästä eli kehävoimakerroin riippuu luistosta. Luisto aikaansaa siirtymän. Kuvasta 3.2 nähdään, että myös kovalla alustalla kehävoimakerroin riippuu luistosta. Tuossa tapauksessa renkaan luisto aiheuttaa maan ja renkaan välille liukukitkaa ja sen voimakkuus riippuu liukunopeudesta (luistosta). Pyörän luistaessa sen kehänopeus on ajonopeutta suurempi. Luisto määritelläänkin kehänopeuden ja ajonopeuden eron avulla, yhtälö 3.5. Luisto ilmoitetaan tavanomaisesti prosentteina eli silloin yhtälön tulos kerrotaan sadalla.

$$s = \frac{v_k - v_a}{v_k} \quad (3.5)$$

s luisto
 v_k renkaan kehänopeus
 v_a ajonopeus

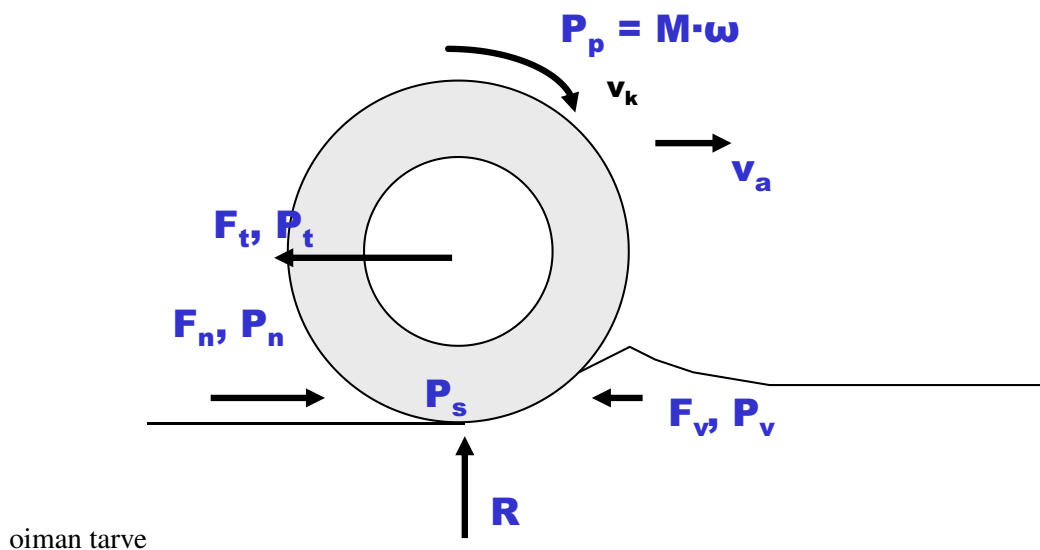
Traktorin ajonopeus on 8 km/h ja luisto on 12%. Mikä on renkaiden kehänopeus?
 Yhtälöstä 3.5 ratkaistaan kehänopeus, $v_k = \frac{v_a}{1-s} = \frac{8}{1-0,12} \frac{km}{h} = 9,1 \text{ km/h}$.

3.2 Traktorin vetohyötysuhde

Kun tarkastellaan vetävää rengasta, kuva 3.3, niin voidaan tehdä yhtälön 3.7 mukainen tehotarkastelu, jossa akselilta pyörälle tuleva teho jakaantuu työkoneen vetämiseen P_a , omaan liikkumiseen P_v ja P_r ja pyörien luistoon P_s . Näistä varsinainen hyödyllinen teho on työkoneen vetäminen eli vetoteho P_t .

$$P_p = P_v + P_r + P_t + P_s \quad (3.6)$$

P_p pyörälle tuleva teho
 P_v vierimisvastusteho
 P_t vetoteho
 P_r rinteeseen nousuun tarvittava teho
 P_s luistoon kuluva teho



Kuva 3.3: Pyörään vaikuttavat voimat ja momentit.

3 Traktorin vetovoima ja vetoteho

Pyörälle tuleva akseliteho P_p saadaan akselilla vallitsevasta vääntömomentista ja akselin nopeudesta, yhtälö 3.7. Vetoteho P_t on yhtälön 3.8 mukainen. Työkoneella on vetovastus ja traktorin on aikaan saatava tätä vastaava vetovoima, jotta työnteko onnistuu. Vierimisvastukseen P_v tarvittava teho saadaan vierimisvastusvoimasta F_v ja ajonopeudesta v_a , yhtälö 3.9. Luistoteho P_s saadaan luistonopeudesta ja kehävoimasta F_k , yhtälö 3.10. Rengas hukkaa luistoon tehon, joka syntyy renkaan alla luistonopeuden ja renkaaseen vaikuttavan kehävoiman tulona. Luistonopeus on kehänopeuden ja ajonopeuden erotus.

$$P = M\omega = M \cdot n \frac{\pi}{30} = M \cdot n \cdot 0,105 \quad (3.7)$$

P teho
M vääntömomentti
 ω kulmanopeus rad/s
n pyörimisnopeus 1/min

$$P_t = F_t v_a \quad (3.8)$$

P_t työkoneen vetoteho
 F_t työkoneen vetovastus
 v_a ajonopeus

$$P_v = F_v v_a \quad (3.9)$$

P_v traktorin vierimisvastusteho
 F_v traktorin vierimisvastus
 v_a ajonopeus

$$P_s = F_k v_s = F_k v_a \frac{s}{1-s} \quad (3.10)$$

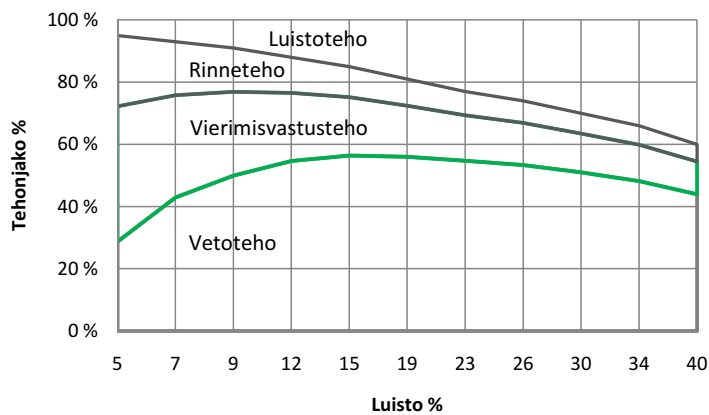
P_s luistoteho
 F_k kehävoima
 v_s luistonopeus

Esimerkki

Kehävoimakerroin muuttuu luiston mukana kuvan 3.2 normaali pelto kohdan mukaisesti. Miten tehonjakautuma muuttuu luiston muuttuessa? Vierismisvastuskerroin on 0,1, traktorin massa on 4500 kg ja ajonopeus on kaikissa tapauksissa 9 km/h.

Lasketaan esimerkki 15% luiston kohdalla. Kehävoimakerroin on kuvan 3.2 mukaisesti 0,4. Traktorin vetovoima on yhtälön 3.3 mukaisesti $F_t = (0,4 - 0,1) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 4500 \text{ kg} = 13,3 \text{ kN}$ ja vetoteho $P_t = 13,3 \text{ kN} \cdot \frac{9}{3,6} \text{ m/s} = 33,2 \text{ kW}$. Kulkuvastus $F_v = 0,1 \cdot 4500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 4,4 \text{ kN}$ ja kulkuteho on $P_v = 4,4 \text{ kN} \cdot \frac{9}{3,6} \text{ m/s} = 11,0 \text{ kW}$. Rinteen nousuun tarvitaan $F_r = 4500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \sin(3) = 2,3 \text{ kN}$ ja rintetehto on $2,3 \text{ kN} \cdot \frac{9}{3,6} \text{ m/s} = 5,8 \text{ kW}$. Jos traktori kulkisi alamäkeen, tämä voima ja teho olisi negatiivinen eli traktori kulkisi kevyemmin, rinne auttaisi alaspäin menoa. Traktorin renkaiden kehänopeus saadaan ajonopeudesta ja luistosta $v_n = 9 \cdot \frac{0,15}{1-0,15} = 10,6 \text{ km/h}$. Luistonopeus on $10,6 - 9,0 = 1,6 \text{ km/h}$. Kehävoima $F_n = \mu G = 0,4 \cdot 4500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 20,0 \text{ kN}$ ja luistoteho on $P_s = \frac{1,6}{3,6} \text{ m/s} \cdot 20,0 \text{ kN} = 8,8 \text{ kW}$.

Alla olevaan kuvaan on laskettu tehon jakautuminen eri pyörien luiston arvoilla. Nähdään, että luiston kasvaessa siihen kuluva teho kasvaa voimakkaasti.

Traktorin vetotehon jakauma

Vetotehon osuus on suurimmillaan 10 - 20 % luiston kohdalla.

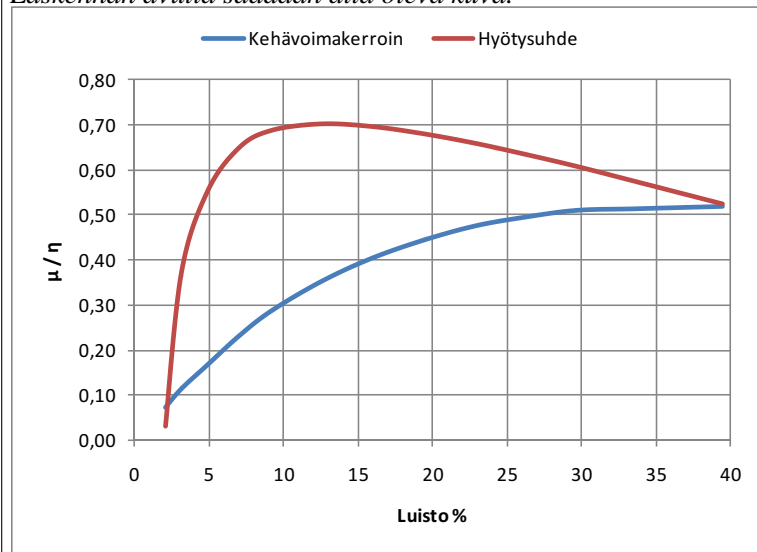
Traktorille voidaan johtaa yhtälö, joka suoraan ilmaisee vetohyötysuhteen. Vetohyötysuhde näyttää kuinka suuren osan pyörän akselilta tulevasta tehosta saamme muutettua työkonene vetämiseen, yhtälö 3.11.

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} = \frac{F_r v_a}{M \omega} = \frac{F_r v_a}{F_k v_k} = \frac{(\mu - f) \cdot G \cdot v_a \cdot (1 - s)}{\mu \cdot G \cdot v_a} = (1 - s) \left(1 - \frac{f}{\mu}\right) \quad (3.11)$$

Esimerkki

Laske kuvan 3.2 normaali pelto arvojen avulla traktorin vetohyötysuhde.

Laskennan avulla saadaan alla oleva kuva.



3.3 Vetoteho ja moottoriteho

Kun traktori vetää työkonetta, sen vetämiseen tarvittava vetoteho saadaan yhtälöstä 3.8. Tarvittava akseliteho (moottoriteho) voidaan sen jälkeen laskea yhtälön 3.11 avulla. Tästä laskennasta puuttuu rinteiden vaikutus. Sen mukaan ajetaanko ylä- tai alamäkeä tarvitaan hieman enemmän tai vähemmän tehoa. Normaalisti tarvitaan 1,5 - 2 kertainen moottoriteho vetotehoon verrattuna, yhtälö .

$$P_m = k \cdot P_t \quad (3.12)$$

P_m traktorin moottoriteho

P_t vetoteho

k kerroin (1,5 - 2)

Mistä tuo kerroin k sitten tulee? Edellä käsitelimme vetohyötysuhdetta ja saimme sille parhaimmillaan 60 - 70 % arvoja. Vetohyötysuhde on vetotehon ja akselitehon suhde, $\eta = \frac{P_t}{P_a} \Rightarrow P_a = \frac{P_t}{\eta} = \frac{1}{\eta} P_t$. Jos rinnevastusta ei oteta huomioon, silloin k on vetohyötysuhteen käänteisluku.

Esimerkki

Äkeen vetovastus on 14 kN ja äestysnopeus on 9 km/h. Kuinka suuri moottoriteho tähän tarvitaan?

$P_t = 14 \text{ kN} \cdot \frac{9}{3,6} \text{ m/s} = 35 \text{ kW}$. Jos vetohyötysuhde on parhaimmillaan 70 % (edellisen esimerkin kuva),

$P_a = \frac{1}{\eta} P_t = \frac{1}{0,7} \cdot 35 = 1,4 \cdot 35 = 49 \text{ kW}$. Tässä tapauksessa moottoritehon tarve oli 1,4 kertainen vetotehoon verrattuna.

4 Työkoneet

4.1 Teoreettinen työsaavutus

Työsaavutuksella tarkoitetaan kuinka monta hehtaaria tunnissa saadaan tehtyä tai sadonkorjuussa myös, kun satotaso otetaan huomioon, kuinka monta tonnia tunnissa korjataan. Kun työkoneita käytetään pellolla ja sen työleveys on b , käsitelty ala on $A = b \cdot s$, s on työn aikana kuljettu matka. Kun ajonopeus on $v = \frac{s}{t}$, saadaan että kuljettu matka on, $s = v \cdot t$. Työsaavutus ilmoitetaan aikayksikössä tehtynä työnä, perusyksikköjen mukaan se olisi m^2/s , mutta käytännössä puhutaan ha/h. Kun nämä yhdistetään, saadaan yhtälö 4.1. Kun halutaan laskea suoraan ha/h ja ajonopeus ilmoitetaan muodossa km/h, saadaan yhtälö 4.2.

$$q_t = \frac{A}{t} = \frac{bs}{t} = \frac{bvt}{t} = bv \quad (4.1)$$

$$q_t = \frac{bv}{10} \quad (4.2)$$

q_t työsaavutus [ha/h]
 b työkoneen työleveys [m]
 v ajonopeus [km/h]

Esimerkki

Peltoa äestetään 4,5 m leveällä äkeellä ja ajonopeus on 9,5 km/h. Mikä on työsaavutus?

$$q_t = \frac{4,5 \cdot 9,5}{10} = 4,3 \text{ ha/h}$$

Kun kyseessä on satoa käsittelevä työkone, kuten niittosilppuri tai leikkuupuimuri, koneen läpi kulkeva massavirta voidaan laskea työsaavutuksen ja satotason avulla. Kun sato on s ja työsaavutus on q_t , saadaan koneen läpi menevä massavirta yhtälö 4.3 mukaisesti.

$$q_m = q_t s \quad (4.3)$$

Leikkuupuimurin työleveys on 4 m ja ajonopeus 4 km/h. Jyväsato on 3500 kg/ha. Minkälainen massavirta kulkee puimurin läpi?

Jyväsadon lisäksi koneikon läpi kulkee myös oljet. Oletetaan, että olkisato on 60% jyväsadosta, jolloin koneikon läpi kulkee yhden hehtaarin alalta 5600 kg. Työsaavutus on $q_t = \frac{4 \cdot 4}{10} = 1,6 \text{ ha/h}$. Tällöin massavirta on $q_t = 1,6 \cdot 5600 \frac{\text{ha} \cdot \text{kg}}{\text{h} \cdot \text{ha}} = 8960 \text{ kg/h} = 8,96 \text{ t/h}$.

4.2 Käytännön työsaavutus

Yhtälö 4.2 antaa teoreettisen työsaavutuksen, käytännössä ei pystytä useinkaan käyttämään koko koneen työleveyttä hyväksi. Lisäksi aikaa kuluu käännekohtiin päisteissä ja täyttöihin, tyhjennyksiin ja säätöihin. Todellinen työsaavutus voidaan laskea ottamalla huomioon nämä työntöhyötysuhteella. Tyypillisesti nämä ovat 60 - 85 % luokkaa eli todellinen työsaavutus on 60 - 85% teoreettisesta työsaavutuksesta [ASAE D497]. Todellinen työsaavutus saadaan kertomalla teoreettinen työsaavutus työntöhyötysuhteella η_t (työhöytösuhde, työn tehokkuus), yhtälö 4.4.

$$q_{tod} = q_t \eta_t \quad (4.4)$$

Rivityökoneiden ja kylvökoneiden todelliset työleveydet ovat koneen työleveyden suuruisia. Muilla työkoneilla ajetaan yleensä hieman edellisen ajokerran päälle. Tyypillisesti päällekkäisajo on 2 - 5 % eli työleveydestä

4 Työkoneet

käytetään hyödyksi 95 - 98 %. Kun lasketaan todellista työsaavutusta, työleveyden vajuus pitää ottaa huomioon joko työleveyden hyötysuhteen kautta tai sitten laskemalla työsaavutus käyttäen todellista työleveyttä.

Esimerkki

Puimurin työleveydestä käytetään hyödyksi 96 %. Mikä on edellisen esimerkin todellinen työsaavutus, kun vajaa työleveys otetaan huomioon ?

Koska todellinen työleveys on $0,96 \cdot 4m = 3,8m$, työsaavutukseksi saadaan $q = 4 \cdot 3,8/10 = 1,5$ ha/h.

Työnteon hyötysuhteeseen sisällytetään pellolla tapahtuvat työtä hidastavat toimet, kuten täytöt, tyhjennykset, päisteajot, säädöt yms. Kun nämä otetaan huomioon, saadaan pellolla tapahtuvan työn todellinen työsaavutus. Jos halutaan selvittää koko työn työsaavutus, silloin on otettava huomioon myös pellolle siirtymiset ja työssä tarvittavat kuljetukset. Näiden vaikutus voidaan laskea ajan käytön hyötysuhteen avulla eli vertaamalla työn teoreettista työaikaan työhön tarvittavaan kokonaisaikaan. Tarvittaessa kokonaisaikaan voidaan sisällyttää joko vain pellolla tapahtuvat aputyöt tai käsittely voidaan laajentaa koskemaan myös esimerkiksi koko päivää (tilaa) koskevaksi. Työjärjestelyjen hyötysuhde η_t (työhyötysuhde, työn tehokkuus) voidaan laskea yhtälön 4.5 mukaisesti.

$$\eta_t = \frac{t_t}{t_{kok}} \quad (4.5)$$

η_t työsaavutus
 t_t teoreettinen työaika
 t_{kok} työhön käytetty kokonaistyöaika

Työhön käytetty kokonaisaika t_{kok} voidaan laskea ottamalla huomioon kaikki työhön kuluvat aputyöt. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi yhtälön 4.6 mukaisesti. Kokonaisaika laskettaessa pelkkään työntekoon kuluva aika on laskettava todellisen työleveyden avulla. Tämä on otettu yhtälössä huomioon jakamalla teoreettinen aika työleveyden hyötysuhteella η_b . Tarkastelua voidaan laajentaa pellolta esimerkiksi koko työpäivää koskevaksi, jolloin kulkemiset talouskeskukseen ja huoltoajat yms pitää ottaa huomioon.

$$t_{kok} = \frac{t_t}{\eta_b} + t_i \quad (4.6)$$

η_b työleveyden hyötysuhde
 t_t teoreettinen työaika
 t_i eri aputyövaiheisiin tarvittava aika

Taulukossa 4.1 on tyypillisiä työhyötysuhteiden arvoja. Nämä arvot pätevät Pohjois-Amerikan olosuhteissa ja meillä esimerkiksi peltolohkot ovat pienempiä, jolloin työhyötysuhteiden arvot ovat vastaavasti alhaisempia.

Taulukko 4.1: ASAE D497 standardin mukaisia tyypillisiä työn hyötysuhteita pellolla (kuljetukset ja tilakeskuksessa tapahtuvia töitä ei ole otettu huomioon) [ASAE D497]

Työkone	Hyötysuhteen vaihtelu %	Tyypillinen hyötysuhde %
Kyntöaura	70 - 90	85
Joustopiikkiäes	70 - 90	85
Jyrsin	70 - 90	85
Kylvökone	55 - 80	70
Leikkuupuimuri	65 - 80	70
Pyöröpaalain	55 - 75	65
Niittosilppuri	60 - 85	70
Perunannostokone	55 - 70	60
Lannoitteenlevitin	60 - 80	70
Kasvinsuojeluruisku	50 - 80	65

Esimerkki

Edellisten puimuriesimerkkien käännöksiin kuluu aikaa 5 min/ha ja tyhjennykseen kuluu 10 min/ha. Mikä on työsaavutus pellolla ?

Puimurin teoreettinen työsaavutus oli 1,6 ha/h, silloin hehtaari kohti käytetään $1/1,6 = 0,63$ h/ha = 37,5 min/ha. Kun otetaan huomioon työlevyden vaikutus, saatiin työsaavutukseksi 1,5 ha/h eli 40,0 min/ha. Hehtaarin kokonaistyöajaksi saadaan siten: puinti + käännökset + tyhjennykset = 40 + 5 + 10 = 55 min/ha. Työsaavutus pellolla on siten 1,1 ha/h.

4.3 Työkoneen vetovastus

Työkoneen vetovoiman tarve voidaan ilmaista monella eri tavalla. Käyttäjälle tämä on usein tarpeeton tieto, koska koneiden käyttöohjeissa ilmoitetaan työkoneen tarvitseman traktorin teho. Jotta saataisiin kuva tehontarpeesta, on syytä myös tuntea vetovoiman tarve. Vetovoiman tarve voi olla seurausta siitä, että koneella käsitellään maata tai se voi olla seurausta siitä, että hinataan esimerkiksi perävaunua.

Traktorin on aikaan saatava riittävä vetovoima, jotta työkoneen vetovastus voitettaisiin ja traktori pystyisi vetämään konetta. Kun työkoneen vetovastus tiedetään, yhtälön 3.3 avulla voidaan laskea traktorin vetovoima. Laskennassa pitää käyttää alle 20% luistoa, koska suurempi luisto heikentää vetohötyosuutta ja peltoon syntyy luiston takia ajouria.

Esimerkki

Traktorin massa on 4500 kg ja äkeen vetovastus on 12 kN. Pystyykö traktori vetämään äestä?

Katsotaan kuvasta 3.2 kehävoimakertoimen arvo 20% luistolla. Kun kyseessä on normaali pelto $\mu = 0,45$ ja vierimisvastuskertoimelle voidaan käyttää arvoa $f=0,1$. $F_t = (0,45 + 0,1) \cdot 4500 \cdot 9,81 = 15,5$ kN eli äkeen veto onnistuu tällä traktorilla ja luisto jää alle 20%. Ratkaistaan yhtälöstä 3.3 kehävoimakerron, $\mu = \frac{F_t}{G} + f = \frac{12 \text{ kN}}{4500 \cdot 9,81 \text{ N}} + 0,1 = 0,37$. Kun katsotaan kuvasta 3.2 tätä vastaava luisto, saadaan 15%. Jos äestysnopeus on 9 km/h, vetoteho $P_t = 12 \text{ kN} \cdot \frac{9}{3,6} \text{ m/s} = 30 \text{ kW}$ ja moottoriteho, kun $k=1,7$, $P_m = 1,7 \cdot 30 \text{ kW} = 51 \text{ kW}$.

4.3.1 Yleinen vetovastuksen yhtälö

Kun maata käsitellään (muokataan, kylvetään, jyrätään), tarvittavaan voimaan vaikuttaa maalaji ja sen kosteus, työsyvyys, ajonopeus ja työleveys. Tämän perusteella saadaan yleinen työkoneiden vetovastusta kuvaava yhtälö (yhtälö 4.7). Tätä yhtälöä käytetään Yhdysvalloissa, jossa on sikäläisille työkoneille myös taulukoituja kertoimien arvoja [ASAE D497]. Perusmuodoltaan yhtälö on hyvä, koska se ottaa huomioon kaikki työkoneen vetämisen tarvittavat seikat.

$$F_t = M(A + Bv + Cv^2)tb \quad (4.7)$$

F_t	=	vetovastus [N]
M	=	maalajista johtuva kerroin
A	=	peruskerroin [kN/m^2]
B	=	ajonopeudesta lineaarisesti riippuva kerroin [$\text{kN}/(\text{m}^2 \cdot \text{km}/\text{h})$]
C	=	ajonopeuden neliöstä riippuva kerroin [$\text{kN}/(\text{m}^2 \cdot (\text{km}/\text{h})^2)$]
v	=	ajonopeus [km/h]
t	=	työsyvyys [m]
b	=	työleveys [m]

Yhtälön 4.7 käyttö ei kuitenkaan ole yksiselitteistä, koska esim. vantailla tai äkeen piikeillä on vaikea määrittää työlevyettä. Näissä tapauksissa kertoimet voidaannäätä antaa yksikköä kohti, esim. vannasta kohti. Taulukossa 4.2 on muutamien työkoneiden kertoimien arvoja.

Taulukko 4.2: Työkoneiden vetovastuskertoimia

Työkone	A $\frac{kN}{m^2}$	B $\frac{kN}{m^2 \cdot \frac{km}{h}}$	C $\frac{kN}{m^2 \cdot (\frac{km}{h})^2}$	M jäykkä maa	M keskijäyk- kä maa	M kevyt maa
Kyntöaura	65	0	0,5	1	0,7	0,45
S-piikki, multamaa, 2. ajokerta ¹	960 N	81	0			
S-piikki, savimaa, 2. ajokerta ¹	860 N	347	0			
Lautasäes, sänkimuokkaus	31	1,6	0	1	0,88	0,78
Lautasäes, kylvömuokkaus	22	1,1	0	1	0,88	0,78

¹Arvot ovat piikkiä kohti, jolloin laskuissa työleveys $b=1$.

Esimerkki

Miten yhden S-piikin vetovoiman tarve muuttuu ajonopeuden funktiona?

Käytetään laskuissa savimaan arvoja, nopeudella 6 km/h ja 10 cm työsyvyydellä saadaan: $F_t = (860 \frac{N}{m} + 347 \frac{N}{m \cdot km/h} \cdot 6 + 0) \cdot 0,1 m = 294 N/piikki$. Ajonopeuden ollessa 10 km/h saadaan vastaavasti 433 N/piikki. Ajonopeuden lisääminen lisää vetovastusta. Tämän perusteella pelkästään energian kulutusta ajatellen alhainen ajonopeus olisi suositeltava. Vastaavat moottoritehot yhtä piikkiä kohden ovat, $P_m = 1,7 \cdot 294 N \cdot \frac{6}{3,6} m/s = 0,8 kW$ ja $P_m = 1,7 \cdot 433 N \cdot \frac{10}{3,6} m/s = 2,0 kW$

Yhtälön 4.7 ongelmana on, ettei sen kertoimia ole kovin hyvin saatavilla.

4.3.2 Yksinkertainen vetovastusmalli

Monasti ajonopeuden ja työsyvyydenkin vaikutus jätetään huomioimatta ja ilmoitetaan vain kuinka suuren vetovoiman työkone tarvitsee työleveyden metriä kohden, taulukko 4.3. Tästä voidaan laskea koko koneen tarvitsema vetovastus, yhtälö 4.8. Tämä laskentatapa ei ota huomioon nopeuden eikä myös työsyvyyden vaikutusta. Vastusarvot on annettu tavanomaisille työnopeuksille ja -syvyyksille.

$$F_t = F_l \cdot b \quad (4.8)$$

F_t vetovastus

F_l vetovastus työkoneen leveyttä kohti

b työkoneen leveys

Taulukko 4.3: Työkoneiden vetovastusarvoja

Työkone tai työlaite	Vetovastus kN/m
S-piikki, multamaa	0,1 ¹
S-piikki, savimaa	0,2 ¹
Äkeen etulata	1
Äkeen varpajyrä	0,6
Lautasäes	0,3 ¹
Jyrä	1,0 - 1,5

¹Piikkiä tai lautasta kohti

Esimerkki

Äkeen työleveys on 4,5 m. Piikkiväli on 8 cm ja edessä on etulata ja takana on varpajyrä. Mikä on äkeen vetovastus?

Äkeen piikkien määrä on $n = \frac{4,5\text{m}}{0,08\text{m}} = 56$ kpl, jolloin niiden vetovastus savimaalla on $56 \cdot 0,2 = 11,2$ kN. Etuladan vastus on $4,5 \text{ m} \cdot 1 \text{ kN/m} = 4,5$ kN ja varpajyrän $4,5 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ kN/m} = 2,7$ kN. Yhteensä vetovastus on $11,2 + 4,5 + 2,7 = 18,4$ kN. Jos ajonopeus on 8 km/h, vetoteho on $P_t = 18,4 \text{ kN} \cdot \frac{8}{3,6} \text{ m/s} = 40,9$ kW ja moottoriteho ($k=1,7$) $P_m = 1,7 \cdot 40,9 \text{ kW} = 69,5$ kW.

Monasti esitteissä työkoneen tarvitsema moottoriteho ilmoitetaan. Tästä voidaan laskea vetovastus yhtälön 4.9 avulla. Moottoritehon tarve on annettu esitteissä normaalia työnopeutta käyttäen.

$$F_l = \frac{P_m}{k \cdot v_a \cdot b} \quad (4.9)$$

- F_l vetovastus työkoneen leveyttä kohti
 P_m moottoriteho
 k kerroin (1,5 - 2,0)
 v_a ajonopeus
 b työleveys

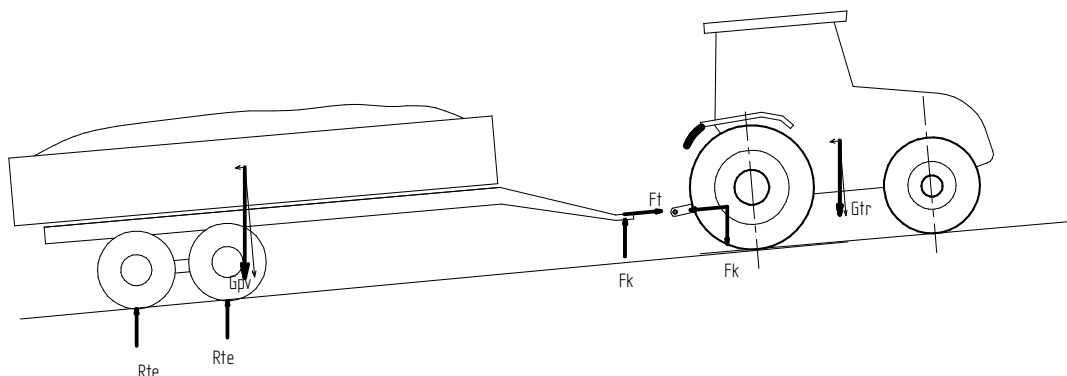
Esimerkki

5 m leveän äkeen moottoritehon tarve on 60 kW. Kuinka suuri on vetovoiman tarve työleveyttä kohti?

Oletetaan, että normaali ajonopeus on 9 km/h ja k kerroin on 0,7, vetovastus on tällöin $F_l = \frac{60 \text{ kW}}{1,7 \cdot \frac{9}{3,6} \text{ m/s} \cdot 5 \text{ m}} = 2,8$ kN/m. Nyt voidaan arvioida kuinka suuri olisi esimerkiksi 6 m leveän äkeen vetovastus, $F = 2,8 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m} = 16,8$ kN. Tästä voidaan laskea edelleen moottoritehon tarve, esim. ajonopeus on 8 km/h ja kerroin $k = 1,7$, jolloin $P_m = 1,7 \cdot 16,8 \cdot \frac{8}{3,6} = 63,5$ kW.

4.4 Hinattavat ja nostolaitekiinnitteiset työkoneet

Hinattavien työkoneiden painosta kohdistuu usein osa traktorille. Esimerkiksi perävaunut ovat yksiakselisia ja aisapaino kohdistuu traktorin vetokoukkuun, kuva 4.1. Vastusvoimat voidaan laskea yhtälöiden 1.4 ja 1.5 mukaisesti. Perävaunussa tai hinattavassa työkoneessa rengastus on erilainen kuin traktorissa ja tarkemmissa laskuissa voimat pitäisi laskea erikseen traktorille ja työkoneelle. Karkeissa laskuissa traktorin ja työkoneen massat voidaan summata ja olettaa yhdistelmälle hieman huonompi vierimisvastuskerroin kuin traktorilla on.



Kuva 4.1: Perävaunun vedossa vaikuttavat voimat

Esimerkki

Traktorin massa on 5300 kg ja perävaunun 11 500 kg. Yhdistelmä nousee 5° rinnettä. Kuinka suuri on kokonaisvastus ja tarvittava teho?

Yhdistelmän kokonaismassa on $11\,500 + 5\,300 = 16\,800$ kg. Oletetaan, että ajetaan soratiellä. Sen vierimisvastuskerroin on 0,05. Jos kyse olisi tasamaasta, kokonaisvierimisvastusvoima on $F_v = 16\,800 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,05 = 8,2 \text{ kN}$. Rinteessä tulee mukaan rinnevastus eli $F_r = G \cdot \sin\alpha = 16\,800 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \sin 5 = 14,3 \text{ kN}$ ja kokonaisvastus on $8,2 + 14,3 = 22,6 \text{ kN}$. Tarvittava moottoriteho on tällöin, jos ajonopeus on 20 km/h, $P_m = 22,6 \text{ kN} \cdot \frac{20}{3,6} \text{ m/s} = 125,5 \text{ kW}$. Oikeastaan tämä ei vielä riitä, koska laskuissa ei ole otettu huomioon pyörien luistoon kuluva luistoteho. Näinkin suuri vetovoima aiheuttaa jo pyörien luistoa ja siihen tarvitaan oma tehonsa. Mitä tehdään, jos traktorin moottoriteho on pienempi kuin tarvittava teho?

Jos työkone on kokonaan traktorin kannatteleva, esimerkiksi runkokiinnitteinen työkone tai nostolaitteisiin kiinnitetty työkone, silloin työkoneen paino lisätään traktorin painoon ja vastusvoimat lasketaan yhtälöiden 1.4 ja 1.5 avulla.

4.5 Voimanottoakselikäyttöiset työkoneet

Voimanottoakselisten työkoneiden osalta osa tehosta siirretään mekaanisesti työkoneeseen. Sen lisäksi työkone, kuten jyrsin tai noukinvaunu, voi tarvita vetovoimaa ja osa sen painosta tulee traktorin kannateltavaksi. Voimanottoakselikäyttöisten työkoneiden käyttötavat voivat olla hyvin erilaiset, ne voivat muokata maata tai ne voivat käsitellä satoa. Tehontarve voidaan jakaa kolmeen erilliseen osaan, tyhjäkäyntitehoon, työleveydestä riippuvaan tehoon ja käsiteltävästä massavirrasta riippuvaan tehoon. Tällöin voimanottoakselikäyttöisille ja itsekulkeville työkoneille saadaan yhtälön 4.10 mukainen prosessointitehontarve. Prosessointitehontarpeella tarkoitetaan itse työprosessin tarvitsemää tehoa ja siinä ei ole mukana kulkuun tai vetämiseen tarvittavaa tehontarvetta. Koneen läpi kulkeva massavirta voidaan laskea yhtälön 4.3 mukaan [ASAE D497].

$$P_p = P_t + k_v b + k_m q_m \quad (4.10)$$

- P_p työkoneen prosessointitehon tarve
 P_t koneen tyhjäkäyntiteho
 k_v kerroin, ilmaisee tehontarpeen koneen työleveyttä kohti
 k_m kerroin, ilmaisee tehontarpeen koneen läpi menevää massavirtaa kohti
 b työleveys
 q_m koneen läpi menevä massavirta

Taulukko 4.4: Työkoneen tehontarpeeseen liittyviä kertoimia [ASAE D497]

Työkone	P_t kW	k_v kW/m	k_m kWh/t
Pyöröpaalain, kiinteä kammio	2,5	0	1,8
Pyöröpaalain, muuttuva kammio	4	0	1,1
Leikkuupuimuri	20	0	3,6
Niittosilppuri	10	0	1,1
Lautasniittokone	0	10	0
Sormipalkkiniittokone	0	1,1	0

Esimerkki

Leikkuupuimurin ajonopeus on 5 km/h ja työleveys on 3,5 m. Koneikon läpi kulkeva olki- ja jyvämäärä on 7 t/ha. Kuinka suuren tehon puintikoneisto tarvitsee?

Työsaavutus on $q_t = \frac{5 \cdot 3,5}{10} = 1,75 \text{ ha/h}$ ja massavirta on $q_m = 1,75 \cdot 7 \frac{\text{ha} \cdot \text{t}}{\text{h} \cdot \text{ha}} = 12,3 \text{ t/h}$. Prosessointiteho on siten $P_p = 20 \text{ kW} + 3,6 \cdot 12,3 \frac{\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}}{\text{t} \cdot \text{h}} = 44,3 \text{ kW}$. Jos puimurin massa on 7500 kg ja vierimisvastuskerroin on 0,1, vierimisvastusvoima on $0,1 \cdot 7500 \cdot 9,81 = 7,4 \text{ kN}$ ja liikkumisteho $7,4 \cdot \frac{5}{3,6} = 10,3 \text{ kW}$. Kokonaistehon tarve on siten 54,7 kW.

5 Traktorin ja työkoneen energian tarve

Hyvin toimivalta traktori-työkoneyhdistelmästä vaaditaan kaksi perusasiaa. Traktorin on pystyttävä vetämään työkoneita ilman, että pyörien luisto tulee liian suureksi ja traktorissa on oltava riittävästi moottoritehoa, jotta traktori jaksaa vetää työkoneita oikealla työnopeudella. Suuri luisto aiheuttaa tehotappioita ja renkaiden kairautuessa maahan myös urien muodostumista (kappale 3.2). Tämä tarkoittaa sitä, että traktorilla on riittävästi massaa työkoneen vetämiseen (yhtälö 3.2) ja että renkaat ovat kunnossa eli niiden pito on hyvä. Massan lisäämisen ongelmana on suurentunut vierimisvastusvoima ja maan tiivistymisriski. Yleensä kuitenkin vetovoima suurenee enemmän kuin vierimisvastusvoima, jolloin lisäpainoista on hyötyä.

Olosuhteet ja maan kosteus vaihtelevat eri aikoina tehdyissä töissä, josta johtuen traktorin ja työkoneen sovitukset harvoin saadaan aivan optimaaliseksi. Työn tekeminen ja energiatalous riippuvat tämän jälkeen kuljettajasta. Uusimmissa portaattomilla vaihteistoilla varustetuissa traktoreissa traktorin oma järjestelmä voi säätää traktorin toimimaan taloudellisesti.

Työkoneen kuormituksen muutoksen vaikutus on selvästi pienempi tekijä kuin traktorin hyötysuhteen muutos kuormituksen muuttuessa. Jos esimerkiksi kuvan 1.2 moottoritehon tarve on 60 % nimellistehosta, tämä teho saadaan pienimmillään ominaiskulutuksen ollessa 208 g/kWh ja suurimmillaan 240 g/kWh. Kulutus voi olla siten 15 % suurempi kun moottori ei toimi polttoainekulutukseltaan parhaalla alueella. Mitä pienempiä tehoja traktorista tarvitaan, sitä suuremmaksi tämä erotus tulee. Suureen kulutukseen ja huonoon hyötysuhteeseen on helppo päästä, ajetaan aina kaasuvipu täysin auki.

Moottoria käyttää polttoaineen palamisesta syntyvä paine, joka saa männät liikkeelle. Moottorissa on myös häviöitä, kuten männän ja sylinterin välinen kitka sekä työkierrossa joudutaan pumppaamaan palamisilmaa moottoriin ja palamisen jälkeen pakokaasut moottorista pois. Dieselmoottorissa tämä työ on lähes sama riippumatta moottorin käyttötehosta. Kun tehontarve on pieni häviöt ovat suhteessa suuremmat ja moottorin taloudellisuus on huono. Tämä johtaa kolmanteen perusasiaan, joka vaikuttaa etenkin polttoaineen kulutukseen eli kuljettajaan. Kuljettaja päättää miten traktoria ajetaan. Kuljettaja myöskin päättää työkoneen säädöistä, jotka myös vaikuttavat tehon tarpeeseen.

Polttoainetaloutta tarkasteltaessa yhtälö 4.7 kertoo jo mitkä asiat vaikuttavat siihen:

- Maalaji ja myös maan kosteus
- Ajonopeus
- Työsyvyys
- Työleveys

Näiden lisäksi kuljettaja vaikuttaa polttoainetalouteen seuraavasti:

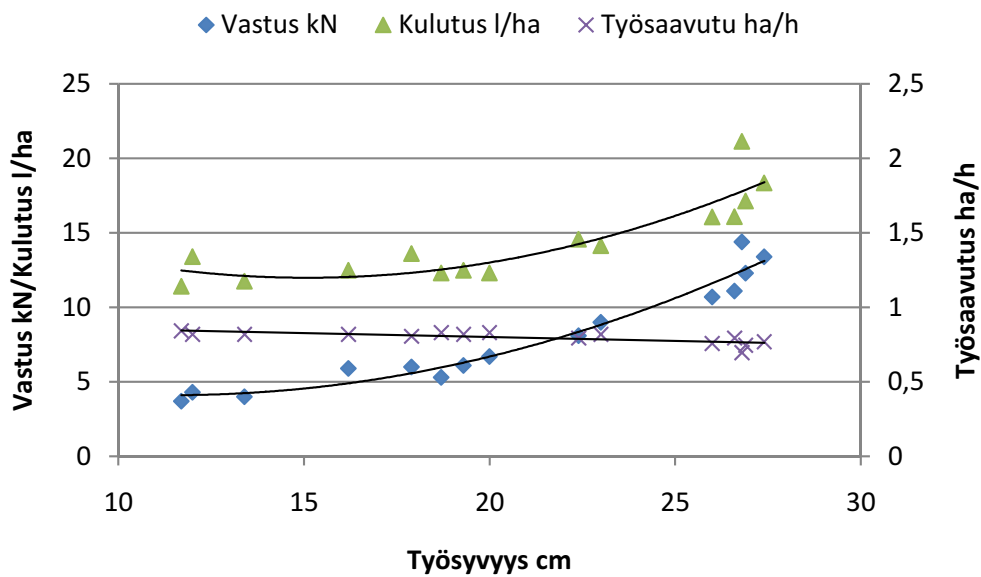
- Valitsemalla ajonopeuden ja työsyvyyden
- Säätämällä työkoneita
- Valitsemalla työvaihteen ja moottorin nopeuden
- Pitämällä traktorin ja työkoneen kunnossa
- Valitsemalla renkaat ja säätämällä rengaspaineet

5.1 Työsyvyys

Yhtälön 4.7 mukaisesti työsyvyyden lisääminen vaikuttaa lineaarisesti vetovastukseen. Käytännössä työsyvyys vaikuttaa etenkin kynnyksessä nousevasti vastukseen. Kynntöantura on normaalisti 20 - 25 cm syvyudessa ja tämän

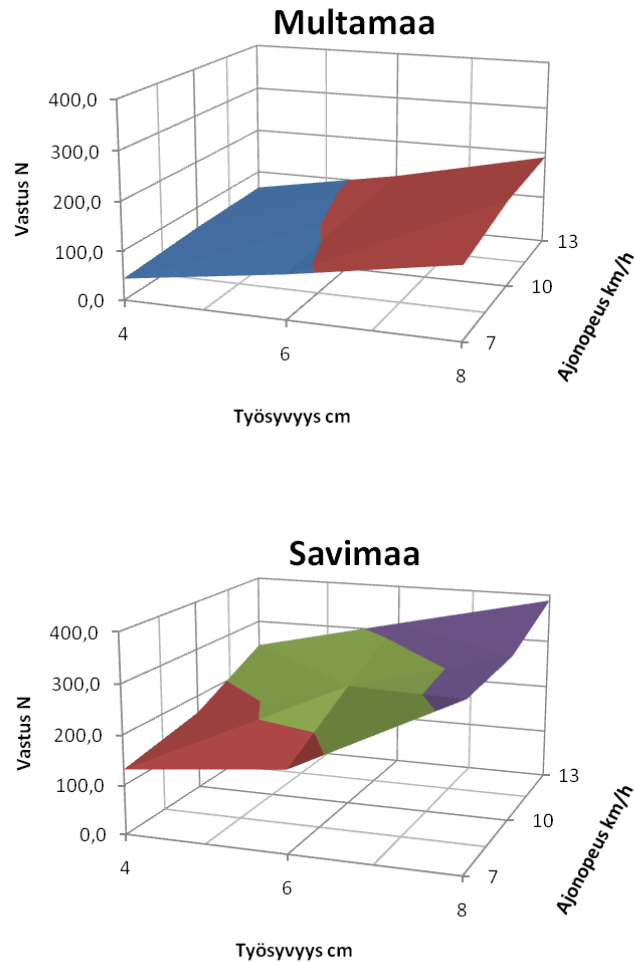
5 Traktorin ja työkoneneen energian tarve

alittaminen nostaa monasti kyntövastusta runsaasti. Kuvassa 5.1 on esimerkki kyntövastuksen muuttumisesta työsyvyyden muuttuessa. Kuvasta näkyy kuinka kyntövastus kasvaa progressiivisesti kyntösyvyyden lisääntyessä. Työsyvyys pitäisi valita tehtävän työn ja olosuhteiden mukaisesti. Liian syvä työsyvyys aiheuttaa aina liian suurentuneen vastuksen ja tehon tarpeen.



Kuva 5.1: Esimerkki työsyvyyden vaikutuksesta kyntövastukseen [Ahokas 1994]

Kuvassa 5.2 on esitetty multamaalla ja savimaalla ajonopeuden ja työsyvyyden vaikutus yhden S-piikin vetovastukseen. Savimaalla vastus on ollut lähes kaksinkertainen multamaahan verrattaessa. Tämä tarkoittaa myös kaksinkertaista tehon tarvetta ja energian tarvetta. Ajonopeuden vaikutus on ollut selvästi pienempi kuin työsyvyyden vaikutus. Suuri työsyvyys lisää vetovastusta, tehon tarvetta ja energian tarvetta.



Kuva 5.2: Ajonopeuden ja työsyvyyden vaikutus S-piikin vetovastukseen

Esimerkki

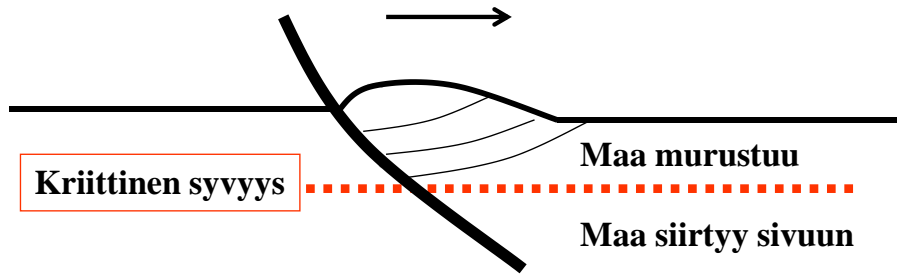
Kyntönopeus on kuvan 5.1 tapauksessa 7 km/h ja työsyvyys muuttuu 18 cm syvyydestä 25 cm syvyyteen. Kuinka paljon vetoteho kasvaa?

Nopeus 8 km/h on $8/3,6 = 2,2$ m/s. Katsotaan kuvasta vastusvoimat. 18 cm kohdalla vastus on 6 kN ja 25 cm kohdalla 11 kN. Vastaavat vetotehot ovat $P_{18cm} = 6 \cdot 2,2 = 13,2$ kW ja $P_{25cm} = 11 \cdot 2,2 = 24,2$ kW. Vetotehon tarve lisääntyi siten 83 %. Kuvassa 5.1on myös mitattu polttoaineen kulutus. Se lisääntyy kuvan mukaan luokasta 13 l/ha luokkaan 17 l/ha eli lisäys on 31 %. Polttoaineen kulutus ei lisäännä yhtä voimakkaasti kuin teho, koska traktorin kuormittuessa enemmän sen polttoainetalous paranee.

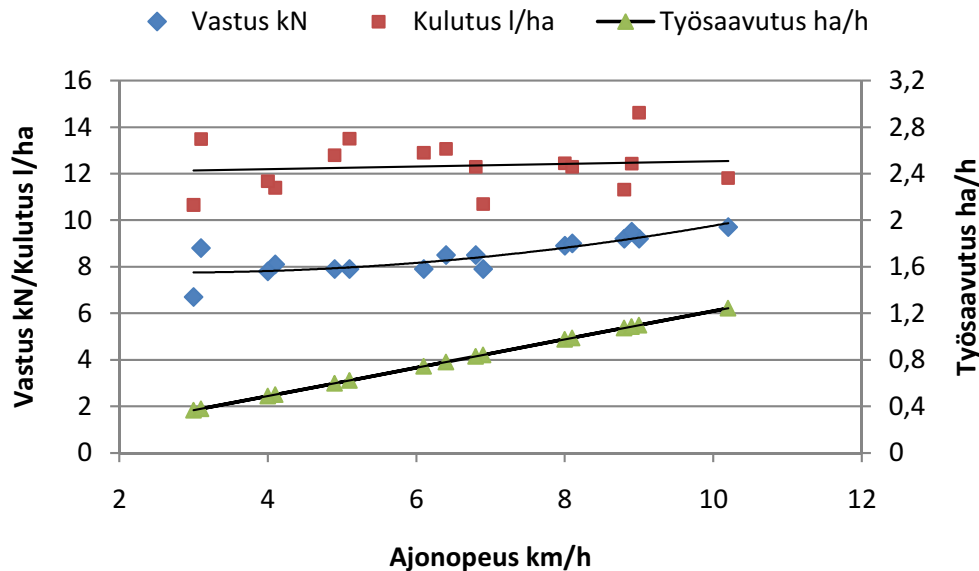
Äestyksessä piikeillä on kriittinen työsyvyys, jonka alittaminen ei enään murusta maata, vaan siirtää sitä sivuun ja aiheuttaa maan tiivistymistä, kuva 5.3. Tämä aiheuttaa suurentuneen vastuksen muttei enään tehosta muokkausta.

5.2 Ajonopeus

Ajonopeuden vaikutus riippuu työkoneesta ja yhtälön 4.7 mukaan kertoimet B ja C voivat saada arvon tai ne ovat nolliä. B-kerroin ilmaisee, että vastus muuttuu lineaarisesti ajonopeuden kasvaessa. C-kerroin vastaavasti vastuksen kasvun nopeuden neliössä. Taulukoista 4.2 nähdään, että s-piikin vastus riippuu nopeudesta lineaarisesti ja kyntöauran nopeuden neliöstä. Kynnössä auran siiven muoto vaikuttaa kertoimeen. Pienimmillään se on kokoruuvisiipisessä aurassa. Kuvassa on esitetty ajonopeuden vaikutus kyntövastukseen, työsaavutukseen ja polttoaineenkulutukseen.



Kuva 5.3: Piikin kriittinen työsyvyys



Kuva 5.4: Ajonopeuden vaikutus kyntöön [Ahokas 1994]

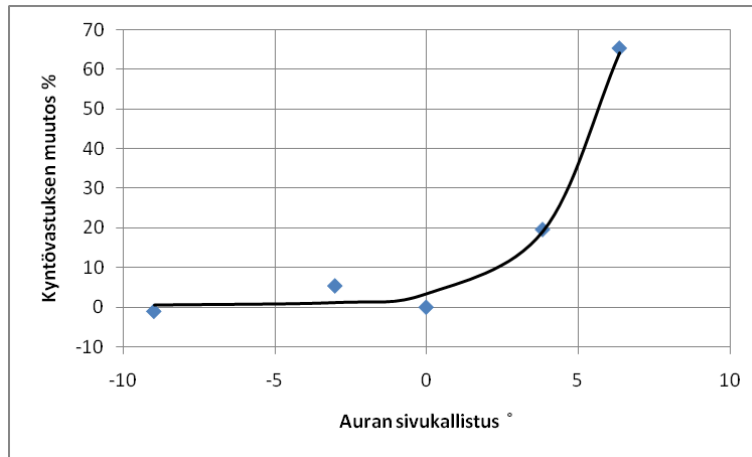
5.3 Maalaji ja maan kosteus

Yhtälössä 4.7 on mukana myös maalajikerroin ja taulukon 4.2 mukaisesti esimerkiksi kynnössä maalaji voi yli kaksinkertaistaa vastuksen ($M=0,45$ tai $M=1$). Maalajin lisäksi maan kosteus vaikuttaa etenkin savimailla vastukseen ja sen vaikutus on suuruusluokaltaan sama kuin maalajinkin. Maalajin vaikutus näkyy myös kuvasta 5.2, jossa savimaan vastus on selvästi multamaata suurempi.

5.4 Työkoneiden säädön vaikutus

Työkone pitää säätää ennen työn alkua. Vähintäänkin joudutaan säätämään työsyvyys, mutta sen lisäksi äkeissä on lisälaitteiden, kuten etuladan säätö. Kuljettaja säätää aina työsyvyyden ja samalla valitsee epäsuorasti työkoneen vastuksen suuruuden. Työsyvyys pitäisi säätää tehtävän työn ja esimerkiksi muokattaessa tai kylvettäessä myös maan kosteuden mukaan.

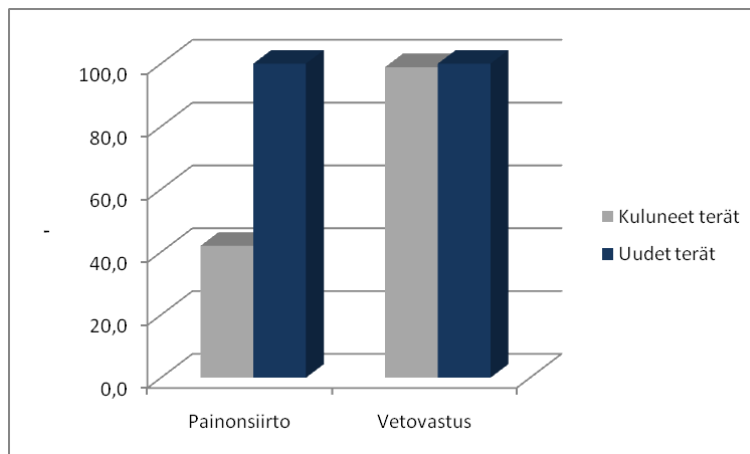
Kyntöauran säätö on monipuolisin, siinä auran asento joudutaan säätämään oikein. Nämä säädöt vaikuttavat koneen toiminnan lisäksi vetovastukseen. Esimerkiksi auran säätäminen niin, että siivet painavat voimakkaasti viiluja lisää voimakkaasti kyntövastusta ja vähentää auralta traktorille tulevaa painonsiirtoa, jolloin seurauksena on suurempi pyörien luisto, kuva 5.5. Väärä säätö aiheuttaa helposti useiden kymmenien prosenttien vastuksen, tehon ja kulutuksen muutoksen.



Kuva 5.5: Auran sivukallistuksen vaikutus kyntövastukseen [Ahokas 1986]

5.5 Työkoneen kunnan vaikutus

Maanmuokkauskoneissa ja silppuavissa laitteissa terien kunto vaikuttaa vastukseen ja tehon tarpeeseen. Kuvassa 5.6 on esimerkki uusien ja kuluneiden auran terien vaikutus painonsiirtoon ja vetovastukseen. Vetovastukseen terien kunto ei ole vaikuttanut, mutta painonsiirto on alle puolet siitä mitä se on käytettäessä teräviä teriä. Yleensä tylsät terät lisäävät myös vetovastusta, tämä riippuu myös terän asennosta. Jos terän päästökulma häviää kulumisen takia, silloin terän kanta hankaa maata vasten aiheuttaen lisävastusta.



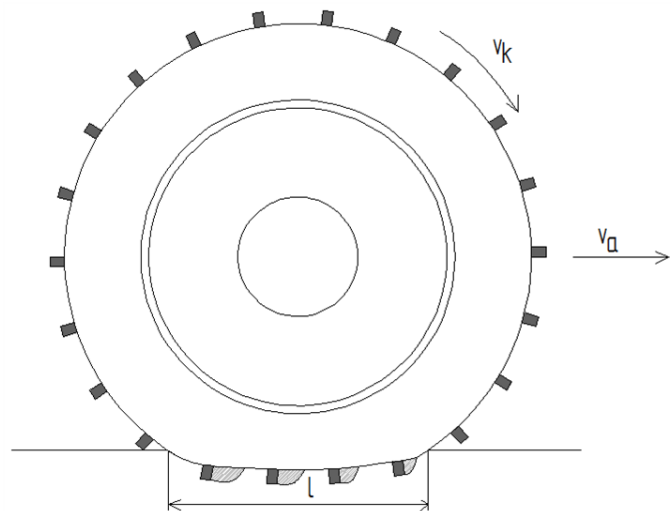
Kuva 5.6: Uusien ja kuluneiden terien vaikutus kyntöauran painonsiirtoon ja vetovastukseen [Ahokas 1986]

5.6 Renkaiden vaikutus

Renkaat vaikuttavat merkittävästi traktorin ja työkoneiden käyttöön. Yhtälön 3.3 mukaisesti vetovoima riippuu sekä renkaiden pidosta että niiden vierimisvastusvoimasta. Lisäksi renkaiden pintapaine on tärkeä tekijä pelon tiivistymisen kannalta. Vetävät maatalousrenkaat ovat nykyisin lähinnä vyörenkaita. Työkoneiden renkaat ovat suurelta osalta ristikudosrenkaita, mutta myös ne ovat muuttumassa vyörenkaiksi. Vyörenkaiden etuna on joustavampi runkorakenne, jolloin pintapaineet ovat pienempiä ja samoin myös vierimisvastukset. Vetävän vyörenkaan pito on myös ristikudosrengasta selvästi parempi. Vyörenkaiden ongelmana on ristikudosrenkaita heikommät renkaiden sivut, jolloin maastossa ja metsässä niiden pistokestävyys ei ole yhtä hyvä kuin ristikudosrenkailla.

5.6.1 Maan lujuus ja kantavuus

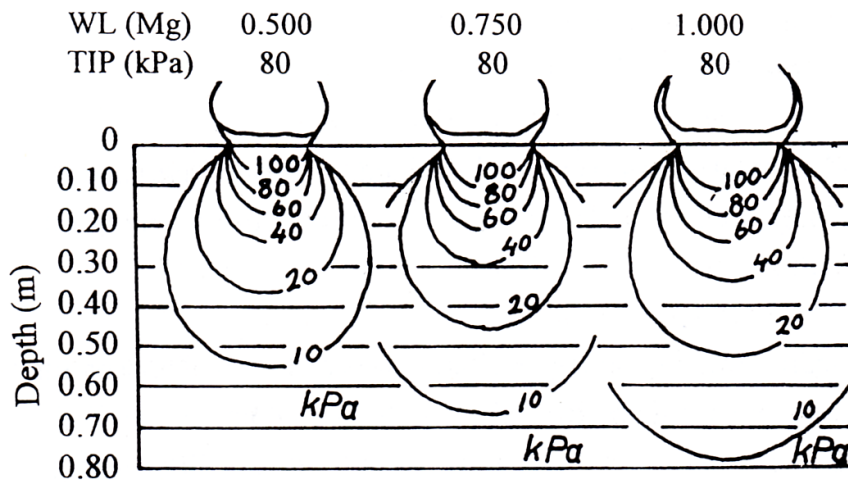
Maaperän lujuus on merkityksellinen sekä puristuskestävyyden (kantavuuden) että maanmuokkauksen kannalta ja maansiirtotöiden kannalta. Kun maan kantavuus ylitetään ajoneuvot uppoavat maahan ja kun maata käsitellään riittävän voimakkaasti saadaan maa murustumaan. Ennen kuin maan kantavuus ylitetään on voitu jo vahingoittaa maan rakennetta tiivistämällä sitä, jolloin huokostilavuus pienenee ja kasvin hengitys sekä juurien eteneminen vaikeutuvat. Maan lujuus poikkeaa 'kiinteiden' aineiden, kuten esimerkiksi terästen lujuudesta siinä, että maan kosteus, tilavuuspaino ja partikkelikoko vaikuttavat lujuuteen. Maamuruset eivät ole samalla lailla mekaanisesti sidoksissa kuin metallien atomit ovat, vaan ne voivat liukua toistensa suhteen, jolloin myös kitkavoimat vaikuttavat. Myöskin maata koossa pitävä sisäinen voima, koheesio, riippuu kosteudesta ja maalajista. Maalle voidaan kuormitustavasta johtuen määrittää erilaisia lujuusominaisuuksia. Puristuslujuus mitataan kuormittamalla maapalasta puristavalla voimalla. Leikkauslujuus mitataan leikkaamalla maanäyte toisistaan poispäin liikkuvissa astioissa. Renkaan tai telan pito perustuu maan leikkauslujuuteen, 5.7. Renkaan rivat uppoavat maahan ja kun renkaan kehänopeus on ajonopeutta suurempi, rengas luistaa ja lähtee leikkaamaan ripojen väliin jäävää maakannasta. Renkaan pito perustuu pellolla suurimmaksi osaksi tähän maan leikkaamiseen. Leikkaamisen lisäksi renkaan ja maan välillä on kitkaa. Kovalla alustalla kun rivat eivät uppoa maahan pito perustuukin pelkästään kitkaan. Maan leikkausvoima kasvaa sen siirtymän lisääntyessä. Tämä tarkoittaa, että luiston lisääntyessä myös renkaan pito paranee. Luisto on siten välttämätön paha, sitä tarvitaan pidon takia, mutta samalla energiaa tuhlautuu renkaan luistamiseen. Renkaan pito riippuu silloin luistosta kuvan 3.2 mukaisesti. [ASAE D497]



Kuva 5.7: Renkaan pito perustuu ripojen välisen maan leikkaamiseen

Maan kosteus vaikuttaa sekä leikkauslujuuteen että puristuskestävyyteen. Jos renkaan pintapaine on suurempi kuin maan kantavuus, rengas uppoaa maahan aiheuttaen urautumista. Sitä ennen voi jo tapahtua maan tiivistymistä, vaikka pellolla ei ole näkyvissä selviä uppoumia. Kuvassa 5.8 on esimerkki renkaan aiheuttamista paineista pellolla. Rengaskuorman kasvaessa paine maan sisällä ulottuu syvemmälle ja leveämmälle alalle. Maan pehmetessä sen kantokyky heikkenee ja paineet kohdistuvat entistä syvemmälle ja kapeammalle alueelle.

Ilman tehtävänä renkaassa on kuorman kanto ja renkaan tehtävänä on ilman pitäminen renkaassa. Renkaan pidon kannalta pitäisi voida käyttää alhaisia paineita ja joustavia renkaita. Tällöin rengas koskettaa maahan pitkältä matkalta ja pehmeästi tasaisesti jakaantuneella pintapaineella ja useampi ripo silloin yhtäaikaa vetämässä. Mitä vahvempi renkaan kudorakenne on, sitä suurempia rengaspaineita ja suurempia kuormituksia voidaan käyttää. Rungon vahventaminen tuo mukanaan jäykemmän rakenteen, jolloin ilmatila ei enää yksinään kanna kuormaa, vaan renkaan sivut kantavat osan siitä. Rengaspaine vaikuttaa renkaan pitoon siten, että paineen alentaminen parantaa pitoa. Suurentunut jousto parantaa myös renkaan puhdistuvuutta ja tarttuvilla mailla rengas pysyy paremmin puhtaana. Koska renkaassa oleva ilma kantaa kuorman, pintapaine on ideaalisessa tapauksessa rengaspaineen suuruinen. Kun otetaan huomioon renkaan rungon kantama osa, pintapaine saadaan lisäämällä rengaspaineeseen kudospaine. Kudospaineet ovat maatalousrenkaissa 0,1-0,5 bar luokkaa. Jotta pel-



Kuva 5.8: Esimerkki renkaan aiheuttamasta paineesta maan sisässä kun renkaan kuormitus muuttuu.

lon pinta säilyisi ehjänä, pitää suosia alhaisia paineita. Maan tyypillisiä kantavuuksia on esitetty taulukossa 5.1. Jotta renkaan uppoaminen vältettäisiin rengaspaineiden pitäisi olla alhaisempia kuin mitä maan kantavuus.

Taulukko 5.1: Maan kantavuuksia

Maalaji	Kantavuus bar
Kuiva hiekka	1,5 - 2,5
Kostea savi	2 - 3
Märkä savi	0,5 - 1,5

5.6.2 Renkaan koon vaikutus

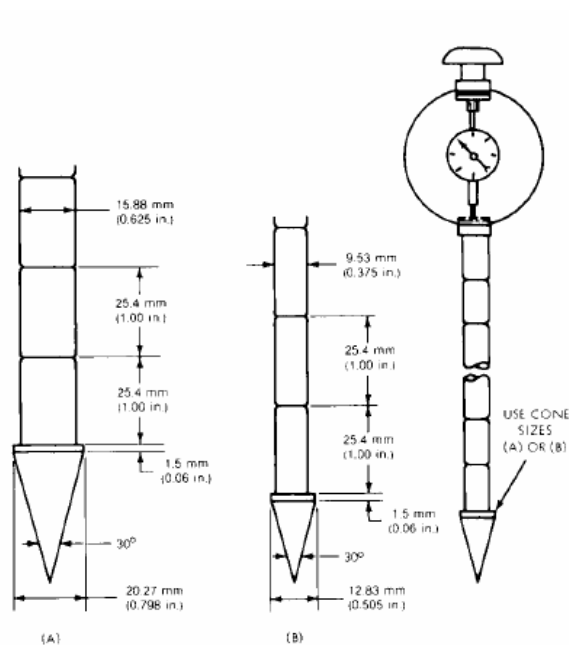
Maatalousrenkaille voidaan asettaa seuraavia perusvaatimuksia:

- Vetäville renkaille hyvä pito
- Kaikille renkaille pieni vierimisvastus
- Mahdollisuus käyttää alhaisia rengaspaineita, jolloin pintapaineet ovat alhaisia

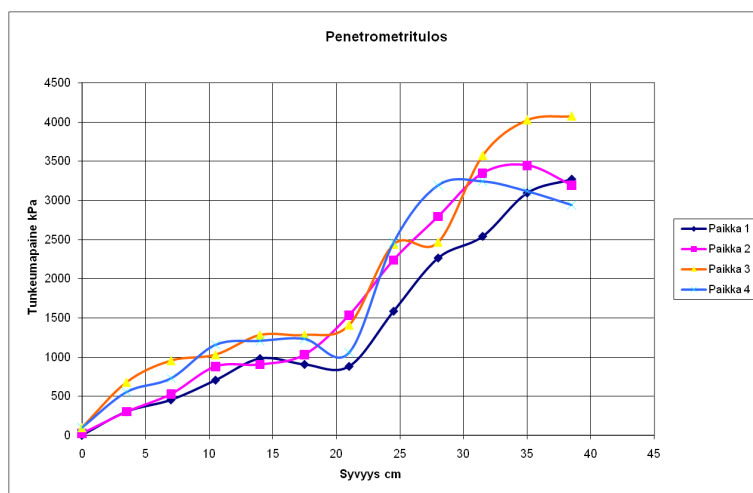
Renkaan kokoa voidaan tarkastella lähtien liikkeelle maan kulkukyvyn ennustamisesta. Koneiden kulkukyvyn mittaamiseen on kehitetty yksinkertainen menetelmä. Se perustuu kartion työntämiseen maahan ja työntövoimasta voidaan laskea tarvittava työntöpaine. Kuvassa 5.9 on esitetty tällainen penetrometrilaitte.

Kuvassa 5.10 on esimerkki mittaustuloksesta. Penetrometrin tunkeuman paine on ollut melko tasainen aina 20 cm syvyyteen asti. Sen jälkeen tarvittava voima on lisääntynyt eli maa on selvästi kovempaa 20 - 35 cm alueella. Liikkumiskykymittausten lisäksi laitetta käytetään runsaasti maatalousmaiden tutkimuksissa. Saatu tunkeumapaineen (cone-index) arvo kuvaa useasti karkeasti maan tilaa, mutta sen käyttö varsinaisena selittäjänä muuttujana ei useinkaan anna hyviä tuloksia.

Renkaan kulkukykyä määritettäessä käytetään 15 cm syvyyteen työnnetyn kartion työntövoiman keskiarvoa koko työntömatkalta. Tämä pätee silloin kun rengas uppoaa korkeintaan 7,5 cm. Jos rengas uppoaa enemmän, silloin käytetään suurimman renkaan uppouman ja 15 cm syvyyden välisen voiman keskiarvoa. Jos rengas uppoaa tätäkin enemmän, mittaus on ulotettava vielä syvemmälle ja kokemukseräisesti on etsittävä sopivin menetelmä. Mittaus tehdään ennen liikennöintiä, koska maa talleantuu ja tiivistyy ajettaessa. Mittaukset täytyy tehdä melko tiheään, koska mittaus on täysin pistemäinen. Eri paikkojen väliset vaihtelut ovat melko suuret, mutta lopputuloksena saatava ennuste on melko hyvä. Eri kovuisia maalajeja varten kartio voidaan vaihtaa



Kuva 5.9: Maan kulkukyvyn ennustamiseen käytetty penetrometri [Elonen et al 1995]



Kuva 5.10: Esimerkki penetrometrituloksista. Mittauksia on tehty samalta paikalta 4 kpl vierekkäin.

pienemmäksi tai suuremmaksi. Keskiarvovoima jaetaan kartion pinta-alalla, tulos ilmoitetaan yleensä käyttäen paineen yksikkönä. Tämän arvon mukaan maatalousmaat voidaan jakaa taulukon 5.2 mukaisesti.

Kun maan cone index arvo on tiedossa, voidaan laskea renkaan kehävoimakertoimen ja vierimisvastuskerroimen ennusteet yhtälöiden 5.2 ja 5.3 avulla. Ensiksi lasketaan renkaan liikkuvuusluku, yhtälö 5.1.

$$C_n = \frac{CI \cdot b \cdot d}{R} \quad (5.1)$$

- C_n = renkaan liikkuvuusluku
- b = renkaan leveys
- d = renkaan halkaisija
- R = rengaskuorma

Tämän jälkeen voidaan laskea kehävoimakerroin ja vierimisvastuskerroin, yhtälöt 5.2 ja 5.3. Nämä mallit pätevät kun renkaan poikkelevyyden suhde halkaisijaan on $n \approx 0,3$. Kirjallisuudesta löytyy useita ja edellisiä tarkempia malleja, esim. ASAE D497 [ASAE D497].

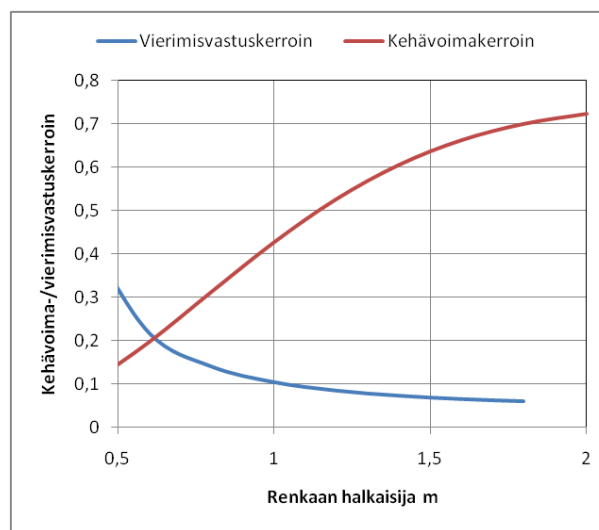
$$\mu = 0,75 (1 - e^{-0,3 \cdot C_n \cdot s}) \quad (5.2)$$

Taulukko 5.2: Maan luokittelu Cone Index arvon mukaisesti

Maa	Cone Index arvo kPa
Märkä ja pehmeä maa	200
Kuiva ja pehmeä maa	400
Märkä savimaa	500
Kuiva sänkipelto	1000

$$f = \frac{1,2}{C_n} + 0,04 \quad (5.3)$$

Kuvassa 5.11 on esimerkki siitä, miten renkaan koko vaikuttaa sen ominaisuuksiin. 1 m halkaisija riittää tässä tapauksessa pieneen vierimisvastukseen, mutta jos rengas on vetävä tarvittaisiin mieluummin 1,5 m kokoinen rengas.



Kuva 5.11: Esimerkki renkaan koon vaikutuksesta kehävoima- ja vierimisvastuskertoimeen

Esimerkki

Lietelantavaunun rengaspaino on 2000 kg ja vaunun halutaan liikkuvan helposti kuivalla ja pehmeällä pellolla. Minkä kokoiset renkaat siihen kannattaa valita?

Kuivan ja pehmeän pellon cone index arvo on 400 kPa. Malli pätee kun renkaan leveys on 0,3 sen halkaisijasta, otetaan halkaisijaksi 1m, jolloin leveys on 0,3 m. 2000 kg rengaspaino on kuormana n 20 kN (2000 kg · 9,81 m/s²). Lasketaan renkaan liikkuvuusluku, $C_n = \frac{400 \text{ kPa} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}}{20 \text{ kN}} = 6,0$. Koska rengas ei ole vetävä, meitä ei kiinnosta kehävoimakkerroin, vaan vierimisvastuskerroin $f = \frac{1,2}{6,0} + 0,04 = 0,24$. Tämän suuruinen vierimisvastuskerroin merkitsisi hieman heikkoa kulkukykyä, joten lasketaan asia toisin päin.

Kohtuullinen liikkuminen saadaan aikaiseksi kun $f=0,15$. Tästä seuraa, että liikkuvuusluku yhtälöstä 5.3 ratkaistuna on $C_n = \frac{1,2}{f-0,04} = \frac{1,2}{0,15-0,04} = 10,9$. Tämän jälkeen lasketaan yhtälöstä 5.1 tarvittava halkaisija käyttäen leveydelle arvoa 0,3 d. $d = \sqrt{\frac{C_n R}{C I \cdot 0,3}} = \sqrt{\frac{6,0 \cdot 30 \text{ kN}}{400 \text{ kPa} \cdot 0,3}} = 1,2 \text{ m}$.

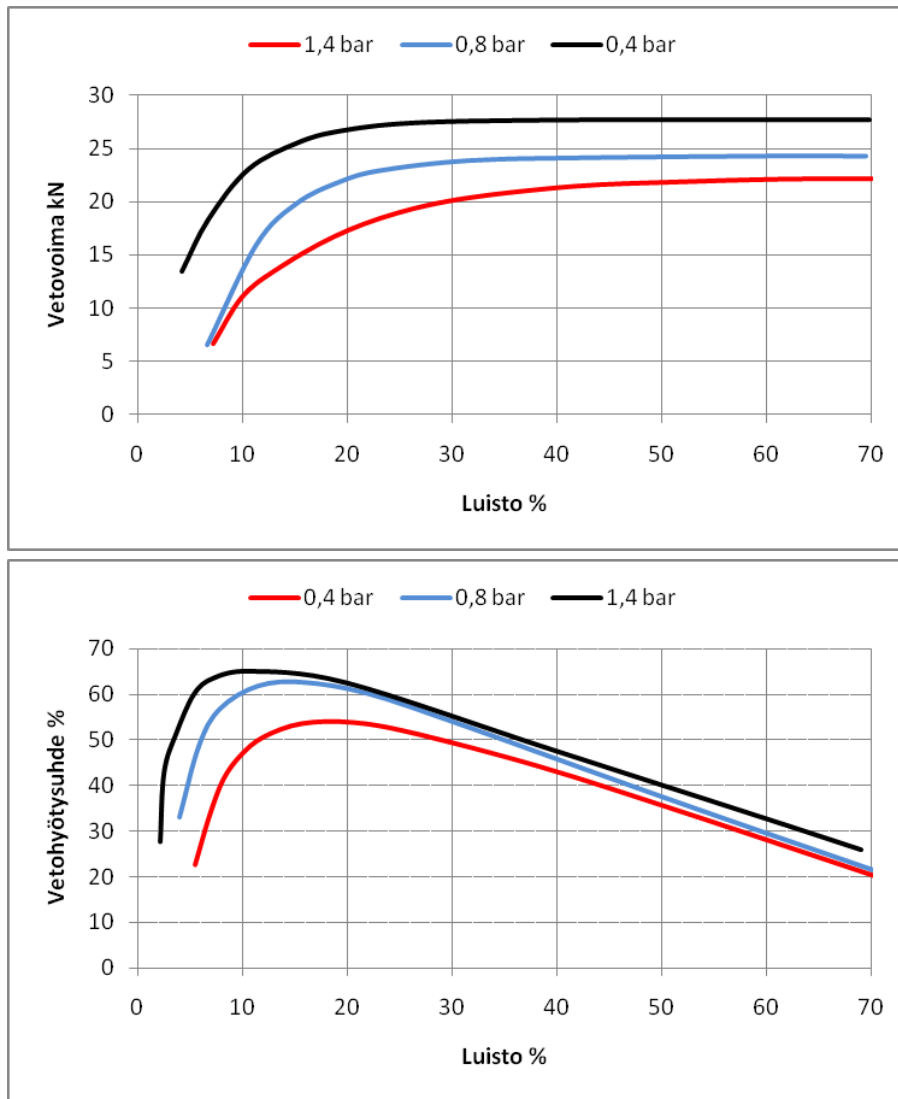
5.6.3 Rengaspaine

Rengaspaine vaikuttaa pintapaineen lisäksi sekä vetovoimaan että vierimisvastusvoimaan. Jotta pintapaine olisi alhainen, tarvitaan alhainen rengaspaine, silloin renkaat eivät uppoa maahan. Kun renkaan uppouma on pieni, myös vierimisvastus on pieni. Renkaan ilmanpaineen vähentäminen lisää renkaan joustoa ja tämä aikaansaa pidemmän kosketuspituuden. Jos kuvan 5.7 renkaan kosketuspituus lisääntyy, samalla useampi ripa on vetämässä ja renkaan kehävoima suurenee eli pito paranee. Kuvassa 5.12 on koetulos rengaspaineen vaikutuksesta

5 Traktorin ja työkoneneen energian tarve

traktorin vetovoimaan ja vetohyötysuhteeseen. Kun maantiepainne (1,4 bar) vaihdetaan peltoapaineeksi 0,8 bar, hyötysuhde paranee 10 %-yksikköä eli samalla myös energiatehokkuus paranee saman verran. Rengaspaine vaikuttaa myös renkaan puhdistuvuuteen. Kova rengas ei jousta ja se ei puhdistu samalla lailla kuin joustava rengas.

Sallitun rengaspaineen määrää renkaan kuormitus ja ajonopeus. Ongelmaksi tulee usein maantiellä kulkemisen ja peltotyön erilaiset painevaatimukset. Lisäksi rengaskuormat on monasti hankala määrittää ja siksi oikean rengaspaineen valinta on hankalaa.



Kuva 5.12: Rengaspaineen vaikutus vetovoimaan ja vetohyötysuhteeseen [?]

6 Työkoneen koon valinta ja tehokas traktorin käyttö

Valittaessa traktoriin sopivaa työkonetta on kaksi perusasiaa, jotka pitää toteutua. Traktorin pitää aikaansaada riittävä vetovoima, jotta se pystyisi vetämään työkonetta ja moottorissa pitää olla riittävästi tehoa, jotta voidaan käyttää oikeaa työnopeutta. Kolmantena perusasiana näiden jälkeen tulee kuljettaja, jonka pitää osata säätää kone oikein ja valita oikea työnopeus.

6.1 Vetovoiman tarve

Traktorin vetovoima saadaan yhtälön 3.3 avulla ja sen pitää olla kohtuullisella pyörien luistolla (10 - 20%) saman suuruinen kuin työkonetta vetävä voima, yhtälö 4.7 (4.8). Loppujen lopuksi vetovoimassa on kysymys traktorin painosta. Mitä suurempi paino on, sitä suurempi on vetovoima. Jos vetovoima jää liian pieneksi, sitä voidaan korjata lisäpainojen avulla, kunhan traktori ei uppoa peltoon, jolloin vastusvoimat kasvavat suuriksi.

Esimerkki

Traktorin massa on 4800 kg ja siihen valitaan sopivaa lautasäestä kylvömuokkausta varten. Kuinka leveä lautasäe siihen voidaan valita?

Normaaliolosuhteissa kehävoimakerto on 0,4 ja vierimisvastuskerroin 0,1. Tällöin vetovoima on $F_t = (0,4 - 0,1) \cdot 4800 \cdot 9,81$ (yhtälö 3.3) = 14,1 kN. Tämän vetovoiman traktori aikaansaa normaalilla pellolla, kun pyörien luisto on 15%, kuva 3.2. Lautasäkeen vetovastus voidaan laskea yhtälön 4.7 avulla. Oetaan keskijäykkä maalaji ja käytetään taulukon 4.2 kertoimia. $F_t = 0,88 \cdot (22 + 1,1 \cdot 8) \cdot 0,06 \cdot b = 14,1 \Rightarrow b = \frac{14,1}{1,6} = 8,6$ m. Traktori pystyy painonsa puolesta vetämään 8,6 m äestä kun nopeus on 8 km/h ja työsyvyys on 6 cm.

6.2 Moottoritehon tarve ja polttoainetalous

Jos traktori pystyy painonsa perusteella vetämään työkonetta, moottoriteho ratkaisee millä nopeudella työ on mahdollista tehdä. Moottoriteho voidaan laskea yhtälön 3.12 avulla kun vetoteho on ensiksi laskettu.

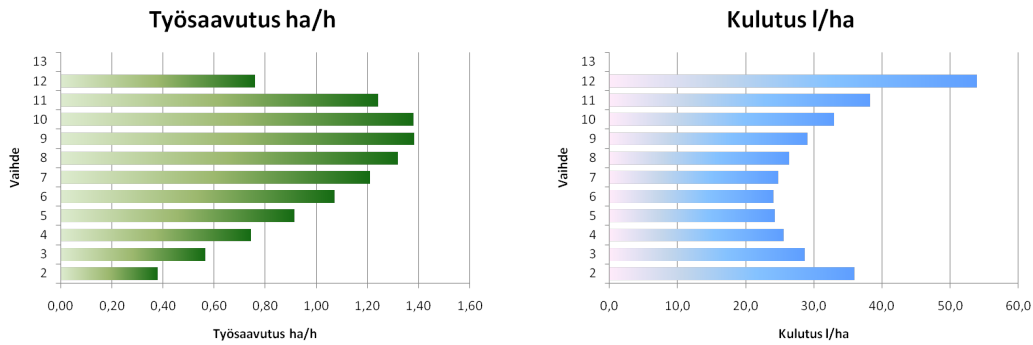
Esimerkki

Edellisen esimerkin traktorin moottoriteho on 81 kW. Millä nopeudella traktori pystyy vetämään äestä? Lasketaan ensiksi mikä on traktorin vetoteho. Oletetaan yhtälön 3.12 kertoimeksi $k=1,7$, jolloin vetoteho on $P_t = \frac{81}{1,7} = 48$ kW. Kun vetovastus oli 14,1 kN, nopeudeksi saadaan, $v = \frac{P_t}{F_t} = \frac{48}{14,1} = 3,4$ m/s = 12,2 km/h. Alunperin vetovastus laskettiin ajonopeudelle 8 km/h eli traktorin teho riittää hyvin sen vetämiseen. Itse asiassa voitaisiin käyttää suurempaakin nopeutta kuin 8 km/h, jos vain työn jälki pysyy hyvänä. Ajonopeutta lisääessä myös äkeen vastus kasvaa ja ilmeisesti n 10 km/h nopeuden kohdalla teho voisi alkaa rajoittamaan työtä. Äkeen vetovastus ei vielä lisääntyisi niin paljo, että luisto kasvaisi merkittävästi. Työntekoa voitaisiin myös optimoida käyttämällä traktorissa lisäpainoja. Niillä saataisiin viritettyä työntekoa niin, että voimantarve ja tehontarve osuisivat samoihin kohtiin (samaa nopeuteen).

Pieni vetovastus tai pieni vetotehon tarve eivät tarkoita aina pientä polttoaineen kulutusta. Traktorin moottorin hyötysuhde muuttuu usein enemmän kuormituksen muuttuessa kuin vetotehon tarve muuttuu nopeuden lisääntyessä. Tämän seurauksena pienentynyt vetoteho voikin aiheuttaa laskettaessa polttoaineenkulutusta pinta-alaa kohti (l/ha) suurentuneen kulutuksen.

Kuvassa 6.1 on esimerkki ajovaihteen vaikutuksesta työsaavutukseen ja polttoaineen kulutukseen. Kuvasta näkyy, että työsaavutuksen huipun ja kulutuksen minimi ovat eri ajovaihteilla. Tämä johtuu tässä esimerkissä siitä, että ajonopeuden lisääntyessä vetovastus ja sitä kautta pyörien luisto lisääntyy, jolloin luistoon kuluva hukkateho lisääntyy ja polttoainetalous heikkenee. Kuvan esimerkissä 7. vaihteen luisto on 16 % ja seuraavan

jo yli 20 %. Jotta peltoon ei tulisi uria, 8. vaihde ja sitä suuremmat vaihteet voivat jättää peltoon uria. Jos ajovaihde on kovin pieni, nähdään, että kulutus l/ha kasvaa. Tämä johtuu siitä, ettei moottori kuormitu täysin ja sen hyötysuhde on huono.



Kuva 6.1: Esimerkki työsaavutuksesta ja polttoainenkulutuksesta

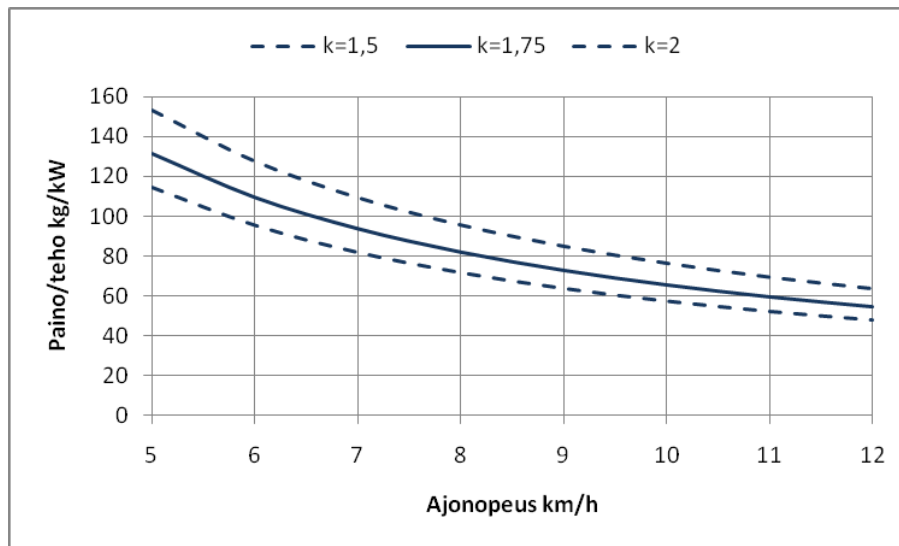
Esimerkki.

6.3 Lisäpainot

Vetoteho on $P_t = F_t v_a$ ja vetovoima (4-veto) on $F_t = (\mu - f)G = (\mu - f)mg$. Lasketaan kuinka suuri massa tarvitaan 1 kW vetotehoa varten. Edellä olevista yhtälöissä P_t merkataan 1 kW suuruiseksi ja kun käytetään perusyksikköä, se on 1000 W. Tällöin saadaan yhtälö 6.1, joka ilmaisee tarvittavan traktorin massan vetotehon yhtä kilowattia kohti $m = \frac{1000}{(\mu - f) \cdot g \cdot v}$ ($g=9,81 \text{ m/s}^2$). Moottoritehon täytyy olla 1,5 - 2 -kertainen vetotehoon nähden (yhtälö 3.12), jolloin moottoritehon suhteen laskettaessa luku jaetaan tällä kertoimella ja saadaan yhtälö 6.1.

$$m = \frac{1000}{(\mu - f) \cdot g \cdot v \cdot k} \tag{6.1}$$

Kuvassa 6.2 on esimerkki traktorin painon ja moottoritehon suhteesta tavanomaisella pellolla (kuva 3.2). Jos traktori on kevyempi kuin kuvan käyrästä antaa, silloin koko moottoritehoa ei pystytä hyödyntämään, vaan traktorin renkaat luistavat ennenkuin koko moottoriteho on käytössä. Liian suuri paino taas aiheuttaa suuren vierimisvastusvoiman ja sitä kautta tehonhukan. Lisäpainojen avulla traktorin paino voidaan virittää kutakin työtä varten. Lisäpainojen ja etenkin takalisäpainojen asentaminen on kuitenkin hankalaa ja tämän takia sitä ei yleensä tehdä.



Kuva 6.2: Traktorin painon ja moottoritehon suhde normaaliolosuhteissa

Esimerkki

Vetohyötysuhde on suurimmillaan 15% luiston paikkeilla. Kuvan 3.2 mukaan normaalilla pellolla kehävoimakerron on tuolloin 0,4. Vierimisvastuskerroin on 0,1. Kuinka paljon traktorissa tarvitaan painoa, jotta tämä tilanne saavutetaan, kun työnopeus on 2 m/s ja kerroin $k=1,7$?

$$m = \frac{1000W}{(0,4-0,1) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 2 \frac{m}{s} \cdot 1,7} = 100 \text{ kg.}$$

6.4 Työkoneen käytön laskentaohjelma

Traktorin ja työkoneen yhteensovittamista ja eri vaihtoehtojen kokeilua varten on tehty yksinkertainen laskentaohjelma. Se on ladattavissa esim. sivustolta <http://www.energia-akatemia.fi/Sivut/Laskurit.aspx>. Ohjelma on Excel pohjainen ja sen käyttöä varten on oma ohjeensa.

7 Polttoaineen kulutus kuljetuksissa ja siirtymissä

7.1 Yleistä

Maataloudessa kuljetukset ovat hyvin tärkeässä asemassa. Siemenet ja lannoitteet on kuljetettava pellolle, sato on tuotava sieltä pois ja koneet, laitteet ja ihmiset on myös kuljetettava työpaikalle ja takaisin. Suomen viljasato on vuosittain 3000 - 4000 milj. kg, säilörehusato on 7000 - 8000 milj. kg ja muu sato on 2000 milj. kg. Maidon-tuotanto on 170 - 190 milj. litraa ja lihantuotanto 300 - 400 milj. kg. [Maataloustilasto]Lannoitteita käytetään vuosittain 800 - 1000 milj. kg. Kaikkien näiden aineiden kuljetuksissa on useita vaiheita ja esimerkiksi pelto-tuotannossa lähdetään tai lopetetaan kuljetus peltolohkolla. Maatalouteen liittyvien kuljetusten osuus koko maan kuljetuksista on arvioitu esim. Ruotsissa 12% koko maan kuljetusmäärästä [Ljungberg 2006] ja Saksassa maatalouteen liittyvien kuljetusten on arvioitu olevan runsaampaa kuin maan koko rautatiekuljetus yhteensä [Götz et al 2011]. Suurimmat kuljetusmäärät on karjataloudessa. Saksassa tutkittiin 92 maatilan kuljetuksia [Bernhardt ja Weise 2001] ja suurin kuljetusmäärä tuli lannan kuljetuksista. Kaikista kuljetusmäärästä 32 % oli joko kuiva- tai lietelantaa. Seuraavina tuli tuorerehun ja heinän kuljetus 22 %. Kolmanneksi suurimpana on viljasadon kuljetus 17%. Tämä kuljetustarve näkyy meillä myös traktoreiden vuotuisissa käyttömäärissä. Karjatiloiilla käyttömäärät ovat selvästi viljatiloja suuremmat.

Kuljetusten energian tarve ilmoitetaan usein kuljetettavaa massaa ja ajettua matkaa kohden. Tarvittava polttoainemäärä saadaan silloin yhtälön 7.1 mukaisesti.

$$q_V = A \cdot M \cdot L \quad (7.1)$$

- q_V = polttoaineen kulutus [l]
 A = kuljetuksen ominaiskulutus $\left[\frac{l}{t \cdot km}\right]$
 M = kuorman massa [t]
 L = kuljetusmatka [km]

Peltokuljetuksissa kuljetuksen ominaiskulutus on $0,092 \frac{l}{t \cdot km} = 3,2 \frac{MJ}{t \cdot km}$ [Ermittlung der Kraftstoffverbrauch 2005]. Yhtälö antaa arvion kulutuksesta kuorman massan perusteella. Taulukossa 7.1 on esitetty eri kuljetusvälineiden polttoaineen kulutusarvoja kuljetuksissa.

Taulukko 7.1: Polttoaineen ominaiskulutuksia eri kuljetusvälineitä käytettäessä [Fluck and Baird 1982]

Kuljetusväline	Ominaiskulutus $\frac{MJ}{t \cdot km}$
Laiva	0,3 - 0,8
Rautatie	0,4 - 0,9
Kuorma-auto	1,6 - 4,5
Lentokone	1 - 30

Esimerkki

Traktorilla kuljetetaan 7 t viljakuorma 50 km päähän. Kuinka paljon tähän kuluu polttoainetta?
 $q_V = 0,092 \cdot 7 \cdot 50 = 32 \text{ l}$.

7.2 Polttoaineen laskennallinen kulutus

Lähdekirjallisuus ei kerro onko taulukon 7.1 lukemiin otettu mukaan myös paluumatkat, jotka usein tehdään tyhjänä eikä se myöskään anna lukemia pelkille siirtoajoille. Lähdetään sen takia katsomaan asiaa teoreettisesti.

Traktorin tai ajoneuvon liikkumiseen tarvittava teho saadaan vierimisvastuksen F_v (yhtälö 1.4) ja rinnevastuksen F_r (yhtälö 1.5) sekä ajonopeuden avulla:

$$P = (F_v + F_r) \cdot v \quad (7.2)$$

Matkaan käytetty energiamäärä saadaan kertomalla matka kestoajalla ja polttoaineen kulutus kertomalla tämä taas moottorin ominaiskulutuksella. Ongelmana on ominaiskulutuksen määrittäminen, koska se riippuu moottorin kuormittamisesta.

Esimerkki

Traktorin massa on 5 t ja perävaunun 3 t. Perävaunussa on 8 t kuorma. Mikä on polttoaineen kulutus soratiellä? Helpotetaan esimerkkiä niin, että oletetaan tien olevan vaakasuoran, jolloin mäki- ja rinnevastus voidaan jättää pois. Yhdistelmän kokonaismassa on 16 t ja soratien vierimisvastus on 0,05 (taulukko 1.2). Vierimisvastus voima on $0,05 \cdot 16 \cdot 1000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 7,8 \text{ kN}$. Jos traktorin nopeus on 40 km/h, tehoksi saadaan $7,8 \cdot 40/3,6 = 87,2 \text{ kW}$. Jos meillä olisi käytössä kuvan 1.1 mukainen traktori, 87 kW vastaava ominaiskulutus on kun kaasuvipu on täysin auki n 300 g/kWh. Kulutus on tällöin $87 \cdot 300 = 26,1 \text{ kg/h}$ eli 31,4 l/h. Jos halutaan saada selville kulutus sataa kilometriä kohden, niin 40 km/h nopeudella siihen kuluu $100/40 = 2,5 \text{ h}$ ja polttoainetta tarvitaan $2,5 \cdot 31,4 = 79 \text{ l}$. Melkoinen kulutus verrattuna vaikka dieselhenkilöautoon. Jos kyseessä olisi asfalttie, vierimisvastuskerroin olisi 0,02 ja tehontarve olisi 35 kW. Tätä vastaava ominaiskulutus kuvassa 1.1 on n 350 g/kWh, jolloin tarvittaisiin 37 l polttoainetta sataa km kohden. Arvioi miten mätet vaikuttaisivat kulutukseen?

Traktorin tai itsekulkevan työkoneneen polttoaineen kulutus ajettua kilometriä kohden voidaan arvioida seuraavasti. Moottorin kulutus g/h saadaan kertomalla teho ominaiskulutuksella $q_{g/h} = P \cdot q_{om}$. P on moottorilta otettava teho ja q_{om} on sitä vastaava ominaiskulutus. Oletetaan, että voimansiirron hyötysuhde on hyvä eli sen arvo on 1. Tällöin moottoriteho on sama kuin yhtälön 7.2 vetoteho. Jos kyseessä ei ole täysin mekaaninen voimansiirto, silloin hyötysuhde kannattaa myös ottaa huomioon. Suurimpana epävarmuustekijänä laskuissa on kuitenkin moottorin ominaiskulutus. Siitä meillä on vain jonkinlainen arvio, jolloin voimansiirron todellisella hyötysuhdeella ei ole paljoakaan merkitystä. Laskenta edellyttää myös ettei vetävät pyörät luista kovasti. Tiekuljetuksissa on näin, peltoajossa tilanne on toinen. Pellolla kuljettu matka on yleensä lyhyt, jolloin sen merkitys on pieni. Kun äskeinen yhtälö jaetaan ajonopeudella km/h, saamme kulutuksen ajettua km kohden, $q_{g/km} = \frac{q_{g/h}}{v}$. Kun otetaan huomioon yhtälö 7.2, saadaan kulutukseksi ajettua km kohden [g/km]:

$$q_{g/km} = \frac{(F_v + F_r) \cdot q_{om}}{3600} \quad (7.3)$$

Tasaisella maalla $F_r = 0$ ja $F_v = fG$. Ominaiskulutusta voidaan arvioida seuraavasti, kevyt moottorin kuormitus 350 - 400 g/kWh, kohtuullinen kuormitus 300 - 350 g/kWh ja raskas kuormitus 250 - 300 g/kWh. Perävaunun koko suhteessa traktoriin vaikuttaa ominaiskulutukseen. Jos isossa traktorissa on pieni perävaunu kiinni, kuormitus on lähes aine kevyttä.

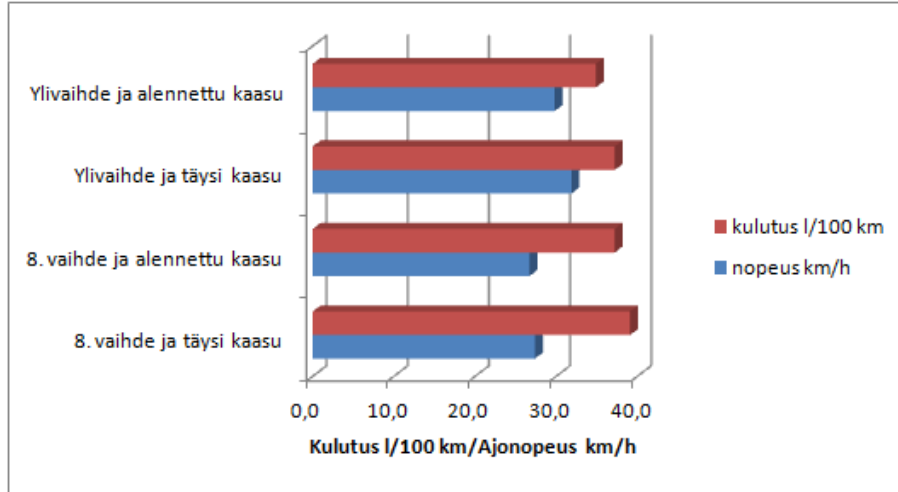
Esimerkki

Traktori painaa 6 tonnia ja perävaunu tyhjänä 3 tonnia. 8 tonnin kuorma kuljetetaan asfalttietä 25 km päähän. Paljonko tähän kuluu polttoainetta? Asfalttitiellä vierimisvastuskerroin on 0,02, jolloin tyhjänä tarvitaan $0,02 \cdot 9000 \cdot 9,81 = 1,8 \text{ kN}$ voima. Kuormattuna vastaavasti voima on 3,4 kN. Oletetaan tyhjänä ajettaessa 350 g/kWh kulutus ja kuormattuna 300 g/kWh. Tyhjänä ajettaessa kulutus on $1,8 \cdot 350/3600 = 0,18 \text{ kg/km}$. Kuorman kanssa kulutus on $3,4 \cdot 300/3600 = 0,28 \text{ kg/km}$. Dieselöljyn tiheys on 0,83 kg/l, jolloin kulutus on tyhjänä 0,22 l/km ja kuormattuna 0,34 l/km. Tyhjänä ajettaessa matkaan kuluu 5,5 l ja kuormattuna 8,5 l, yhteensä 14 l. Jos sama asia lasketaan yhtälön 7.1 avulla ja käyttäen peltokuljetuksen lukua 0,092 l/(t·km), saadaan 18,4 l.

Miksi traktori on tehottomampi kuljetuksissa kuin kuorma-auto. Tähän on kolme perussyytä. Traktori on tehty vetämään työkoneneita, jolloin siinä on suhteessa paljon enemmän massaa kuin vastaavan tehoisessa kuorma-autossa. Toiseksi, kuorma-autot on tehty nopeaa ajoa varten ja niiden vaihteistojen avulla moottorin kierrokset saadaan alhaisiksi ja ominaiskulutukset myös sen ansiosta alhaisiksi. Kolmanneksi, traktorin renkaat on tehty peltotöitä varten ja ne eivät ole hyvät kovalla pinnalla ajettaessa.

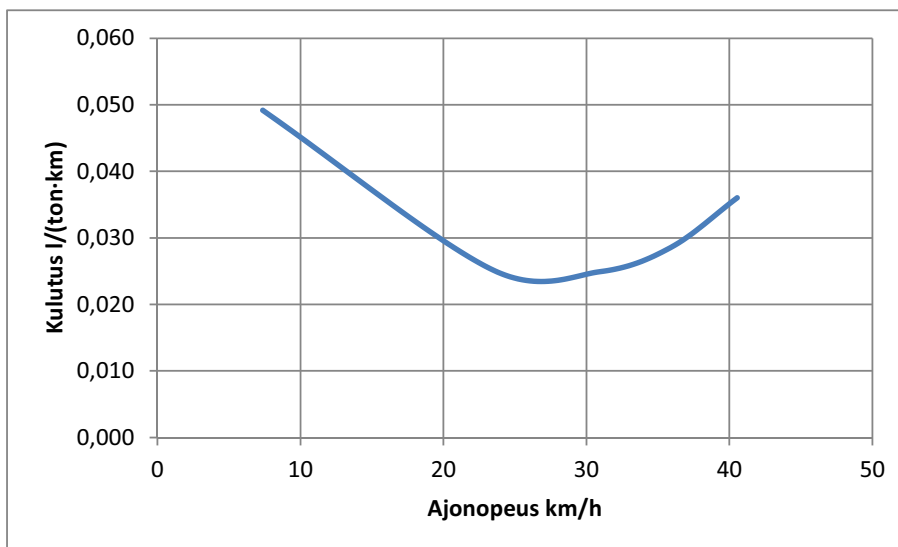
7.3 Mitattuja polttoaineen kulutuksia

Kuvassa 7.1 on esimerkki Valmet 805-4 traktorin polttoaineen kulutuksesta maantieajossa asfalttitiellä, kun ajossa on käytetty kahta eri vaihdetta ja täyttä kaasua tai alennettuja kierroksia [Ahokas 1986]. Tässä kokeessa kulutus oli 35 - 39 l/100 km. Jos moottorin kierroksia hieman alennetaan ajettaessa, silloin kulutus oli 5 - 6 % alempi. Koe tehtiin myös tasaisilla teillä, silloin kulutus oli 29 - 31 l/100 km.



Kuva 7.1: Esimerkki maantiekuljetuksen polttoaineen kulutuksesta mäkisellä osuudella. Kokonaismassa oli 15600 kg.

Moitzi et al [Moitzi et al 2008] testasivat 92 kW traktoria ja kaksiakselista perävaunua, jossa oli 16,5 tonnin rypsi kuorma. Kuvassa 7.2 on kokeiden tuloksena saatu ajonopeuden vaikutus polttoaineen kulutukseen. Kun traktorilla pyritään ajamaan mahdollisimman kovaa, moottorin hyötysuhde on huono ja siitä johtuu, että kulutus lisääntyy suurilla nopeuksilla käytettäessä. Tutkijat päätyivät suositukseen, jonka mukaan kuljetuksissa kannattaisi käyttää moottorin nopeutta, joka on 70 - 80 % moottorin nimellisa nopeudesta. Jos moottorin nimellisa nopeus on 2200 1/min, tämä tarkoittaisi 1500 - 1800 1/min moottorin nopeuksia.



Kuva 7.2: Ajonopeuden vaikutus polttoaineen kulutukseen, 16,5 tonnin kuorma perävaunussa [Moitzi et al 2008]

Götz et al [Götz et al 2011] vertasivat teholtaan 140 kW traktoria liikennetraktoriin ja rekka-autoon samalla 36,6 km reitillä. Polttoaineen kulutus vaihteli 30 - 80 l/100 km kohden. Pienimmillään kulutus oli ilman kuormaa ajettaessa ja suurimmillaan täydellä kuormalla. Kun tämä suhteutetaan hyötykuormaan saadaan 0,02 - 0,04

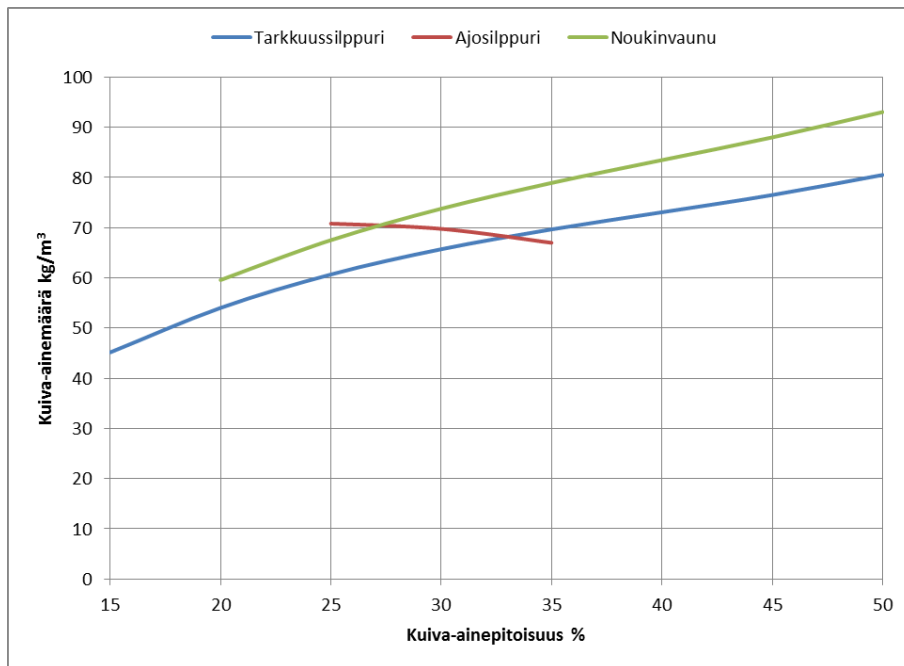
$\frac{l}{\text{ton}\cdot\text{km}}$ (0,9 - 1,7 $\frac{MJ}{\text{ton}\cdot\text{km}}$). Rekka-auto ja liikennetraktori kuluttivat vähiten ja tavallinen maataloustraktori eniten. Suuruusluokaltaan koneet vastasivat jo pidemmän kuljetusmatkan ajoa, ei esim. tiluskuljetuksia.

Seufert et al [Seufert et al 2002] vertasivat perävaunun matala- ja korkeapainerenkaita. Maantiellä korkeapainerenkaat kuluttivat 7% vähemmän polttoainetta. Pellolla tilanne oli toisinpäin, matalapainerengas kulutti 16 % vähemmän polttoainetta. Lisäksi korkeapainerenkaat jättivät peltoon melko syvät urat, jolloin maan rakenne kärsi tästä. Maantiekuljetuksissa kulutukset olivat tyhjänä ajettaessa 40 - 50 l/100 km ja kuormattuna 80 - 90 l/100 km. Pellolla kulutus oli kuormattuna 250 - 300 l/100 km.

Udompetaikul et al [Udompetaikul et al 2009] mittasivat traktorin polttoaineen kulutuksen, kun kuormana oli 10 ja 17,6 tonnin kuorma 2,5 tonnia painavassa kaksiakselisessä perävaunussa. Rengaspaineet olivat 0,6, 1,1 ja 1,6 bar. Kun rengaspaineita lisättiin polttoaineen kulutus väheni 0,6 bar verrattuna 7,3 % kun käytettiin 1,1 barin painetta ja 11,4 % kun käytettiin 1,6 bar painetta. Kun perävaunu oli tyhjänä, kulutus oli 38- 42 l/100 km ja kun kuormana oli 17,6 tonnia, kulutus oli 46 - 53 l/100 km. Kun ajettiin mäkisellä tiellä, kulutus kaksinkertaistui. Hyötykuormaa kohden laskettuna kulutukset olivat 0,04 $\frac{l}{\text{ton}\cdot\text{km}}$ (1,4 $\frac{MJ}{\text{ton}\cdot\text{km}}$), kun käytettiin 10 tonnin kuormaa ja 0,03 $\frac{l}{\text{ton}\cdot\text{km}}$ (1,1 $\frac{MJ}{\text{ton}\cdot\text{km}}$), kun käytettiin 17,6 tonnin kuormaa. Suurempi hyötykuorma alensi kulutusta 25% kun kulutus lasketaan ton·km kohden.

7.4 Kuorman vaikutus kulutukseen

Karjataloudessa kuljetetaan paljon rehua ja lantaa. Näissä kuljetuksissa vesipitoisuus vaikuttaa kuljetustarpeeseen ja polttoaineen käyttöön. Mitä enemmän materiaalissa on vettä, sitä suurempaa massamäärää kuljetetaan. Kuivaamalla materiaalia saadaan vesimäärää vähennettyä ja kuljetuksia tehostettua. Kuvassa 7.3 on esitetty tyypillisiä mitattuja kuormien kuiva-ainemääriä, kun käytössä erilaisia silppureita [TilaArtturi]. Luvuissa on melko paljon vaihtelua, koska esimerkiksi silpunnin vaikutus tilavuuspainoon. Ajosilppurin osalta aineisto kattaa suppeamman kuiva-ainepitoisuusalueen kuin muilla ja sen takia käyrän muoto ei välttämättä ole oikea. Tarkkuussilppurin ja noukinvaunun osalta kuiva-ainepitoisuuden lisääntyminen lisää kuiva-ainemäärää (rehun osuutta). Tämä johtuu vähemmästä massassa olevasta vesimäärästä.



Kuva 7.3: Tuorerehun kosteuspitoisuuden mukainen kuiva-ainemäärä

7.5 Yhteenvetoa kulutuksista

Polttoaineen kulutukset suuruusluokat ovat hyvin selvillä, maantiekuljetuksissa kulutus on tyhjänä 30 - 50 l/100 km ja kuormattuna kulutus lisääntyy suurimmillaan luokkaan lähes 100 l/100 km. Hyötykuormaan kohden

7 Polttoaineen kulutus kuljetuksissa ja siirtymissä

laskettuna kulutus on $0,02 - 0,04 \frac{l}{ton \cdot km}$. Näillä luvuilla laskettaessa on otettava huomioon lisäksi yleensä tyhjänä tapahtuvat siirtymät. Mäkisessä maastossa ajettaessa kulutukset voivat kaksinkertaistua ja pellolla ajettaessa kolmin- nelinkertaistua.

Kuljetuksissa kulutukseen voidaan vaikuttaa seuraavasti:

- Kovalla alustalla käytetään mahdollisimman korkeita rengaspaineita. Pehmeällä alustalla käytetään mahdollisimman alhaisia rengaspaineita.
- Kuormat ovat mahdollisimman suuria.
- Moottorin pyörimisnopeudet pyritään pitämään alhaisina.
- Tuotantoa (peltolohkoja) pyritään järjestämään siten, että kuljetustarve otetaan huomioon

8 Viljelytapojen ja kuljettajan vaikutus

8.1 Ajallisuuskustannus

Töiden ajallaan tekeminen (ajallisuus) vaikuttaa satoon kuvan 8.1 mukaisesti. Jos kevättyöt tehdään liian aikaisin tai liian myöhään, kumpikin pienentävät saatua satoa. Kaikkia peltotöitä ei voida tehdä samanaikaisesti, jolloin työt joudutaan aloittamaan ennen sopivinta aikaa ja myös lopettamaan sopivan ajan jälkeen. Kuvan 8.1 tulokset perustuvat laajoihin koesarjoihin ja jos siitä lasketaan keskimääräinen päivittäinen tappio, se on 1,4 %/vrk. Jos satotaso on 3500 kg/ha, silloin ajallisuustappio on n 50 kg/(ha·vrk). Nämä tulokset pätevät virolaisiin olosuhteisiin [Laine 1996]. Ruotsalaiset vastaavat tulokset ovat kevätiljojen osalta 43 kg/(ha·vrk) ja syysviljojen osalta 30 kg/(ha·vrk) [Söhne 1958]. Toro & Hansson [Söhne 1958] laskevat ajallisuuskustannuksista johtuvan tappion yhtälön 8.1 mukaisesti. Ongelmana yhtälön käytössä on optimiajan määrittäminen. Se vaihtelee vuosittain säiden mukaan ja se on myös eri paikkakunnille ja maalajeillekin erilainen. Töiden kapasiteetin suunnittelu voidaan kuitenkin tehdä tämän avulla, koska siinä kiinnostaa vain kuinka paljon rahallista tappiota tulee, jos työt viivästyvät. Ajallisuuskerroin eli vuorokautinen satotappio riippuu paikkakunnasta, säästä ja maalajista.

$$Y = kA(\Delta t_a + 0,5\Delta t_l) \quad (8.1)$$

- Y = ajallisuustappio [kg]
- k = ajallisuuskerroin, tappion [kg/(ha·vrk)]
- A = pinta-ala [ha]
- Δt_a = kylvöjen aloitus vrk ennen optimiaikaa
- Δt_l = kylvöjen lopetus vrk optimiajan jälkeen

Esimerkki

Tiedetään, että kevättöiden satotappio on 50 kg/(ha·vrk) keväällä optimiajan ulkopuolella tehdystä kylvöstä. Kuinka suuri tappio on, jos 100 ha kylvöt aloitetaan 4 vrk ennen optimia ja lopetetaan joko 1 vk tai 2 vk optimiajan jälkeen? Mikä on rahallinen tappio, jos viljan hinta 20 centtiä/tonni?

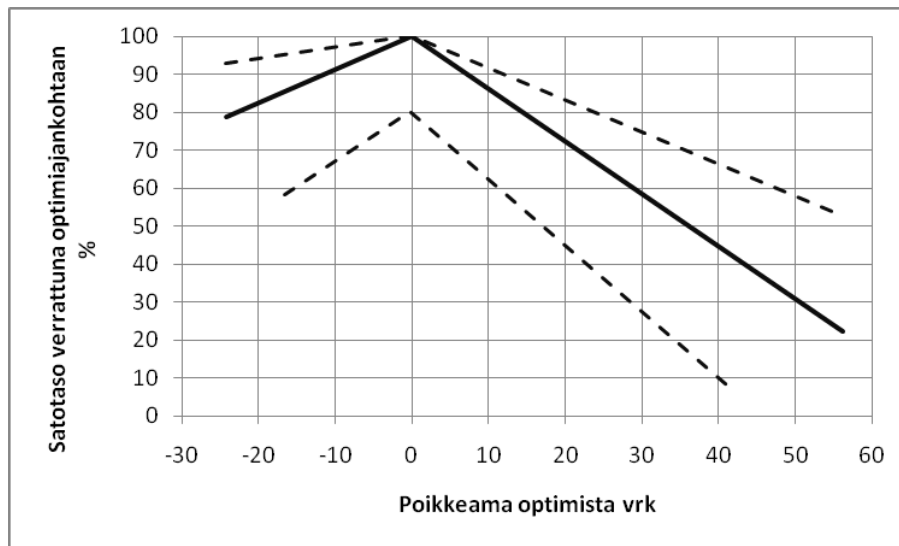
Ensimmäisen tapauksen tappio on $Y_1 = \frac{50\text{kg}}{\text{ha}\cdot\text{vrk}} 100\text{ha} (4\text{vrk} + 0,5 \cdot 7\text{vrk}) = 37500\text{kg}$ ja toisen $Y_2 = \frac{50\text{kg}}{\text{ha}\cdot\text{vrk}} 100\text{ha} (4\text{vrk} + 0,5 \cdot 14\text{vrk}) = 55000\text{kg}$. Rahalliset tappiot ovat vastaavasti 7 500 € ja 11 000 €.

Tappiolla on sitä suurempi merkitys mitä korkeampi on tuotteiden hinta. Tuotteiden hinnan ollessa alhainen ajallisuudesta johtuvan tappion merkitys on pienempi. Tappiota voidaan vähentää lisäämällä konekapasiteettia. Tällöin pitää löytää optimi tappioille ja konekapasiteetin kustannuksille. Määrällisten tappioiden lisäksi tulee vielä syyskaudella sadonkorjuun laatutappioita, jotka voivat sadon arvon kannalta olla huomattavia.

Nurmirehun osalta korjuuajankohta vaikuttaa sen laatuun ja myöhässä tehty korjuu alentaa rehun D-arvoa. Konekapasiteetin on oltava riittävä, jotta saadaan korjattua hyvälaatuista rehua.

8.2 Konekapasiteetin valinta

Konekapasiteetin valinta voidaan tehdä kun tiedetään kuinka monta työpäivää työhön on käytettävissä ja mikä on todennäköisyys sille, että sää sallii työn teon ja että koneet toimivat häiriöttä. Jos tilan kokonaispinta-ala on A ja meillä on määräaika $t_{\text{työ}}$, jossa tuo pinta-ala pitää käsitellä, tarvittavaksi konekapasiteetti saadaan $q_{ko} = \frac{A}{t_{\text{työ}}}$. Työhön käytettävissä oleva aika saadaan käytettävissä olevista työpäivistä N_{pv} ja työhön käytettävissä olevasta päivittäisestä ajasta t_{pv} . Kun vielä otetaan huomioon sääolosuhteet ja koneiden rikkoontumiset, voidaan puhua todennäköisyydestä k , jolla työaika on käytettävissä. Kun nämä otetaan huomioon, saadaan työajalle yhtälö



Kuva 8.1: Viljasadon kylvötöiden ajallisuuskustannus. Yhtenäinen viiva kuvaa keskimääräistä arvoa ja katkoviivat vaihtelualuetta. [Tamm 2009]

$t_{työ} = N_{pv}t_{pv}k$. Kun yhdistetään nämä yhtälöt, saadaan yhtälö 8.2.

$$q_{ko} = \frac{A}{N_{pv}t_{pv}k} \quad (8.2)$$

- q_{ko} = tarvittava konekapasiteetti
- A = pinta-ala
- N_{pv} = käytettävissä olevien työpäivien määrä
- t_{pv} = työhön käytettävissä oleva aika työpäivän aikana
- k = työn onnistumisen todennäköisyys (sää, konerikot)

Konekapasiteetin laskennassa pitää ottaa huomioon käytettävissä olevien työntekijöiden määrä. Jos kaikki työt tekee yksi henkilö, työvaiheet ovat peräkkäisiä. Jos työntekijöitä on useampi, töitä voidaan tehdä yhtäaikaaisesti. Esimerkiksi kevättöissä yhden työntekijän pitäisi keretä tekemään sekä äestys että kylvä. Jos työntekijöitä on kaksi, toinen äestää ja toinen kylvää samanaikaisesti. Tällöin konekapasiteetin tarve on huomattavasti pienempi.

Työhön käytettävissä oleva aika riippuu sääoloista. Taulukossa 8.1 on esitetty keskimääräisiä työhön käytettävissä olevia aikoja. Vaikka jakson pituus voi olla pitkäkin, sääolosuhteet vähentävät käytettävissä olevaa aikaa. Taulukon tulokset perustuvat pitkäaikaisiin sää tietoihin ja ne edustavat keskiarvoja. Vuosittaiset vaihtelut voivat olla suuria ja myös käytettävissä oleva aika vaihtelee sen mukaan.

Taulukko 8.1: Maataloustöihin käytettävissä olevia keskimääräisiä aikoja Etelä-Suomessa [Tamm 2009]

Työ	Keskimääräinen aloituspäivä	Työjakson pituus päivää	Käytettävissä olevan työjakson pituus päivää
Muokkaus- ja kylvyöt	5. toukokuuta	20	9
Säilörehunkorjuu, 1. sato	8. kesäkuuta	12	6
Säilörehunkorjuu, 2. sato	27. heinäkuuta	18	7
Heinäkorjuu	27. kesäkuuta	21	4
Viljankorjuu	10. elokuuta	45	20

Esimerkki

Tilan kevätiljapinta-ala on 100 ha ja käytettävissä on yksi työntekijä tai vaihtoehtoisesti kaksi. Kuinka suuri konekapasiteetti tarvitaan?

Taulukon 8.1 mukaisesti muokkaus- ja kylvötoihin on käytettävissä keskimäärin 9 päivää. Jos lasketaan, että päivän aikana pellolla voidaan työskennellä tehokkaasti 10 h, kaikkiaan on käytettävissä 90 h. Hyvien työkoneiden luotettavuus on 95%, jolloin rikkoontumiset huomioon ottaen työajaksi jää 85,5 h. Seuraavaksi otetaan huomioon työhyötysuhde, taulukko 4.1. Kevättöille voidaan tässä tapauksessa valita 75% työhyötysuhde. Teholliseen työhön jää silloin 64,1 h aikaa. Kun kyseessä on yksi työntekijä, hänen pitää keretä sekä äestämään että kylvämään tässä ajassa ja jakamalla pinta-ala käytettävissä olevalla ajalla saadaan $q_{ko} = \frac{100ha}{64,5h} = 1,1$ ha/h. Äestuksen ja kylvön yhteenlasketun kapasiteetin pitää olla riittävä, jotta tunnin aikana pystytään äestämään ja kylvämään 1,1 hehtaaria. Valitaan aluksi äkeen leveydeksi 5 m ja ajonopeudeksi 10 km/h. Teoreettinen työsaavutus on 5 ha/h ja kun otetaan huomioon joustopiikkiäkeen työhyötysuhde 85%, saadaan todelliseksi kapasiteetiksi 4,3 ha/h. Jos pelto äestetään kahteen kertaan, saadaan äestettyä valmiiksi 2,2 ha/h. Koko alan äestämiseen tarvitaan 32,9 tuntia. Kylvöön jää tällöin 31,2 h ja tarvittava kapasiteetti on 2,2 ha/h. Kylvettäessä 4,0 m kylvökoneella nopeudella 8 km/h saadaan teoreettisesti aikaiseksi 3,2 ha/h. Kylvön työhyötysuhde on 70%, jolloin todellinen työsaavutus on 2,2 ha/h.

Jos tilalla on kaksi työntekijää, silloin kumpaankin työhön erikseen on käytettävissä koko 64,1 h aika. Tällöin äestyskapasiteetin pitää olla kahteen kertaan äestettäessä 1,3 ha/h ja 10 km/h äestysnopeudella ei tarvittaisi kuin 3 m leveä äes ja saadaan silläkin jo pellot äestettyä 55 h aikana. Vastaavasti kylvössä tarvitaan 1,1 ha/h kapasiteetti ja nopeudella 7,5 km/h tarvittaisiin vain 2,5 m leveä kone. Esimerkki osoittaa hyvin selvästi työntekijöiden määrän vaikutuksen tarvittavaan konekapasiteettiin.

8.3 Koneketjut ja vaihtoehtoiset tuotantotavat

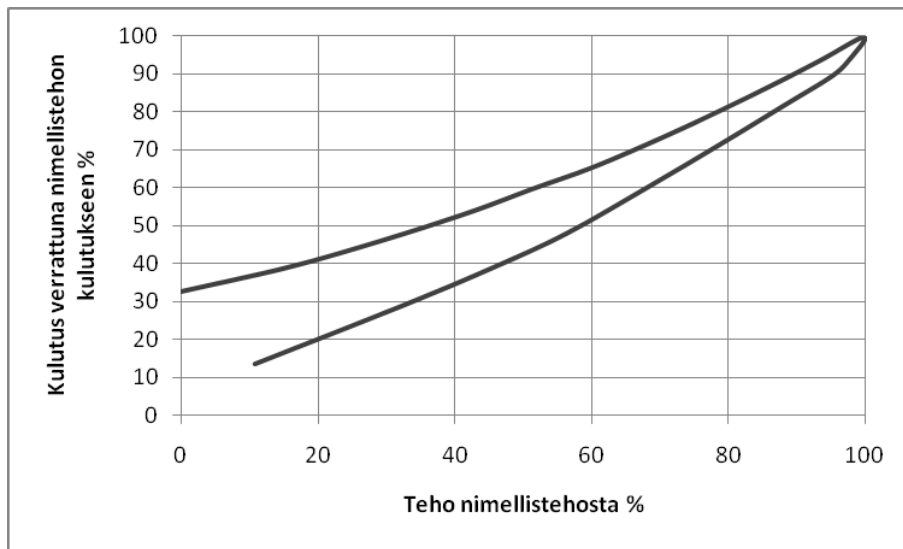
Hyvin harvoin koko työ on yhden koneen tekemää. Usein on kyseessä koneketjut eli yhtä työvaihetta seuraa seuraava vaihe. Työt voidaan myös tehdä erilailla. Kylvötoissa voidaan käyttää perinteisiä menetelmiä tai siirtyä suorakylvöön, sato voidaan kuivata tai säilöä. Kaikki nämä vaikuttavat sekä kapasiteettiin, kustannuksiin ja energian käyttöön.

8.4 Kuljettajan vaikutus polttoaineen kulutukseen

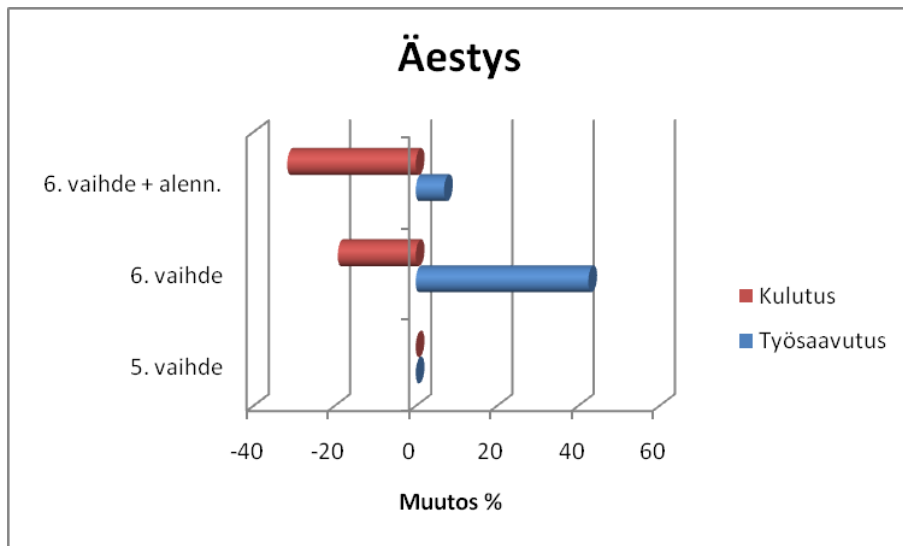
Työkoneiden valinnassa ja käytössä oli kolme perusasiaa, jotka vaikuttivat työn tekoon. Traktorin piti aikaansaada riittävä vetovoima ja moottorissa piti olla riittävästi tehoa, jotta voitiin käyttää oikeaa työnopeutta. Kolmantena perusasiana näiden oli kuljettaja, jonka pitää osata säätää kone oikein ja valita oikea työnopeus. Kuljettaja myös määrittelee sen miten traktoria käytetään. Kuvassa 8.2 on esimerkki siitä miten traktorin tehonkäyttö vaikuttaa kulutukseen. Jos esimerkiksi tarvittava teho on 40% nimellistehosta, silloin kulutus on 35 - 52 % nimellistehon kulutuksesta. Kuljettaja vaikuttaa siihen mitä polttoaineen kulutusta hän työssä käyttää. Kyse on siitä missä kohtaa simpukkakäyrästä traktorin kuormitus on (kuva 1.2). Jos ajetaan aina kaasuvipu täysin auki, silloin kulutus on aina suuri. Ajamalla osakaasulla ja vaihtamalla suurempi vaihde kulutusta voidaan vähentää ('Löysää kaasua, vaihda suuremmalle!'). Kuva 8.2 näyttää myös sen, että mitä vähemmän traktorin moottoria kuormitetaan, sitä suuremmaksi kulutuserot voivat tulla.

Ajotavan vaikutus selviää kuvasta 8.3. Siinä on tehty äestyskoe pellolla siten, että perustana on ollut traktorin 5. vaihteen työsaavutus ja polttoaineen kulutus (l/ha). Kun on käytetty seuraavaa vaihdetta (6. vaihde), työsaavutus on lisääntynyt 40% ja kulutus hehtaaria kohden on vähentynyt 20 % verrattuna edelliseen vaihteeseen. Moottori on kuormittunut enemmän ja sen hyötysuhde on parantunut, jolloin pinta-alaa kohden kulutus on vähentynyt. Seuraavassa vaiheessa on käytetty 6. vaihdetta ja alennettu moottorin nopeutta siten, että on pyritty samaan nopeuteen 5. vaihteen kanssa. Nopeus on ollut hieman suurempi kuin 5. vaihteella ja sen takia työsaavutus on ollut muutaman prosentin parempi. Polttoaineen kulutus on nyt ollut 30% alkuperäistä alhaisempi. Oikealla ajotavalla voidaan vähentää polttoaineen kulutusta runsaasti ja kuljettaja on tässä avainasemassa.

Traktoreihin tarvittaisiin autoja vastaava polttoaineen kulutuksen näyttö. Tuntikulutus ei kerro moottorin toiminnasta paljoakaan vaan kulutus ajettua matkaa kohti tai traktorissa paremminkin tehtyä pinta-alaa kohti ker-



Kuva 8.2: Traktorin kuormittumisen vaikutus polttoaineen kulutukseen



Kuva 8.3: Ajotavan vaikutus kulutukseen äestyksessä [Ahokas 1986]

toisi paremmin kuinka paljon polttoainetta käytetään. Pinta-ala kohden oleva kulutus tarvitsee myös työkoneen työlevyden, jonka kuljettaja joutuisi syöttämään mittalaitteeseen. Traktorit, joissa on portaaton vaihteisto pysyvät itse säätymään siten, että moottori toimii polttoainetaloudeltaan sopivassa kohdassa. Tällöin traktorissa on jatkuva kulutusta minimoiva järjestelmä.

Kirjallisuutta

- [Ahokas 1986] Ahokas J. & Mikkola H. Traktorin polttoaineen kulutukseen vaikuttavia seikkoja. VAKOLAn tutkimusselostus nro 43. Vihti 1986
- [Ahokas 1994] Ahokas J. Mittaustraktorin instrumentointi ja koekäyttö. (Design and Testing of Agricultural Tractor Instrumentation for Field Work Measurements) Helsinki, Helsingin Yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos, 1994. 99 s. Maatalousteknologian julkaisuja nro 16
- [Ahokas 2001] Ahokas J. Maamekaniikkaa (Soil Mechanics). Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos, Maa- ja kotitalousteknologian laitoksen julkaisuja nro 8, 2001.
- [ASAE S313] ASAE S313.3 FEB1999 (R2009) Soil Cone Penetrometer.
- [ASAE D497] ASAE D497. Agricultural Machinery Management Data. American Society of Agricultural Engineers
- [Bernhardt ja Weise 2001] Bernhardt H. ja Weise G. Transport quantities in agriculture. Landtechnik 1/2001, 16 - 17.
- [Directive 2005/13/EC] COMMISSION DIRECTIVE 2005/13/EC. Emission of gaseous and particulate pollutants by engines intended to power agricultural or forestry tractors.
- [Directive 2009/28/EC] DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. On the promotion of the use of energy from renewable sources.
- [Elonen et al 1995] Elonen E., Alakukku L. & Koskinen P. Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen. Vakolan tiedote 69/95. Maatalouden tutkimuskeskus, Maatalousteknologian tutkimuslaitos. Vihti 1995.
- [Ermittlung der Kraftstoffverbrauch 2005] Ermittlung des Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft 2005. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung. http://www.weitau.at/data/OEKL_Kraftstoffverbrauf.pdf
- [Fluck and Baird 1982] Fluck, R. C. and C. D. Baird. 1982. Agricultural Energetics. Connecticut: AVI, ref. J. L. Hernanz and J. Ortiz-Cañavate, Energy Saving in Crop Production in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume V, American Society of Agricultural Engineers 1999.
- [Götz et al 2011] Götz S.; Holzer J., Winkler J., Bernhardt H. & Engelhardt D. Agricultural Logistics – System comparison of transport concepts in grain logistics. Landtechnik 66 (2011), no. 5, pp. 381–386.
- [Howard et al 2011] Howard C.N., Kocher M.F., Hoy R.M. and Blankenship E.E. Testing fuel efficiency of tractors with both continuously variable and standard geared transmissions. ASABE meeting presentation, paper number 1110971.
- [Ljungberg 2006] Ljungberg D., Effective Transport Systems in Food and Agricultural Supply Chains for Improved Economy, Environment and Quality. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala 2006
- [Laine 1996] Laine A. Konekapasiteetin mitoitus ja konekustannukset viljan ja nurmirehun tuotannossa, säärisiin perustuva tarkastelu. Työtehoseuran julkaisuja 349, 1996.
- [Moitzi et al 2008] Moitzi G., Refenner K., Weingartmann H. & Boxberger J. Fuel Consumption in Agricultural Transport Activities. Landtechnik 5/2008, 284 - 285.

- [Renius K.T. 1999] Renius K.T. Tractors: Two axle tractors. In Stout and Cheze, CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol 3, p. 115 - 184. ASAE 1999.
- [Seufert et al 2002] Seufert H., Bernhardt H., Müller R, Klimek K. & Weise G. Running properties of different trailer tyres. Landtechnik 6/2002, p. 356 - 358.
- [Söhne 1958] Söhne W., 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. Agricultural Engineering 39: 276-281, 290. Ref. Alakukku L. Long-term soil compaction due to high axle load traffic. Agricultural Research Center of Finland, Institute of crop and soil science. Jokioinen 1997.
- [Tamm 2009] TAMM K.. THE DEPENDENCE ON THE STRUCTURE OF MACHINERY AND THE LOCALITY OF PLOTS ON CEREAL FARM WORK ACTIVITIES. Institute of Technology, Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences. 2009
- [TilaArtturi] TilaArtturi-hanke. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Artturi/Artturikirjasto/TilaArtturi-hanke>. 20.6.2012
- [Udompetaikul et al 2009] UdompetaikulV., UpadhyayaS.K. & Vannucci B. The Effect of Tire Inflation Pressure on Fuel Consumption of an Agricultural Tractor on a Paved Road. ASABE Annual International Meeting June 21 – June 24, 2009. Paper number: 095753
- [Maataloustilasto] <http://www.maataloustilastot.fi/satotilasto>, 12.6.2012
- [Toro et Hansson 2004] Toro de A. & Hansson P.-A. Machinery Co-operatives - a Case Study in Sweden. Biosystems Engineering (2004) 87 (1), 13—25
- [OECD 1992] Agricultural Tractor John Deere 6300 A (4Wd). OECD test report 1447. DLG 1992.