



# VAKOLA

PPA 1  
03400 VIHTI  
913-46 211

**VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS**  
STATE RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 43

JUKKA AHOKAS — HANNU MIKKOLA

**TRAKTORIN  
POLTTOAINEENKULUTUKSEEN  
VAIKUTTAVIA SEIKKOJA**

**ASPECTS ON TRACTOR  
FUEL CONSUMPTION**

VIHTI 1986

ISSN 0782-0054

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 43

JUKKA AHOKAS — HANNU MIKKOLA

**TRAKTORIN  
POLTTOAINEENKULUTUKSEEN  
VAIKUTTAVIA SEIKKOJA**

**ASPECTS ON TRACTOR  
FUEL CONSUMPTION**

VIHTI 1986

ISSN 0782-0054

Valtion painatuskeskus 1986

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	I
CONCLUSIONS	I
SAMMANFATTNING	II
ESIPUHE	IV
1. Traktori	1
1.1 Traktorin moottori	1
1.1.1 Moottoreiden ominaisuudet	1
1.1.2 Moottorin mittojen ja varusteiden vaikutus sen ominaisuuksiin	4
1.1.3 Moottorin kuormittumisen vaikutus kulutukseen	5
1.1.4 Moottorin kunnan vaikutus	8
1.1.5 Moottorin sitkeys	11
1.2 Traktorin liikkuminen	15
1.2.1 Kehävoima	15
1.2.2 Liikkumisvastukset	19
1.2.3 Traktorin vetovoima	21
1.2.4 Traktorin vetoteho	22
1.2.5 Traktorin vetohyötysuhde	24
1.3 Traktorin renkaat	25
1.3.1 Renkaan kudusrakenne	25
1.3.2 Renkaan koko	28
1.3.3 Renkaan kulutuspinta	32
1.3.4 Renkaan ilmanpaine	33
1.3.5 Renkaan pintapaine	34
1.3.6 Parirenkaat	36
1.3.7 Liukuesteet	38
1.3.8 Traktorin takarenkaiden valinta	40
1.3.9 Traktorin eturenkaiden valinta	41
1.4 Traktorin paino ja lisäpainot	42
1.5 Nelipyöräveto	46
1.6 Takapyörästäön lukot	50

2.	Äestys	53
2.1	S-piikkiäes	54
2.1.1	S-piikki ja siihen vaikuttavat voimat	54
2.1.2	Etulata	57
2.1.3	Varpajyrä	59
2.1.4	Äkeen tukeminen	61
2.1.5	Ajonopeus	62
2.1.6	Työsyvyys	67
2.1.7	Piikkimäärä ja piikkiväli	68
2.1.8	Äkeen paino	70
2.2	Lapiorullaäes	73
2.2.1	Paino	73
2.2.2	Akselikulmat	75
2.2.3	Ajonopeus	75
3.	Kyntö	77
3.1	Kyntövoimat	77
3.2	Traktorin vetovastussäätö	78
3.3	Auran kiinnitystapa	80
3.4	Vetovastussäädön käyttötapa	82
3.5	Kyntösyvyyden vaikutus	83
3.6	Kyntönopeus	86
3.7	Auran säädön vaikutus	87
3.8	Auran kunnan vaikutus	90
3.9	Auran tukipyörän käyttö	91
4.	Kuljetusajot	93
4.1	Suurin ajonopeus ja moottorin pyörimisnopeus	93
4.2	Perävaunun ja työkoneen renkaat	95
5.	Voimanottoakselikäyttöiset työkoneet	96
6.	Suosituksset	97
6.1	Polttoaineen säästön taloudellisuus	97
6.2	Traktorikoon ja työkoneen koon valinta	98
7.	Polttoaineen säästön ohjeet	101

## TIIVISTELMÄ

Traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttaa eniten traktorin kuljettaja. Traktorimoottoreiden polttoaineen kulutuserot ovat melko pienet ja sen merkitys yksityiselle käyttäjälle on vähäinen. Kansantaloudellisesti ajatellen traktorin ominaiskulutuksen vähentäminen on kuitenkin suositeltavaa.

Moottorin ominaisuuksista myös vääntömomentin nousuprosentti (=sitkeys %) vaikuttaa polttoaineen kulutukseen käytännön työssä. Jos nousuprosentti on suuri, polttoaineen kulutus työssä on kohtuullinen tai pieni. Jos nousuprosentti on pieni, kulutus on monasti suuri, vaikka traktorin tehonmittauksessa saadut tulokset olisivat hyvät.

Traktorin kuljettajan huoleksi jää:

- mitä moottorin nopeutta hän käyttää
- minkä ajovaihteen hän valitsee
- mikä on traktorin varustus, renkaat ja lisäpainot
- miten nostolaitetta säädetään ja miten työkoneen koko valitaan

Jokainen kohta näistä voi yksinään vaikuttaa työsaavutukseen ja polttoaineen kulutukseen jopa kymmeniä prosentteja. Edullisin ja paras keino polttoaineen säästöön on siten tehokas neuvonta ja koulutus.

## CONCLUSIONS

Tractor driver has the greatest effect on tractor fuel consumption. Differences in fuel consumptions in tractor engines are mostly small and its meaning to a private use is of minor importance. In thinking of national economy the reduce of the specific fuel consumption of tractor engines is however recommended.

From the engine characteristics also the torque rise characteristic (torque back up ratio) has effect on fuel consumption. If the torque rise is high fuel consumption in practical work is moderate or low.

If the torque rise is low fuel consumption is often high, although test results from power tests were good.

The tractor driver must take care of the following facts:

- the engine speed which he will use
- which driving gear he will choose
- what outfits he will have, tyres and ballast
- how he can use the power lift
- what is the size of the implement and how it is adjusted

Everyone of these points can alone affect on workrate and fuel consumption tens of per cent.

The most profitable and best mean to save fuel is effective information and training.

## **SAMMANFATTNING**

Traktorns körare inverkar mest på traktorns bränsleförbrukning. Skillnaderna i traktormotorernas bränsleförbrukning är ganska små och dess betydelse för en privat begagnare är obetydlig. För national ekonomi minskning av traktorns specific förbrukning är dock rekommendabel.

Av motorens egenskaper också ökningen av vrid moment påverkar bränsleförbrukningen i praktisk arbeten. Om ökningsprosenten är stor, är bränsleförbrukningen i arbetet måttlig eller små. Om ökningsprosenten är små, är förbrukningen oftast stor, fastän resultatet från effekt mätningen skulle vara bra.

Traktorns körare måste tillse att:

- vilken motorvarvdal han använder
- vilken växel han väljer
- hurudana är traktorns utrustningar, däck och vikt
- hur lyften användas
- hur redskapet justeras och hur redskapets storlek väljas

Varena av dessa punkter kan också påverka anverknigen och förbrukningen redan 10-20 procent. Fördelaktigaste och bästa medel att spara bränsle är då effektiv rådgivning och skolning.



**ESIPUHE**

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksella on tehty vuosina 1983-1986 tutkimus traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimuksen rahoitti kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto. Rahoittajain edustajina tutkimusta valvoivat Mats Danker ja Osmo Räsänen.

Tutkimuksen vastuullisena johtajana on ollut prof. Osmo Kara ja tutkimuksen johtajana tarkastaja Jukka Ahokas. Tutkimus tehtiin yhteistutkimuksena Valmet Oy traktoritehtaan kanssa, josta yli-insinööri Rauno Bergius on ollut myös tutkimuksen johtoryhmän puheenjohtajana. Muina johtoryhmän jäseninä ovat olleet agr. Hannu Heikkilä Maatalouskeskusten Liitosta, toimitusjohtaja Erkki H. Oksanen Työtehoseurasta ja prof. Aarne Pehkonen Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitokselta.

Tutkimus on tehty pääasiassa opinnäyttein ja tutkijoina ovat olleet agr. yo. Asko Mäkinen, agr. yo. Veikko Niittymaa, agr. yo. Tuomo Pesola, agr. yo. Matti Ropilo, agr. yo. Seppo Jaakonmäki, tekn.yo. Hannu Juvonen ja tekn. yo. Jyrki Karvonen.

## 1.1 Traktorin moottori

### 1.1.1 Moottoreiden ominaisuudet

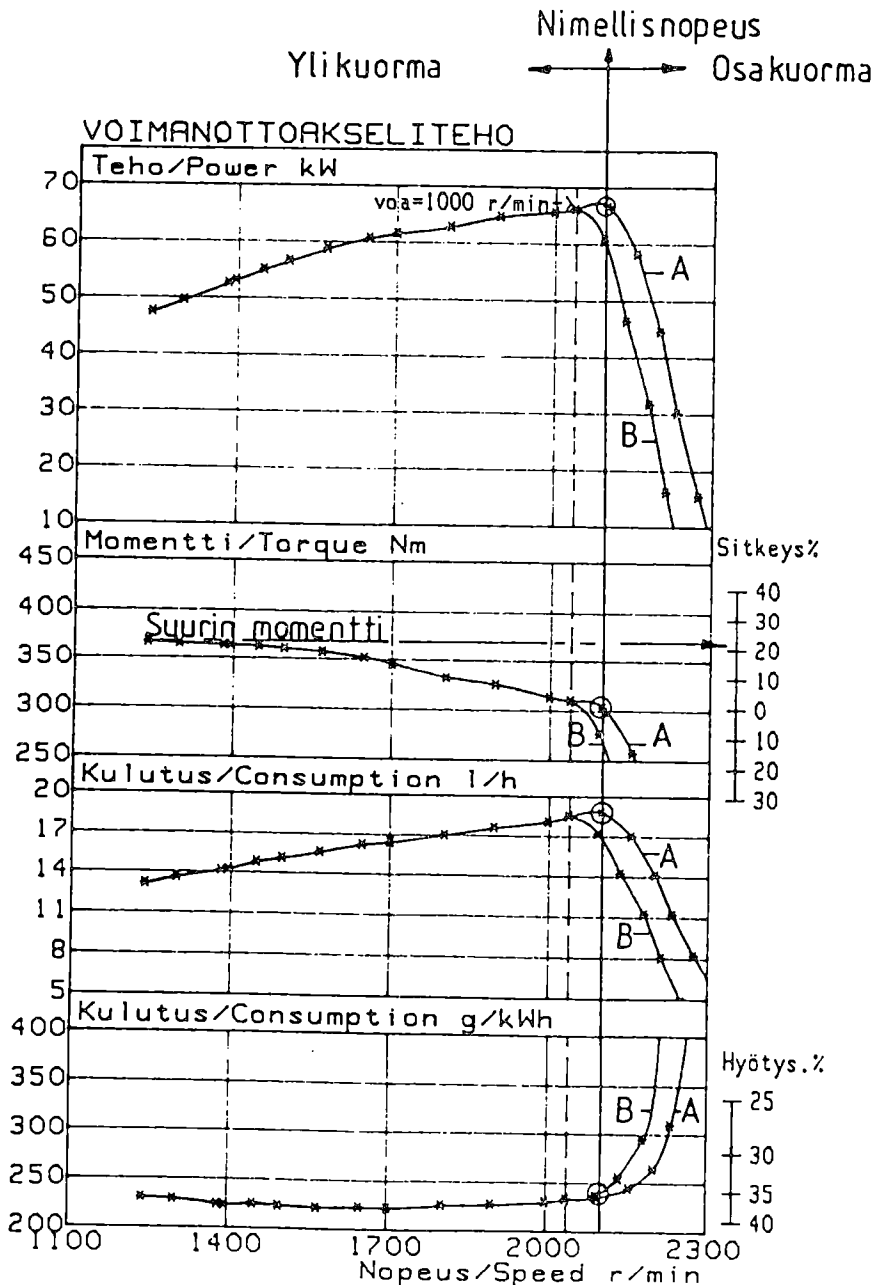
Traktorimoottoreilta vaaditaan mm. seuraavia ominaisuuksia:

- Moottorin on kestettävä jatkuva nimellistehon käyttö raskaissa töissä, kuten kynössä ja äestyksessä
- Pieni polttoaineen kulutus myös osateholla. Vuotuinen keskiteho on 20-30% nimellistehosta
- Hyvä kylmäkäynnistyvyys ja hyvä moottorin lämpiäminen kylmässä
- Riittävä moottorin sitkeys. Raskaassa vedossa ajovaihteen vaihtaminen ei onnistu ilman pysähtymistä.
- Tehon pysyminen lähellä nimellistehoaa laajalla pyörimisnopeusalueella, jolloin moottorin pyörimisnopeudella voidaan säätää ajonopeutta siten, että se on työhön sopiva ja ilman että työteho vähenisi
- Laaja pyörimisnopeusalue, jotta nopeassa ajossa ja kuljetuksissa ajonopeus voidaan säätää sopivaksi vähällä ajovaihteen vaihtamisella
- Toimintavarmuus ja huollon helppous

Traktoreiden tehon mittauksissa käytetään kuvan 1. mukaisia nimityksiä:

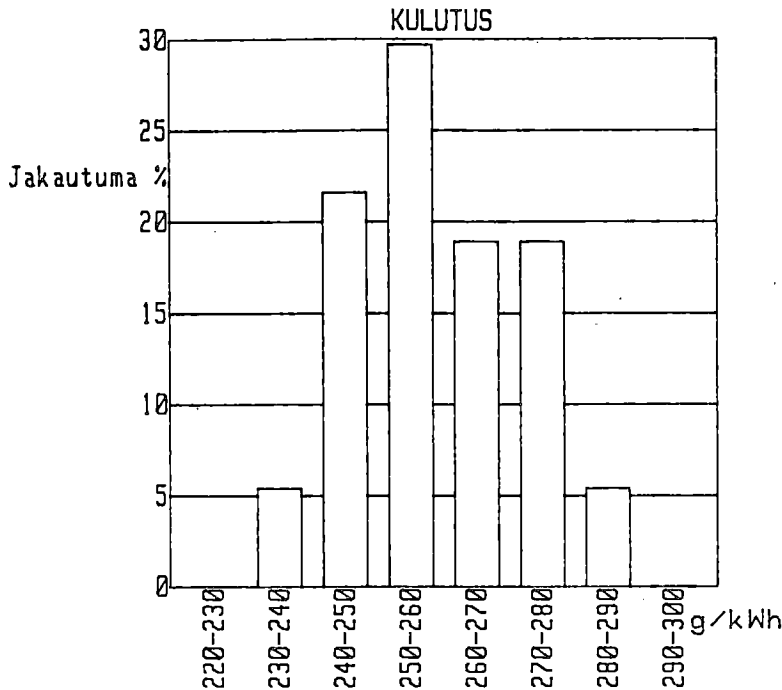
- Nimellisteho = teho, jonka valmistaja ilmoittaa jatkuvan käytön tehoksi. Nimellisteholla on lähes aina polttoaineen kulutus l/h suurimmillaan.
- Suurin teho = useimiten sama kuin nimellisteho. Joissakin ahdetuissa ja välijäähdyttimellä varustetuissa traktoreissa suurin teho voi olla erisuuri kuin nimellisteho.
- Nimellisnopeus = moottorin pyörimisnopeus, jolla nimellisteho saadaan. Jos pyörimisnopeus ylittää nimellisnopeuden, moottorin säädin rajoittaa pyörimisnopeutta.

- Ylikuorma = kuormituksen kasvaessa moottorin pyörimisnopeus hidastuu. Jos moottorin pyörimisnopeus laskee alle nimellinopeuden, kyseessä on ylikuorman alue.
- Osakuorma = Jos moottorin koko tehoa ei käytetä hyväksi, pyörimisnopeus kohoaa nimellinopeutta suuremmaksi. Kyseessä on osakuorman alue. Moottorin säädin toimii tällöin jatkuvasti
- Säättökäyrä = osakuorma. Tarkoittaa, että säädin toimii jatkuvasti säättökäyränsä mukaisesti.
- Suurin momentti = kohta, jossa vääntömomentti saa suurimman arvonsa.



Kuva 1. Moottoritehon nimitykset

Nykyiset traktorimoottorit ovat suoraruiskutusdieseleitä. Niiden polttoaineen ominaiskulutuksissa ei ole kovin suuria eroja, kuva 2.



Kuva 2. Traktoreiden polttoainekulutus nimellisteholla (37 traktoria)

Ominaiskulutusten keskiarvo kuvassa 2 on n. 260 g/kWh. Valtaosa traktoreista on luokassa 240-280 g/kWh. Jos esimerkiksi traktorin ominaiskulutus pienenee arvosta 270 g/kWh arvoon 250 g/kWh, polttoaineenkulutus pienenee 7,4%. Se saadaanko tämä hyödyksi kokonaisuudessaan riippuu traktorin sitkeydestä, traktorikoosta ja kulutuksesta osakuormilla.

Jos traktorin sitkeys on huono, sitä on raskaassa työssä ajettava korkeilla moottorin nopeuksilla. Tämä sekä suurentaa polttoaineen kulutusta, että heikentää työtehoa.

Jos traktori on työkoneeseen nähden liian suuri, traktorin koko tehoa ei käytetä hyväksi ja moottori toimii aina osakuormilla. Tällöin polttoaineen ominaiskulutus on myös suuri. Traktoria vaihdettaessa valitaan monasti hieman suurempitehoinen malli työkoneita kuitenkin vaihtamatta. Tällöin pienemmän ominaiskulutuksen hyöty häviää helposti osakuormakäytössä.

Raskaissa töissä kuten kynnössä ja äestyksessä tehontarve on 70-90% nimellistehosta. Vuotuinen keskiteho on 20-30% nimellistehosta. Tällöin pelkän nimellistehon ominaiskulutuksen tieto ei riitä. Pitäisi tietää ns. vuotuisen keskitehon kulutus. Kansainvälisissä koetusmenetelmissä tämä ilmeisesti otetaan huomioon tulevina vuosina.

Traktoreiden tehot mitataan voimanottoakselilta. Tämä teho vastaa melko hyvin pyörien akselitehoa, koska siinä on mm. hydraulikan vapaakierron ja voimansiirron voitelupumppujen tehohäviökierro mukana. Työssä apulaitteiden ottamat tehot kasvavat ja polttoaineen kulutus on erilainen kuin koetilanteessa. Koetilanteessa voimansiirron öljypumppu, pikavaihteiden ja hydraulisesti hallittavan voimanoton käyttöteho<sup>+</sup> sekä latausteho eivät vaikuta ollenkaan tai niiden vaikutus on pieni. Työssä niiden ottama teho voi olla 2-3 kW. Etenkin pienitehoisessa traktorissa tämä vaikuttaa nopeasti polttoaineen ominaiskulutukseen.

#### 1.1.2 Moottorin mittojen ja varusteiden vaikutus sen ominaisuuksiin

Ei voida sanoa, että mikään moottorin ominaisuus pelkästään vaikuttaisi sitkeyteen tai polttoaineen ominaiskulutukseen. Moottorin suoritusarvot muodostuvat moottorikokonaisuudesta, johon vaikuttaa mm. iskusuhte, venttiilien ajoitus, polttoainejärjestelmä, ahtaminen eri muodoissaan ja mekaaninen kuormituksen kestävyys.

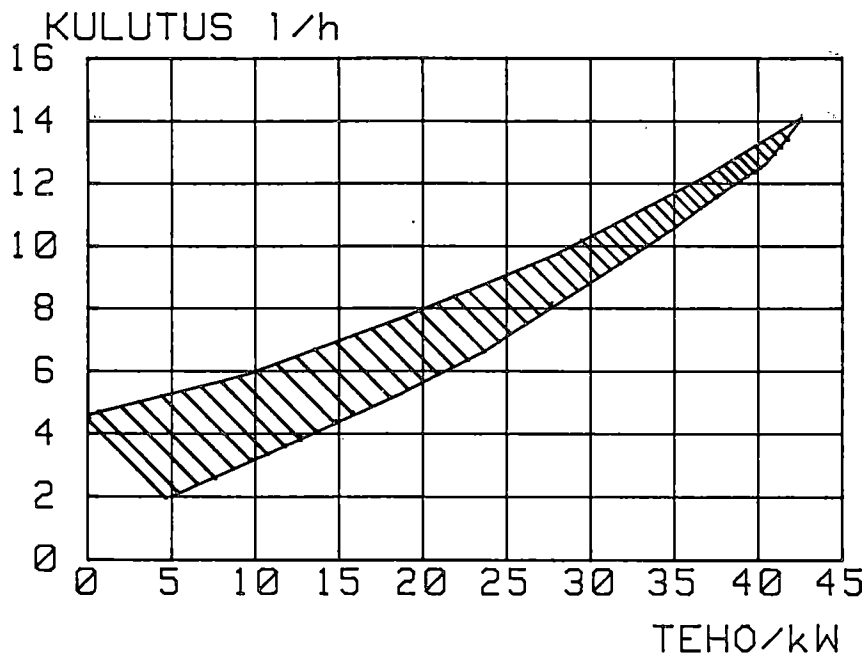
Pitkäiskuisuutta on pidetty sitkeän moottorin merkinä. Tämä ei kuitenkaan yksin vaikuta sitkeyteen. Pitkäiskuisuus aiheuttaa kuitenkin huonon hyötysuhteen, koska se paljastaa suuren sylinteripinta-alan ja tällöin myös suuren lämmönsiirtopinnan. Kehitys traktorimoottoreissa on mennyt lyhytiskuisiin koneisiin.

Ahdetun moottorin ominaisuuksiin on huomattavasti helpompi vaikuttaa kuin vapaasti hengittävän moottorin ominaisuuksiin. Traktorikäytössä ahdin mitoitetaan antamaan jo alhaisillakin nopeuksilla riittävästi ilmaa, jolloin myös ruiskutuspumppu voidaan säätää antamaan reilun ruiskutusannoksen. Tällä päästään hyvään sitkeyteen.

Välijäähdytyksen käyttö ahtamisessa ja Comprex-ahtimen käyttö antavat hyvin tasaisena pysyvän tehon. Yleensä näissä moottoreissa nimellisteho ja suurin teho ovat eri kohdissa siten, että pyörimisnopeuden laskiessa nimellishopeudesta, esim. 2200 r/min, teho lähtee kasvamaan ja suurin teho saadaan selvästi nimellistehoa alemmilla nopeuksilla, esim. 1800 r/min.

### 1.1.3 Moottorin kuormittumisen vaikutus kulutukseen

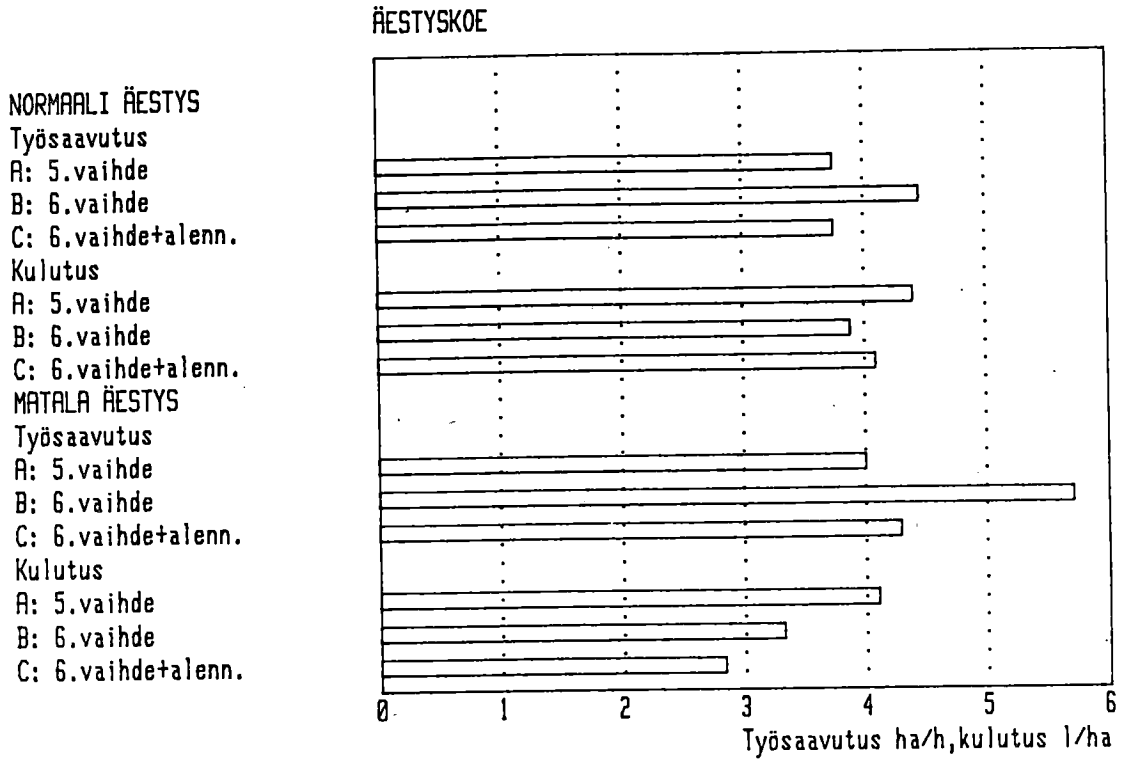
Kuvassa 3 on tyypillinen traktorimoottorin teho-polttoaineenkulutusikäyrä. Silloin kun traktorin teho käytetään lähes täysin hyödyksi, polttoaineen kulutukseen ei voida paljoakaan vaikuttaa. Kun moottoria käytetään osatehoilla, kuljettajan valintaan jää kuvan 3 vinoviivoitetulla alueella traktorin polttoaineenkulutus. Jos esim. kuvassa 3 tarvittava teho on n. 50% suurimmasta tehosta, kulutusalue on 6-8 l/h. Tällöin polttoaineen säästökseksi voidaan saada jopa 25% sen mukaan ajetaanko lähellä ylä- tai alarajaa. Polttoaineen kulutus on kuvan 3 yläreunalla aina kun ajetaan täysillä kierroksilla. Vähentämällä moottorin nopeutta ja vaihtamalla mahdollisesti suuremmalle ajovaihteelle saadaan kulutusta vähennettyä.



Kuva 3. Moottorin polttoaineenkulutus tehon tarpeen mukaan

Aivan kuvan 3 alareunaan ei voida mennä, koska moottorin nopeus on hyvin alhainen ja liikutaan lähellä suurinta vääntömomenttia.

Moottorin kuormittumisen vaikutus polttoaineenkulutukseen ja työsaavutukseen äestyksessä on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Traktorin työsaavutus ja polttoaineen kulutus äestyksessä (Volvo BM Valmet 705)  
A = 5. vaihde, täysi kaasua  
B = 6. vaihde, täysi kaasua  
C = 6. vaihde, alennettu pyörimisnopeus siten, että ajonopeus on likimain tapaukselta A vastaava

Tapauksessa A on ajettu 5. vaihteella kaasua täysin auki. Kun on vaihdettu 6. vaihde ja moottorin nopeutta on alennettu, tapaus C, siten että ajonopeus on ollut lähes sama kuin A kohdassa, normaalia äestysvyöryä käytettäessä polttoaineenkulutus on vähentynyt 7% ja matalaan äestettäessä 31%. Tapauksessa B, jossa on pelkästään suurempi ajovaihe, vastaavat luvut ovat 12% ja 19%. Samalla työsaavutus on huomattaavasti parantunut, 19% ja 43%.



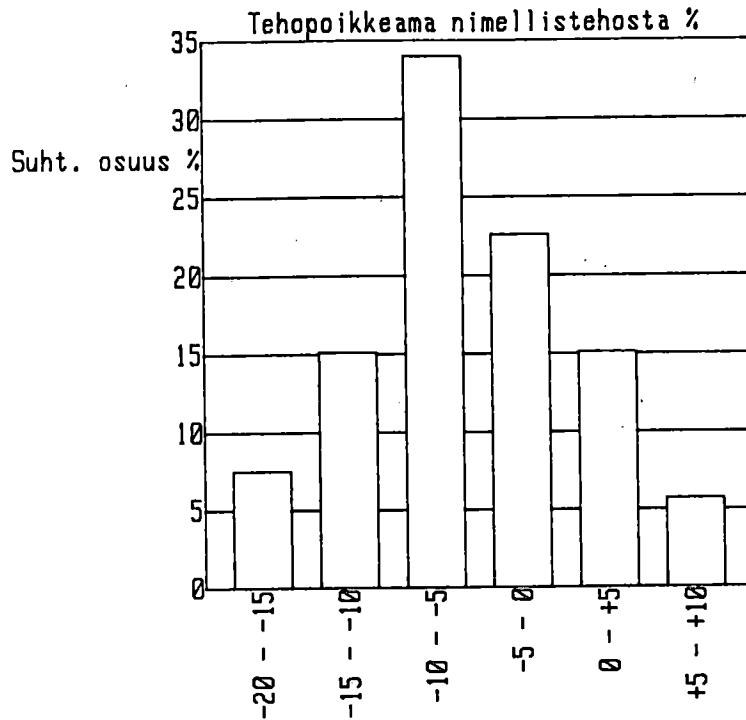
Etenkin kun äkeen koko on ollut traktorin tehoon nähden pieni (matala äestys kuvassa 4), traktorin ajotavalla on ollut huomattava vaikutus sekä työsaavutukseen että polttoaineen kulutukseen. Myös normaalissa äestyksessä ajovaihteen ja pyörimisnopeuden oikealla valinnalla päästään helposti n. 10% ja joskus jopa 20-30% polttoainesäästöön. Ajonopeutta lisättäessä on tarkettava myös pyörien luistoa, koska suurentunut ajonopeus lisää äkeen vetovastusta ja sitä kautta myös helposti pyörien luistoa.

#### Ajotavan valinta:

- Moottorin pyörimisnopeuden ja ajovaihteen valinnalla vaikutetaan moottorin ominaiskulutukseen.
- Jos moottorin pyörimisnopeus kaasu täysillä ajettaessa on jatkuvasti nimellisnopeuden (suurimman tehon nopeuden) yläpuolella, moottori käy osatehoilla ja polttoaineen kulutus on suuri. Tällöin käyttämällä suurempaa ajovaihdetta ja mahdollisesti hieman myös vähentämällä moottorin nopeutta kulutusta voidaan vähentää 10-30%.
- Moottorille on jätettävä momenttireservi rinteiden ja kovien kohtien ylitystä varten.
- Alhaisia pyörimisnopeuksia on vältettävä moottorin kestävyden takia.

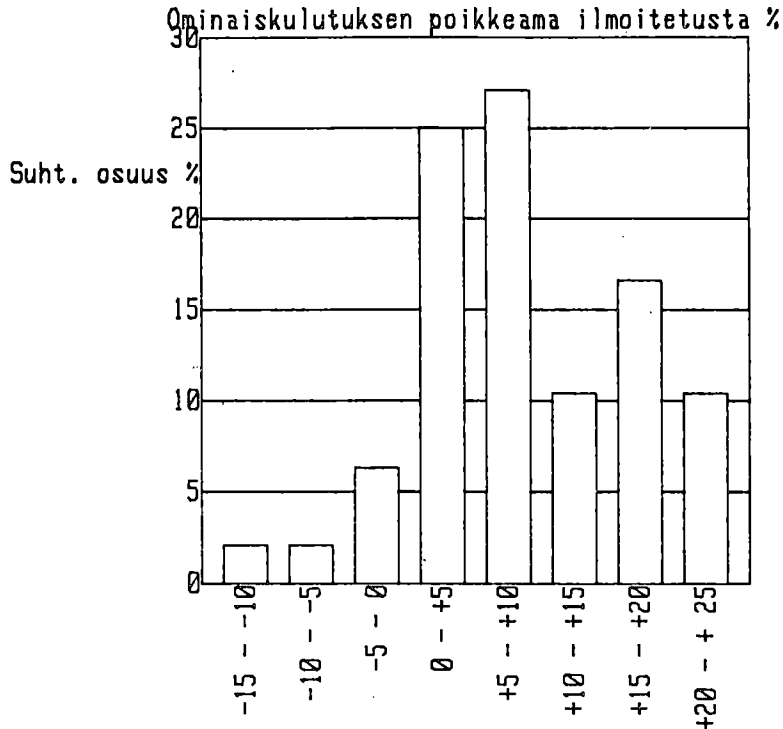
#### 1.1.4 Moottorin kunnan vaikutus

Yleisesti pyritään siihen, että traktoreiden tehot ovat uutena vähintään 10% päässä ja hionta-ajon jälkeen 5% päässä ilmoitetuista tehoista. Maassamme ja muissa maissa tehtyjen tarkistustutkimusten mukaan hionta-ajon jälkeenkin 10% poikkeamaa on pidettävä tavallisena, kuva 5.



Kuva 5. Traktorien suurimman tehon poikkeamat ilmoitetusta tehosta /11/.

Polttoaineiden ominaiskulutuksissa poikkeamat ovat lähes aina suuremmat ja vielä siten, että n. 40% tapauksista ylittää 10% rajan, kuva 6.



Kuva 6. Traktorien polttoaineen ominaiskulutusten poikkeamat ilmoitetusta kulutuksesta /11/.

Traktorin kunnontarkastuksissa moottorin osalta seuraavat seikat ovat esiintyneet usein:

- Likaiset tai risat ilmansuodattimet
- Huonokuntoiset ruiskutussuuttimet
- Suurin kuormittamaton pyörimisnopeus on alle suosituksen
- Ruiskutusmäärän väärä säätö
- Pyörimisnopeuden säätimien viat

Moottorin tai polttoainejärjestelmän puutteet vaikuttavat tehoon ja etenkin polttoaineen ominaiskulutukseen. Osa näistä puutteista hoituisi asianmukaisilla huolloilla ja tarkistuksilla.

Ruiskutusmäärien oikea säätö vaatii tarkistuksen dieselkoepenkeissä. Valitettavasti tämä ei kuitenkaan aina takaa toivottua tulosta. Säätö vaatii oikeita koenesteiden lämpötiloja, tarkkaa työtä ja ajan tasalla olevia säätöarvoja. Näissä voi olla huomattaviakin puutteita.

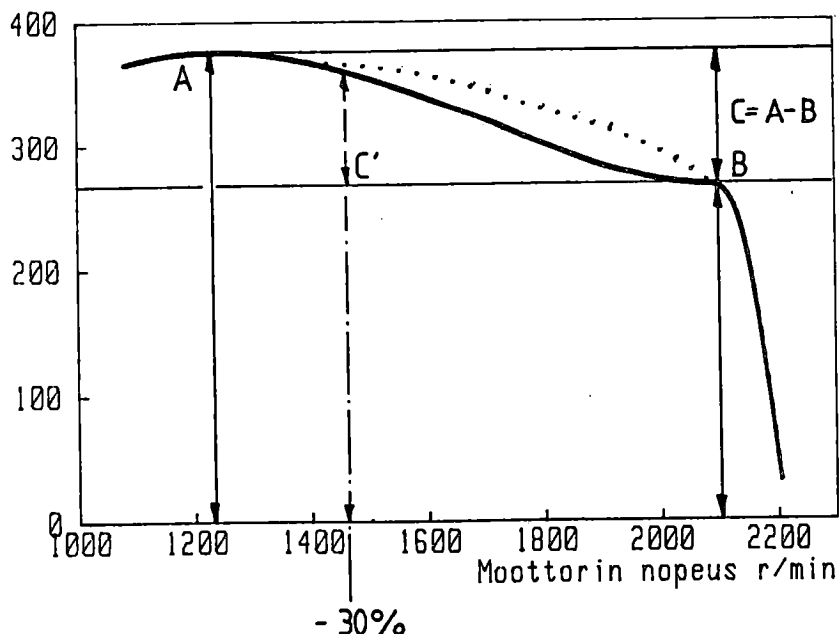
Traktorimoottorin kunto:

- Huollot on tehtävä ajallaan huolto-ohjeiden mukaan.
- Polttoainesuuttimet on tarkastutettava säännöllisesti
- Joustavien ohjaamon kumityynyjen takia kaasuvivuston tai -vaijereiden säädöt muuttuvat. Nämä kannattaa tarkistaa, jos moottorien suurin kuormittamaton pyörimisnopeus alenee
- Ruiskutuspumun syöttötasaisuus ja -määrät kannattaa tarkistuttaa ajoittain

#### 1.1.5 Moottorin sitkeys

Moottorin sitkeydellä tarkoitetaan kuinka paljon moottorin vääntömomentti kasvaa pyörimisnopeuden aletessa suurimmasta tehosta. Suurin sitkeys saadaan, kun verrataan suurimman vääntömomentin ja suurimman tehon kohtia, kuva 7.

Momentti Nm



Kuva 7. Moottorin vääntömomentti ja sitkeys

Kuvan 7 kohta B on suurimman tehon kohta, kohta A suurimman vääntömomentin kohta ja C vääntömomentin nousu näiden kohtien välillä.

$$\text{Sitkeys} = \frac{A - B}{B} \times 100\%$$

Vääntömomenttikäyrän muoto vaikuttaa työsaavutukseen. Jos vääntömomentti kasvaa nopeasti pyörimisnopeuden vähetessä (pisteviivoitus, kuva 7), traktorin ajonopeus ei muutu paljoakaan esim. vastamäessä tai kovempien maalajien kohdalla. Jos vääntömomentti kasvaa hitaasti (yhtenäinen viiva), traktorien ajonopeus vähenee vastaavassa tilanteessa huomattavasti enemmän. Tämän takia VAKOLAn traktorikoetuksissa sitkeys ilmoitetaan kohdasta, jossa moottorin pyörimisnopeus on vähentynyt 30%.

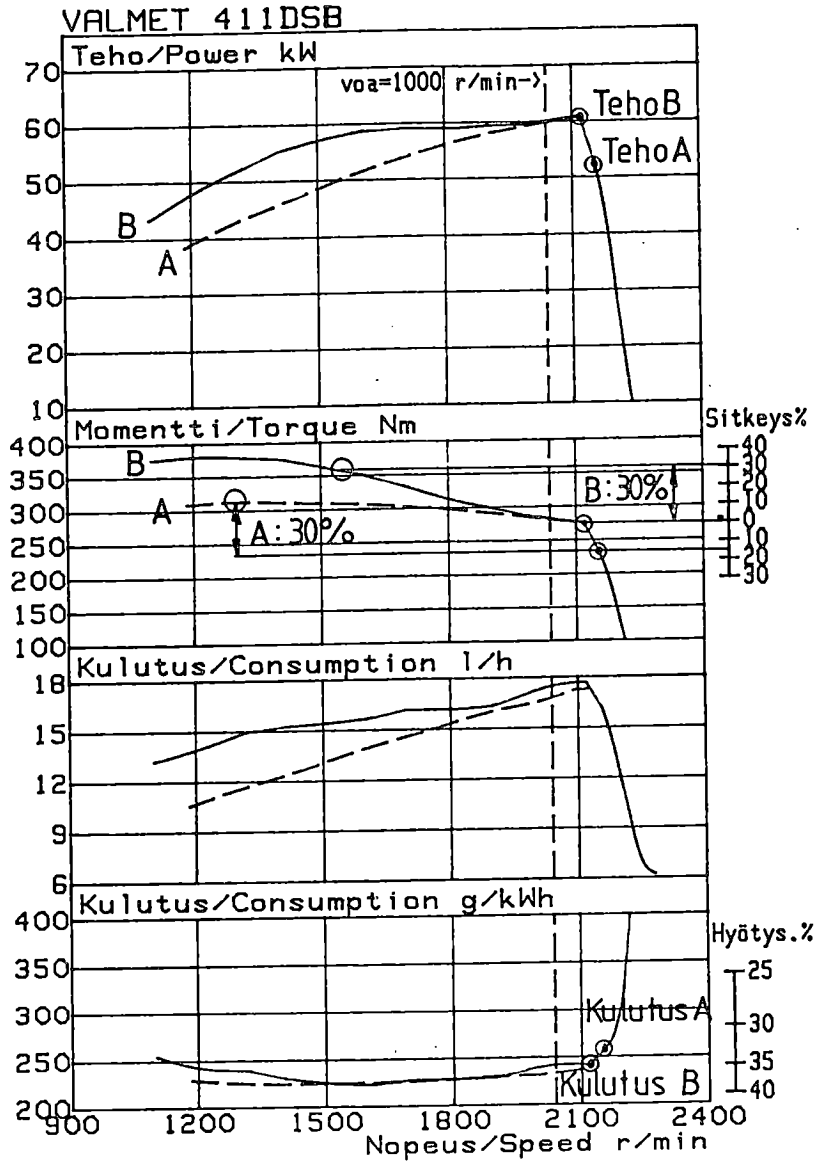
Momenttireservin eli sitkeyden tarve riippuu työstä, maalajista ja pellon mäkisyydestä. Suoritettujen mittausten mukaan sitkeyden pitäisi olla kuvan 8. mukainen.

Rinne	Vähimmäissitkeys %	Suosittelava sitkeys %
0°	10-15	15-20
30°	15-18	20-23
50°	18-21	23-26

Kuva 8. Traktorilta vaadittava vähimmäissitkeys

Jotta moottorin nopeus ei jyrkimmissä tai kovimmissa kohdissa vähenisi liian alhaiseksi traktorin suositeltava sitkeys saisi mielellään olla 5%-yksikköä vähimmäissitkeyttä suurempi. Sitkeyden tarve riippuu myös traktorin paino/teho-suhteesta. Jos traktori on tehoonsa nähden kevyt, pyörien pito, eikä sitkeys alkaa rajoittaa traktorin kulkua. Näin käy usein suuritehoisilla takapyörävetoisilla traktoreilla.

Sitkeyserojen merkitys näkyy myös kuvasta 9.

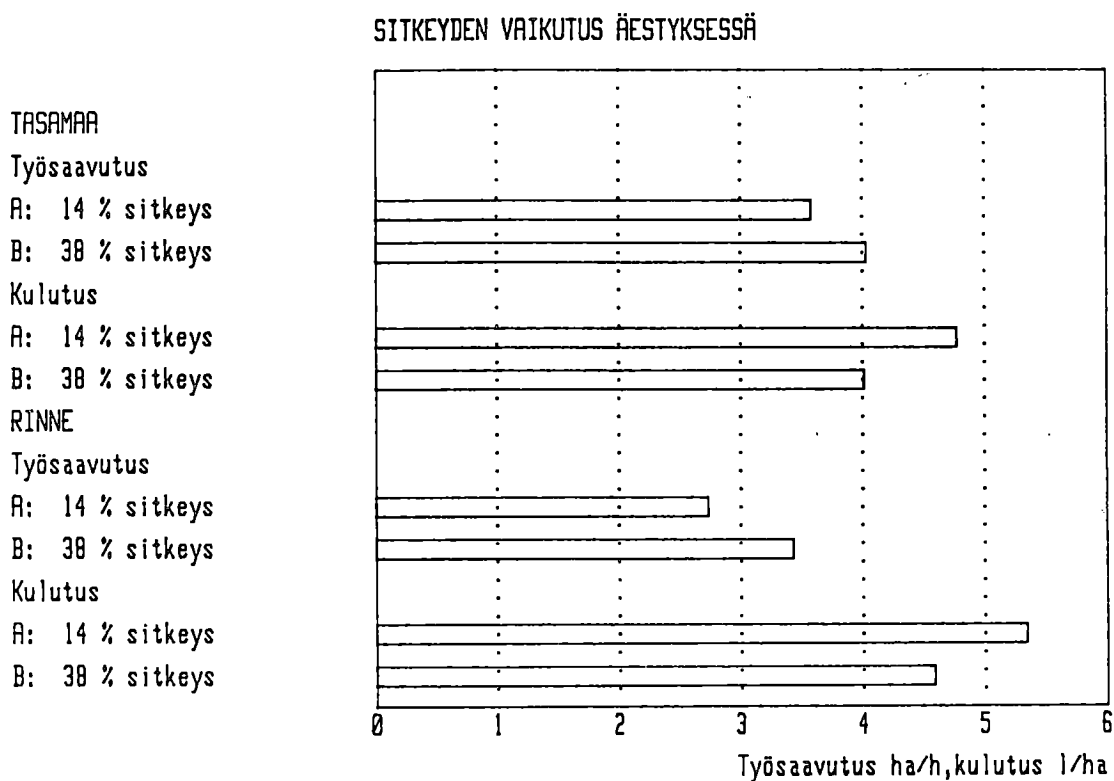


Kuva 9. Moottorin sitkeyden vaikutus suoritusarvoihin.  
A = 14% sitkeys, B = 38% sitkeys

Jos työssä vaaditaan esim. 30% sitkeys, niin B-moottorista voidaan saada suurin teho käyttöön ja silti moottoriin jää vielä momenttireserviä. A-moottoria taasen joudutaan käyttämään osakuorman alueella, jotta 30%-sitkeys saataisiin. Tämä tietää

moottorille A n. 52 kW keskitehoa ja moottorille B n. 60 kW keskitehoa, eli moottori B antaisi käytännön työssä 15% suuremman tehon. Se saadaanko tämä ero täytenä hyväksi riippuu myös työkoneneen koosta ja vaihteiston porrastuksesta.

Kuvassa 10 on esitetty kuvan 9 traktoreiden käytännön työtehoja.



Kuva 10. Sitkeyden vaikutus työsaavutukseen ja polttoaineen kulutukseen

A = 14% sitkeys

B = 38% sitkeys

Kokeissa sitkeämpi traktori antoi usein 10-20 % paremman työsaavutuksen ja polttoainetalouden. Yleensä sitkeämpää traktoria voitiin ajaa suuremmalla ajovaihteella, jolloin työsaavutus oli parempi. Tämä korostui etenkin rinteissä työskenneltäessä.

### Moottorin sitkeys:

- Hyvä moottorin sitkeys mahdollistaa moottoritehon täyden hyödyntämisen ja alhaisen polttoainekulutuksen.
- Jos pellot ovat kevyet ja tasaiset, moottorin sitkeys saisi olla 15-20%. Jäykällä ja rinteisillä mailla sitkeys saisi olla 20-30%.

### Kappaleen 1.1 viitteet:

/11/

/15/

/16/

/17/

## 1.2 Traktorin liikkuminen

### 1.2.1 Kehävoima

Traktorirenkaan pito syntyy kuvan 11 mukaisesti. Renkaan ripojen välinen kannas pyrkii leikkautumaan. Tästä saatava kehävoima riippuu maan sisäisestä kiinnevoimasta (koheesiosta).

Maan kiinnevoiman lisäksi renkaan pitoon vaikuttaa renkaan ja maan välinen kitka sekä leikkauskohdassa ripojen välissä maan sisäinen kitka. Syntynyt kehävoima voidaan ilmaista seuraavasti:

$$F = A \cdot C + R \cdot \tan \mu$$

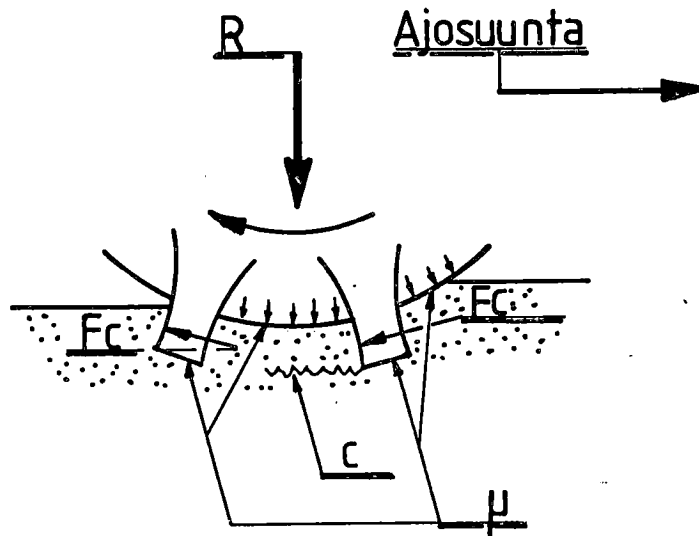
A = leikkauspinta-ala

C = maan koheesiokerroin

R = pyöräkuorma

$\mu$  = maan sisäinen kitkakulma





Kuva 11. Renkaan kehävoiman synty

R = akselikuorma

C = maan leikkautuminen

$\mu$  = kitka

Hiekka on tyypillinen ei koheesiomaa ja savi tyypillinen koheesiomaa. Koheesiomalla (savi) voima F suurenee leikkauspinta-alaa kasvattamalla ja kitkamailla (hiekk) painoa lisäämällä.

Maalajit eivät ole koskaan pelkästään koheesiomaita tai pelkästään kitkamaita, vaan näiden sekoituksia. Irtonaisen hiekan koheesio on hyvin heikko ja kitkakulma noin  $35^\circ$ , mikä vastaa kitkakerrointa 0,7. Tiiviin savimaan kitkakulma on alle  $15^\circ$ , mikä vastaa kitkakerrointa alle 0,3 ja koheesiokerroin on 100-600 kPa. Savimaan koheesiokerroin riippuu voimakkaasti vesipitoisuudesta.

Maan kosteus muuttuu usein syvyyden mukana. Keväällä maan pinta on kostea ja syvemmältä maa voi viellä olla märkä. Syksyllä tilanne on yleensä päinvastainen. Keväällä pitäisi pysyä maan pinnalla urien välttämiseksi. Syksyllä taasen syvemmälle tunkeuduttaessa päästään kuivempaan ja pitävämpään maahan.

Työkone vaikuttaa traktorin akselipainoihin. Pyörän kehävoiman laskemisessa käytetään yleensä todellista (dynaamista) akseli-kuormitusta ja kehävoimakerrointa. Kehävoiman yhtälö on seuraava:

$$F = \mu \cdot R$$

F = kehävoima

$\mu$  = kehävoimakerroin

R = pyöräkuorma

Jotta kuvan 11 mukaista leikkausvoimaa ja luistovoimaa syntyisi, vetävän pyörän on luistettava. Luisto määritellään seuraavasti:

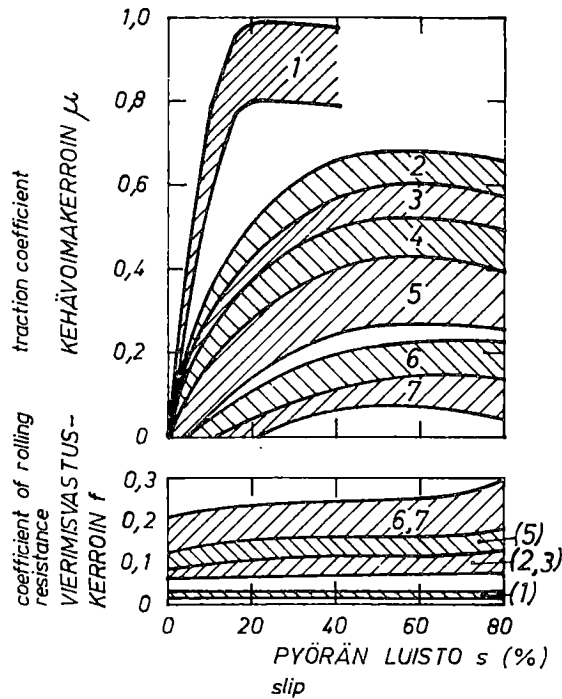
$$S = \frac{v_k - v_a}{v_k} \cdot 100$$

S = luisto

$v_k$  = pyörän kehänopeus

$v_a$  = ajonopeus

Kehävoimakertoimien arvoja on kuvassa 12.



Kuva 12. Vierimisvastus- ja kehävoimakertoimen riippuvuus luistosta eri maalajeilla. /2/

1. Kuiva betoni ja asfaltti
2. Kuiva savi, sänki
3. Savinen hieta, sänki
4. Kosteaa savinen hieta
5. Märkä hiesusavi
6. Hiesu
7. Lieju

Renkaan vetovoiman ennustamiseen käytetään yleisimmin kartioindeksiä (Cone Index) /3/. Koealue kartoitetaan painamalla teräksinen kartio 15 cm syvyyteen maahan. Kartioindeksi saadaan jakamalla tunkeumavoiman keskiarvo pinta-alalla. Tämän jälkeen voidaan laskea renkaan liikkuvuusluku  $C_n$ .

$$C_n = \frac{CI \cdot b \cdot d}{R}$$

$C_n$  = renkaan liikkuvuusluku

CI = kartioindeksi

b = renkaan poikkileikkausleveys

d = renkaan halkaisija

R = renkaan kuormitus

Yhtälön termien laadut valitaan siten, että  $C_n$  on laaduton. Yhtälö pätee, kun poikkileikkausleveyden suhde halkaisijaan, b/d, on noin 0,3. Kehävoimakerroin voidaan tällöin ennustaa yhtälöllä:

$$\mu = \frac{F}{R} = 0,75 (1 - e^{-0,3 \cdot C_n \cdot S})$$

$\mu$  = kehävoimakerroin

F = kehävoima

R = pyöräkuorma

$C_n$  = renkaan liikkuvuusluku

S = renkaan luisto

Kartioindeksin mukaan maan ominaisuudet voidaan luokitella seuraavasti /4/

Märkä pehmeä maa	200 kPa
Kuiva pehmeä maa	400 kPa
Märkä sänki	500 kPa
Kuiva sänki	1000 kPa

### 1.2.2 Liikkumisvastukset

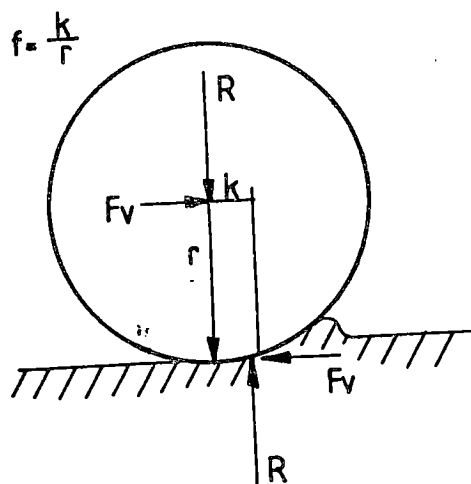
Kovalla alustalla liikkumista vastustavat vierimisvastus ja rinte-  
nevastus. Vierimisvastus aiheutuu renkaan ja maan muodonmuutok-  
sesta, kuva 13. Se ilmoitetaan vierimisvastuskertoimella.

$$f = \frac{F_v}{R}$$

f = vierimisvastuskerroin

F<sub>v</sub> = vierimisvastusvoima

R = pyöräkuorma



Kuva 13. Vierimisvastusvoima ja -kerroin

Rinnevastus johtuu traktorin painon rinteeseen suuntaisesta komponentista. Yleensä se tulee suoraan huomioituksi traktorin veto-voimayhtälöissä.

Jos liikutaan pehmeässä tai epätasaisessa maastossa, on huomioitava myös puskuvastus, hankausvastus ja estevastus. Estevastus tulee esteiden, kuten kivien, kantojen ja ojien ylityksestä. Puskuvastus tulee renkaiden puskemisesta tai jos traktorin maavara ei riitä, myös koko traktorin puskemisesta. Hankausvastus syntyy maan hankaamisena renkaan sivuja ja mahdollisesti myös traktorin alustaa vasten.

Renkaan upotessa pehmeään maahan alkavat pusku- ja hankausvastus vaikuttaa. Mitä pienempi rengas on, sitä suuremmaksi niiden osuus tulee ja sitä jyrkemmin kulkuvastus kasvaa.

Vierimisvastuskertoimet annetaan yleensä koko traktorille ja ne ovat käytännössä mitattuja, jolloin renkaiden pusku- ja hankausvastuksia on niissä osittain mukana.

Renkaan vierimisvastuksen ennustamiseen käytetään myös kartioindeksiä.

$$f = \frac{F_v}{R} = \frac{1,2}{C_n} + 0,04$$

$f$  = vierimisvastuskerroin  
 $F_v$  = vierimisvastusvoima  
 $R$  = renkaan kuormitus  
 $C_n$  = renkaan liikkuvuusluku

Yhtälö pätee samoin edellytyksin kuin kehävoimakertoimenkin yhtälö. Se ei päde hyvin pehmeillä mailla.

### 1.2.3 Traktorin vetovoima

Renkaan vetovoima saadaan vähentämällä renkaan kehävoimasta vierimisvastusvoima.

$$F_a = F - F_v$$

Yleensä traktorin vetovoimatarkasteluissa riittää vaakasuoralla alustalla vaakasuoran vetovoiman määrittäminen, jolloin vetovoimayhtälöt ovat seuraavat:

Nelipyöräveto:

$$F_a = (\mu - f) \cdot G$$

Takapyöräveto:

$$F_a = \frac{\mu R_s 2 - f \cdot G}{1 - \frac{\mu \cdot h}{L}}$$

$F_a$  = vetovoima  
 $R_{s2}$  = taka-akselipaino  
 $G$  = kokonaispaino  
 $h$  = vetopisteen korkeus  
 $L$  = akseliväli  
 $\mu$  = kehävoimakertoimen  
 $f$  = vierimisvastuskerroin

Nelipyörävedolla koko traktorin paino on vetävillä pyörillä ja vetovoimaan vaikuttaa lähinnä traktorin paino. Takapyörävetoisella traktorilla vetovoimaan vaikuttaa vetävillä pyörillä (= takapyörillä) oleva paino ja painonsiirron ( $\mu h/L$ ) voimakkuus. Vetovoimahan keventää etuakselia ja tuo lisää painoa vetäville takapyörille. Käytännössä vetovoima on vetotarpeen mukainen ja pyörien luisto muuttuu siten, että kyseinen vetovoima saavutetaan. Luisto muuttuu vetovoiman mukaan samalla lailla kuin kehävoimakertoimen, vrt. kuva 12.

Peltotöissä luisto ei saisi ylittää 20 %, koska tällöin maahan jää selvät luistourat. Vetovoimaa arvioitaessa kannattaa siten käyttää korkeintaan 20 % luistoa vastaavia kehävoimakertoimia.

#### 1.2.4 Traktorin vetoteho

Traktorin vetovoima ilmaisee pystyykö traktori liikuttamaan työkonetta. Vetoteho ilmaisee millä ajonopeudella traktori pystyy työkonetta vetämään.

$$P = F_a \cdot v$$

$P$  = vetoteho  
 $F_a$  = vetovoima  
 $v$  = ajonopeus

Jos traktori pystyy vetämään työkonetta, vetoteho riippuu moottorin tehosta ja vaihteiston porrastuksesta. Nelipyörävetoisen traktorin kokonaiskehävoima vaakasuoralla alustalla ja vaakasuoralla vedolla on

$$F = \mu \cdot G$$

ja takapyörävetoisen vastaavasti

$$F = \mu \cdot R_{s2} + \frac{\mu \cdot R_{s2} - f \cdot G}{L - \mu \cdot h}$$

Pyörän vääntömomentti on tällöin

$$M_p = F \cdot r$$

$M_p$  = pyörän vääntömomentti

$F$  = kehävoima

$r$  = renkaan kuormitettu säde

Vaadittu moottorin vääntömomentti on

$$M_m = \frac{M_p}{N \cdot \eta}$$

$M_m$  = moottorin vääntömomentti

$\eta$  = voimansiirron hyötysuhde, yleensä 0,92 - 0,97

$N$  = moottorin ja pyörän välinen kokonaisvälitys käytetyllä ajovaihteella

Moottorin vääntömomenttikäyrältä voidaan tarkistaa pystyykö moottori antamaan vaaditun momentin ja jos pystyy niin myös mikä on moottorin pyörimisnopeus ja käyttöteho. Rinteitä ja maalajin vaihteluja varten pitää jättää riittävästi vääntömomenttireserviä.



### 1.2.5 Traktorin vetohyötysuhde

Traktorin pyörille tuleva teho voidaan jakaa seuraavasti:

$$P_p = P_a + P_v + P_s$$

$$\begin{aligned} P_p &= \text{pyörille tuleva teho} &&= M \cdot \omega \\ P_a &= \text{vetoteho} &&= F_a \cdot v_a \\ P_v &= \text{vierimisvastusteho} &&= F_v \cdot v_a \\ P_s &= \text{luistoteho} &&= F \cdot v_a \cdot \frac{S}{1-s} \end{aligned}$$

$$V_a = \text{ajonopeus}$$

Vetotehosta ja pyörille tulevasta tehosta voidaan laskea vetohyötysuhde.

$$\eta = \frac{P_a}{P_p} = (1-s) \cdot \frac{(1-F_v)}{F}$$

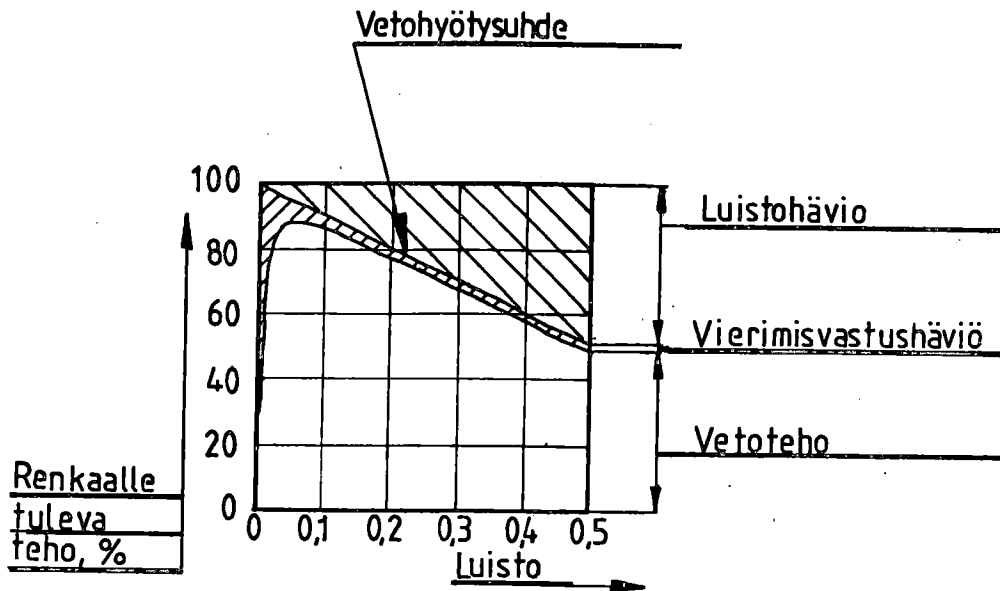
Nelipyörävetoisella traktorille saadaan

$$\eta = (1-s) \cdot \frac{(1-f)}{\mu}$$

ja takapyörävetoiselle

$$\eta = (1-s) \cdot \frac{1-f}{\mu} \cdot \frac{L-\mu \cdot h}{L - \frac{R_s^2}{G} - f \cdot h}$$

Kuvassa 14 on esimerkki vetohyötysuhteesta. Hyvissä pelto-oloissa vetohyötysuhde voi olla 70 % luokkaa. Huonoissa oloissa se voi olla jopa alle 50 %. Vetohyötysuhde on suurimmillaan luistolon ollessa 5-20 %. Pehmeällä maalla huippu siirtyy suurempaan luistoon. Yli 20 % luistoa ei pitäisi käyttää luistovaurioiden (luistourien) takia.



Kuva 14. Renkaalle tulevan tehon jakautuminen

### 1.3 Traktorin renkaat

#### 1.3.1 Renkaan kudoserakenne

Ilmakumirenkaan kudoserakenne tekee renkaasta joustavan, mutta samalla lujan erilaisia rasituksia vastaan. Renkaan vannetta vasten olevassa jalustassa kulkee teräsvaljieri, jonka ympäri kudoserrokset kiertyvät. Kudoserroksen kudoslankoja ympäröi kumi, joka pitää ne erillään ja sallii jännityksissä pientä sisäistä liikettä. Renkaan kudoksissa käytetään erilaisia synteettisiä kuituja kuten raionia, nailonia ja polyestereitä. Kumina käytetään pääasiassa synteettistä kumia.

Renkaan kudoserakenteen lujuutta kuvataan PR-luvulla (Ply Rating), joka alunperin tarkoitti puuvillakudoserrosten lukumäärää. PR-luku ei kuitenkaan enää välttämättä osoita kudoserrosten todellista määrää johtuen erilaisista kudomateriaaleista, vaan se kertoo renkaan lujuusluokan. Lujuusluokka määrää renkaan suurimman sallitun ilmanpaineen ja ilmanpaine puolestaan renkaan suurimman sallitun kuorman. Siten mitä suurempi PR-luku tietynkoisella renkaalla on, sitä suurempi on renkaan kantavuus.

Kudosrakenteensa mukaan ilmakumirenkaat jaetaan ristikudos- ja vyörenkaisiin, kuva 15. Ristikudosrenkaissa päällekkäiset kudokset kulkevat ristikkäin renkaan yli, jolloin renkaan sivut tulevat rakenteeltaan yhtä vahvoiksi kuin kulutuspuolella oleva kudoserakenne. Kudokset ovat ristikudosrenkaassa noin 45<sup>o</sup>:een kulmassa renkaaseen nähden. Vyörenkaissa sen sijaan pohjimmaisat kudokset kulkevat renkaan yli lähes kohtisuoraan. Kulutuspuolelle on lisätty vyömäisiä lujia kudokset, joiden kudokset kulkevat loivasti ristiin. Vyörenkaan sivut ovat siten rakenteeltaan kulutuspuolella olevaa kudoserakennetta heikommät.



Vyörens

Ristikudosrens

Kuva 15. Vyörenkaan ja ristikudosrenkaan kudoserakenteet

Vyörenkaalla vääntövoimat jakaantuvat 200<sup>o</sup>:lle renkaan kehällä. Ristikudosrenkaalla vääntövoimat keskittyvät renkaassa pienelle alueelle renkaan ja maan kosketuskohdassa. Väännön tasainen jakautuminen renkaassa vähentää renkaan kiemurtelua alustaa vasten. Vyömäinen kudoserakenne pienentääkin renkaan ripojen suhteellista liikettä, mikä on tiellä ajettaessa edullista renkaan keston kannalta. Toisaalta ripojen vähäinen suhteellinen liike heikentää renkaan puhdistuvuutta. Tätä kuitenkin kompensoi vyörenkaan kehän taipuminen jyrkemmälle mutkalle kosketusalan päisssä. Renkaan kiemurtelu aiheuttaa myös sen, että renkaan todellinen vaikuttava kehä on ristikudosrenkaalla pienempi kuin mitä sen mitat edellyttäisivät. Vyörenkaalla sensijaan lähinnä vyön pituus määrää renkaan vaikuttavan kehän pituuden.

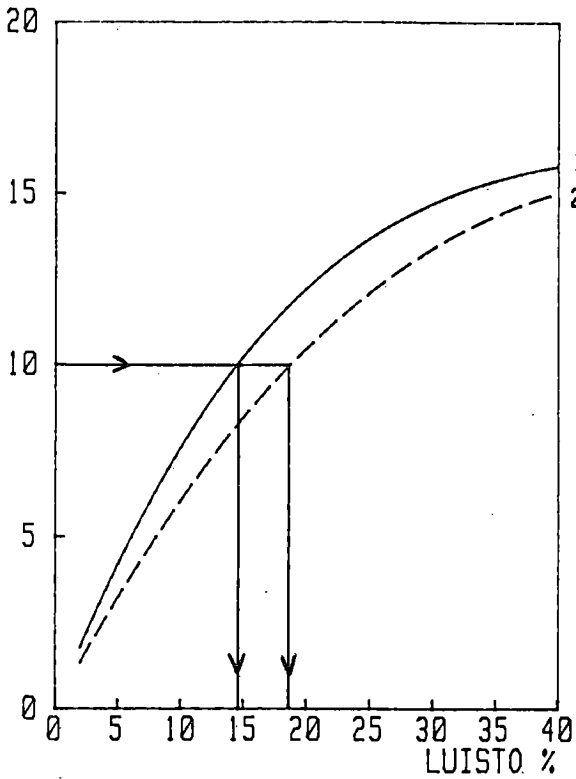
Vyörengas joustaa sivuistaan rakenteensa takia ristikudosrengasta enemmän. Siksi vyörenkaalla on suurempi ja erityisesti pitempi renkaan ja maan välinen kosketuspinta-ala. Koheesio-  
mailla tämä lisää vetovoimaa, koska leikkauspinta-ala kasvaa. Renkaan suuri painuma ja sivujen pullistuma heijastaa renkaan maahan aiheuttaman normaalivoiman jakautumista suurelle alueelle ja myös pintapaineen tasaista jakautumista. Tällaiselle renkaalle on tyypillistä pieni uppouma maahan ja hyvät veto-ominaisuudet. Renkaan pieni painuma kertoo sitävastoin normaalivoiman keskittymisestä lähelle renkaan keskustaa ja osoittaa suurta uppoumaa ja huonoa vetokykyä.

Renkaan kudusrakenne ei yksinään ratkaise renkaan pitoa, vaan siihen vaikuttaa myös ripakorkeus, rengaspaine, renkaan puhdistuvuus ja maalaji. Tutkimustulosten mukaan vyörenkailla on yleensä seuraavat ominaisuudet:

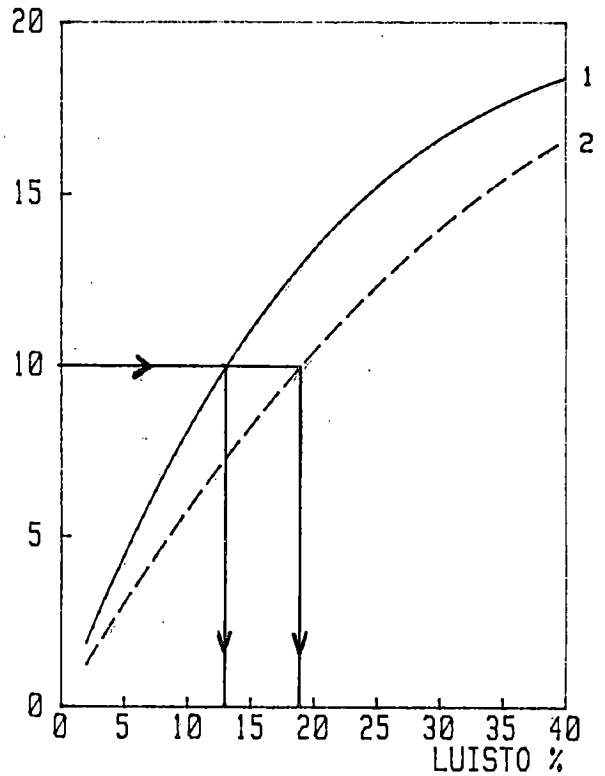
- Vetovoima on etenkin pienellä luistolla ristikudosrengasta parempi. Tämä tarkoittaa sitä, että jos vetovoiman tarve pysyy samana, vyörenkaiden luisto on pienempi ja sitä kautta ajonopeus ja työsaavutus suurempi.
- Vyörenkaan kulutuskestävyys on ristikudosrengasta parempi.
- Vyörenkaiden sivut ovat pistoille arat, joten ne eivät sovellu metsäkäyttöön.

Kuvassa 16 on esimerkki kahdella eri alustalla tehdystä vetokeesta. Siinä on esitetty kolmen vyörenkaan ja kahden ristikudosrengaan vetovoimien keskiarvot. Käyrät ovat koerenkaille tyypilliset ja ne toistuivat samanlaisina muillakin maalajeilla. Jos esim. työkoneen vetovastus olisi 10 kN, ristikudosrenkailla luisto olisi n. 19 % ja vyörenkailla n. 14 %, kuva 16a. Luisto pienenee siis 5 %-yksikköä, mikä saadaan suurentuneena ajonopeutena ja sitä kautta myös suurentuneena työsaavutuksena hyödynsi.

VETOVOIMA kN



VETOVOIMA kN



Kuva 16. Valmet 702 S -traktorin vetovoima  
a) multamulloksella b) savimulloksella  
1. = Good Year STR, Kleber S50 ja Nokia Radial vyörenkaiden keskiarvo  
2. = Good Year ST ja Nokia FS ristikudosrenkaiden keskiarvo

Luistoarvot käytännön työssä riippuvat paljolti renkaiden muistakin ominaisuuksista ja maalajista. Esim. maan tarttuminen renkaaseen riippuu maan kosteudesta ja renkaan puhdistuminen kuviosta. Luiston voidaan olettaa pienenevän vyörenkaita käytettäessä 0-10 %-yksikköä, keskimäärin ilmeisesti 3-6 %-yksikköä.

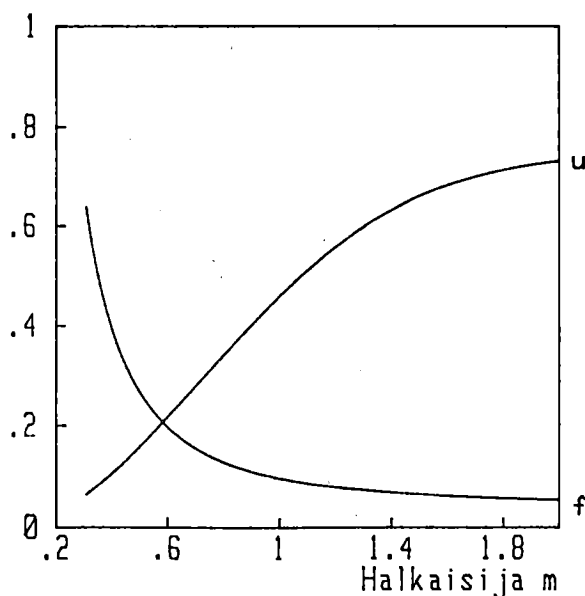
### 1.3.2 Renkaan koko

Renkaan kokomerkinnoissä ilmoitetaan renkaan leveys, vanteen halkaisija (= renkaan reiän halkaisija) ja kudokset luokka. Esim. merkintä 16.9-34 8 PR tarkoittaa 16.9 tuumaa leveää rangasta, joka sopii 34 tuuman vanteelle. 8 PR tarkoittaa, että

sen lujuus vastaa kahdeksan kerroksista puuvillakudosta. Vyörenkaan kokomerkinnessä väliviiva korvataan R-kirjaimella esim. 18.9 R 34. Matalailmatilaiset renkaat ilmoitetaan hieman toisin, esim. 600/55-38 tarkoittaa 600 mm leveää rengasta, jossa renkaan poikkileikkauksen leveyden suhde korkeuteen on 0,55. Renkaan leveys voidaan myös ilmoittaa tuumina.

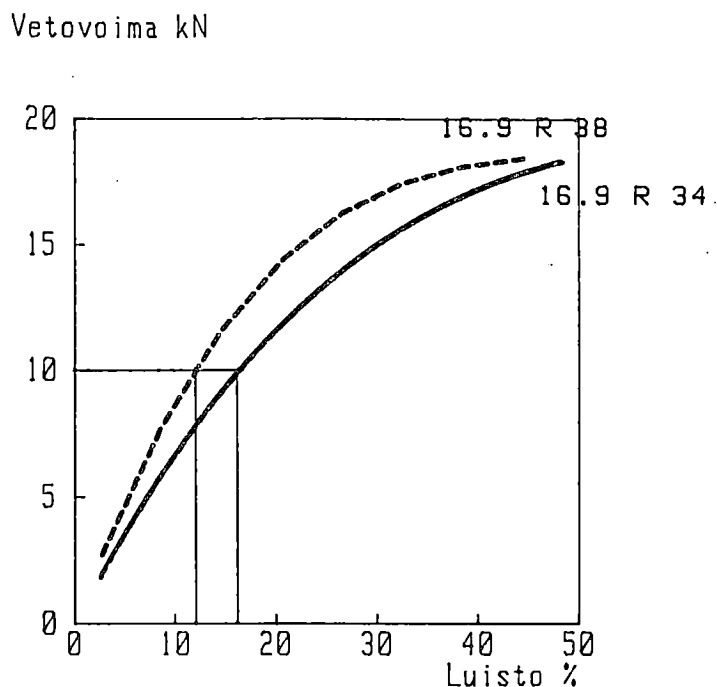
Renkaan halkaisijan vaikutusta kehävoima- ja vierimisvastuskertoimiin voidaan tarkastella kartioindeksiin perustuvan ennustamallin avulla. Jos esimerkiksi pyörän kuorma on 10 kN, luisto on 15 %, renkaan leveys on 30 % halkaisijasta ja maan Cone-indeksi on 700 kPa, saadaan kuvan 17 mukaiset kehävoima- ja vierimisvastuskertoimet renkaan halkaisijan muuttuessa. Esimerkkitapaus vastaa n. 50 kW traktorin käyttöä äestykseen. Kuvasta nähdään selvästi renkaan halkaisijan vaikutus. Normaalisti tämän kokoisten traktoreiden rengashalkaisijat ovat 1,3 - 1,6 m. Muutos 1,3 m renkaasta 1,6 m renkaaseen parantaisi pitoa ja vähentäisi vierimisvastusta n. 15 %.

Kerroin



Kuva 17. Esimerkki renkaan halkaisijan vaikutuksesta kehävoima- ja vierimisvastuskertoimeen

Vakolassa tehdyssä mittauksessa renkaan koko vaikutti myös hyvin selvästi, kuva 18.



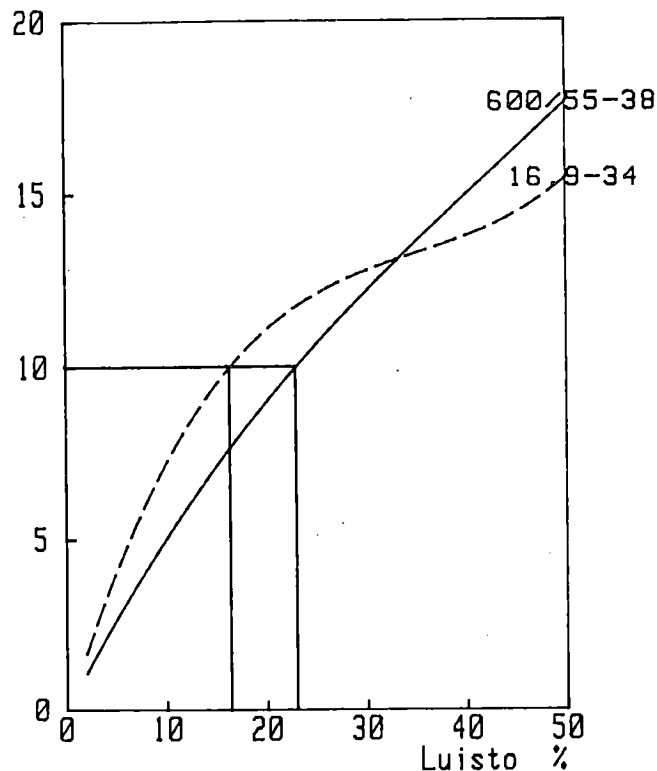
Kuva 18. Valmet 702 S -traktorin vetovoima savimulloksella 16.9 R 34 ja 16.9 R 38 renkaita käyttäen

Eri maalajeilla suurempikehäinen vyörengas antoi 15 % luistolla noin 14 % suuremman vetovoiman tai jos vetovoima pidetään samana (esim. 10 kN), luisto pieneni keskimäärin 4 %-yksikköä. Samoin isomman renkaan vierimisvastus oli n. 20 % pienempi.

Tavallisesti renkaan poikkileikkauskorkeuden suhde poikkileikkausleveyteen on 0,85 tai enemmän. Jos tämä suhde on pienempi, kyseessä on matalailmatilainen rengas. Matalailmatilaisessa renkaassa voidaan käyttää alemmaa rengaspainetta, jolloin esim. pintapaine on pienempi. Matalailmatilainen rengas on pito-ominaisuuksiltaan yleensä tavanomaista huonompi. Tämä johtuu suuremmasta vierimisvastuksesta, pienemmästä pintapaineesta, lyhyemmästä kosketuspituudesta ja huonommasta puhdistuvuudesta. Suurempi vierimisvastus johtuu suuremmista häviöistä renkaan rungossa (renkaan muodonmuutos) ja pehmeässä leveämmästä maan talttaamisesta. Renkaan puskuvastus on myös merkittävä.

Kovalla alustalla pieni ripojen pintapaine voi aiheuttaa sen, etteivät rivat pysty tunkeutumaan maahan. Renkaan leveys aiheuttaa lyhyen kosketuspituuden, jolloin maata leikkaavia ripoja on vähän. Samoin pitkät rivat heikentävät renkaan puhdistuvuutta. Kuvassa 19 on esimerkki matalailmatilaisen ja tavallisen renkaan vetovoimista. Matalailmatilaisen renkaan vetovoima 15 % luistolla oli n. 25 % pienempi ja vastaavasti 10 kN voimalla luisto oli n. 7 % -yksikköä suurempi.

Vetovoima kN



Kuva 19. Tavallisen ja matalailmatilaisen renkaan vetovoimat savimulloksella (Valmet 702 S)

Renkaan leveyttä valittaessa on huomattava, että renkaan on mahdollista kyntövakoon, kuva 20. Kyntövaon leveyttä ei taasen voida vapaasti valita, koska leveä viilu vaatii syvän kynnön, jotta viilu kääntyisi. Kyntösyvyys ei kuitenkaan saa olla koneiden sanelema vaan se on valittava olosuhteiden mukaisesti.

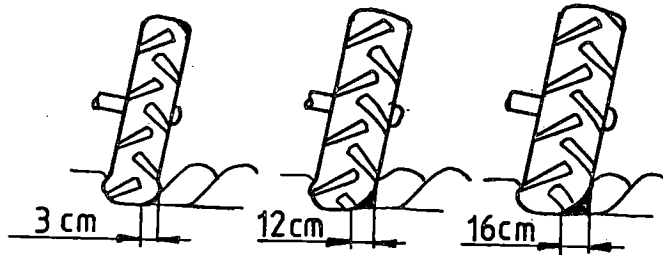


## Kyntövako 35cm

136-36

169-34

184-34



Kuva 20. Renkaan leveyden vaikutus kyntöviilun talleantumiseen

### 1.3.3 Renkaan kulutuspinta

Kovalla maalla liikuttaessa kun rivat eivät uppoa maahan, veto-voima syntyy pelkästään renkaan ja maan välisestä kitkasta. Paras pito saadaan sileällä renkaalla, ainoastaan pinnalla olevan veden poistamiseksi tarvittaisiin kuviointi.

Pehmeällä maalla vetovoima saadaan kitkan lisäksi maan leikkauslujuudesta. Tällöin renkaan ripojen on tunkeuduttava helposti maahan ja myös tarpeeksi syväälle, jotta päästäisiin märästä pinnasta hieman kuivempaan. Kapeat rivat tunkeutuvat hyvin, mutta maantieajossa ne kuluvat nopeasti. Ripojen leveys on tällöin kompromissi hyvästä tunkeumasta ja kulutuskestävyydestä.

Ripojen korkeus riippuu maan kosteudesta. Mitä syvemältä pinta on märkää, sitä korkeammat rivat tarvittaisiin kuivempaan maahan pääsyyn. Toisaalta kuivalla pellolla korkeat rivat lisäävät vierimisvastusta suuremman renkaan muodonmuutoksen ja lisääntyneen maan liikuttamisen takia. Ripakorkeuden pitäisi olla vähintään 20 mm, jotta rivat yleensä tunkeutuisivat jollain lailla maahan. Suositeltava ripakorkeus on 40-50 mm luokkaa. Tällöin niissä on kulumisvaraa riittävästi ennenkuin tullaan 20 mm ripakorkeuteen.

Ripakulmalla ei ole huomattu olevan merkittävää vaikutusta pitoon. Sillä voi olla merkitystä sivuttaispitoon esim. rinteessä. Keski-Euroopassa suositetaan nelipyörävetoisen traktorin eturenkaiden kääntöä. Tällöin renkaan ripojen ulkoreunat koskettavat ensiksi alustaan ja renkaiden kuluminen on huomattavasti vähäisempää. Jos kuljetusajoa on 30 % kokonaisajosta, niin renkaiden kääntäminen on kaksinkertaistanut kestoiän. Pito on ollut huonompi vasta märällä pellolla.

Renkaan kuviointi yhdessä runkorakenteen kanssa vaikuttaa renkaan puhdistuvuuteen. Kuvioinnin pitäisi olla avoin ja renkaan runko saisi liikkua melko paljon, jotta renkaaseen tarttunut maa irtoaisi renkaasta. Jos kuviot täyttyvät, rivat eivät pysty enää tunkeutumaan maahan ja maan leikkauslujuutta ei voida hyödyntää. Maan tarttumiseen vaikuttaa ratkaisevasti sen kosteus. Kosteuden muuttuessa hieman tarttuvuus voi muuttua ratkaisevasti.

#### 1.3.4 Renkaan ilmanpaine

Renkaan ilmanpainetta lisättäessä sen kuorman kantokyky kasvaa. Suurin sallittu rengaspaine riippuu renkaan kudoksetluokasta. Maatalouskäytössä käytetään yleisesti 6 tai 8 PR renkaita.

Rengaspaine vaikuttaa sekä renkaan pitoon että vierimisvastusvoimaan. Alentamalla rengaspainetta pito yleensä paranee ja vierimisvastus pienenee. Tämä johtuu siitä, että pienempi paine sallii suuremman renkaiden sivujen jouston, jolloin kosketuspinta-ala kasvavat.

Renkaan puhdistuvuuteen rengaspaine vaikuttaa merkitsevästi. Korkea paine estää rungon liikkumisen, jolloin rengas puhdistuu huonosti.

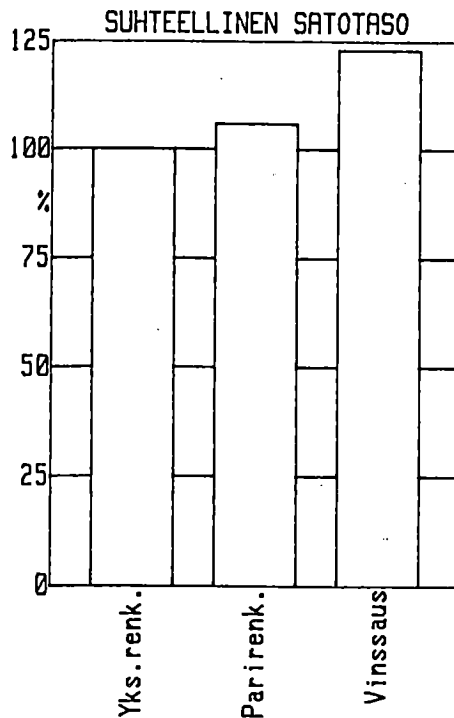
Rengaspaineen merkitys on vähäinen, jos olosuhteet ovat hyvät, mutta mitä huonommissa oloissa liikutaan, sitä tärkeämmäksi pitkä kosketuspituus ja hyvä puhdistuvuus tulee.

Liian alhainen rengaspaine lyhentää renkaan ikää, renkaan kudokset rikkoontuvat. Alhaisin suositeltu paine on 80-100 kPa ja ai-noastaan erikoisrenkailla voidaan sallia alhaisempi paine. Kovassa vedossa suositellaan paineen lisäystä 30 kPa. Isolla ren-gaskoolla pienin suosituspaine on korkeampi, koska alhaisella paineella vanne voi pyörähtää renkaan sisällä.

#### 1.3.5 Renkaan pintapaine

Koneiden käyttö vaikuttaa maan rakenteeseen. Maa voi tiivistyä, joko pinnastaan tai syvemmältä. Pintavauriot on helppo havaita silmämääräisesti, mutta syvempiä vaurioita on vaikea todeta. Viljelykautena koneiden renkaat tallaavat viljanviljelyssä pel-lon keskimäärin neljään kertaan eli joka pellon kohdan yli on kulkenut traktorin tai työkoneen rengas neljä kertaa. Etenkin savimailla tämä aiheuttaa maan tiivistymisen ja sitä kautta suurentuneen auran tai äkeen vetovoiman tarpeen ja pienentyneen sadon. Sadon väheneminen voi olla jopa 20-30 %. Maan kosteus vaikuttaa tiivistymiseen. Kuiva maa kantaa hyvin, jolloin vau-riot ovat pienet. Kosteaa maa taasen tiivistyy helposti ja vau-riot ovat suuret.

Ruotsalaisten tutkimusten mukaan tiivistymisalttiilla savimail-la sato on lisääntynyt 6 % käytettäessä parirenkaita ja 23 %, kun työkoneet on liikutettu vinssien avulla, kuva 21.



Kuva 21. Traktorin rengasvarustuksen vaikutus satoon /6/

Renkaan pintapaine ratkaisee pysyykö rengas pellon pinnalla vai uppoaako se peltoon. Keskimääräinen pintapaine saadaan lisäämällä renkaan ilmanpaineeseen renkaan runkorakenteesta johtuva runkopaine. Traktorirenkaiden rengaspaineet ovat normaalisti 0,8-2 bar ja runkopaineet 0,1-0,5 bar. Renkaan runkopaine kasvaa, kun kudoskerrosluokka suurenee. Vyörenkaan runkopaine on yleensä ristikudosrenkaan painetta alhaisempi. Jotta pellon pintavauriot olisivat mahdollisimman vähäiset, pitäisi pyrkiä mahdollisimman alhaisiin rengaspaineisiin eli traktorit, työkoneet ja näiden renkaat pitäisi valita alhaisia rengaspaineita suosien.

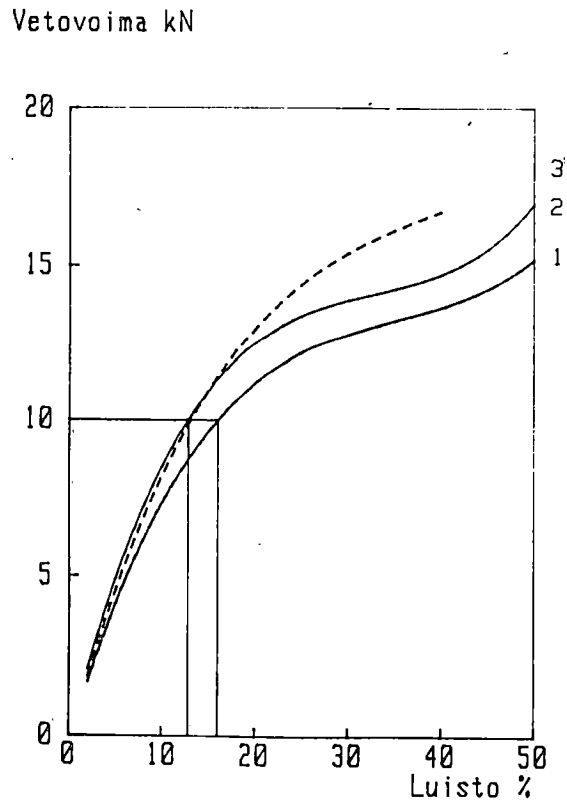
Parirenkaita käytettäessä renkaiden kantavuus on 1,76ertainen yhden renkaan kantavuuteen verrattuna. Tämä sallii normaalia alhaisempien paineiden käytön.

Myös renkaan luisto tuhoaa maan rakennetta ja aiheuttaa vaurioita. Tämän takia pitäisi välttää suuria, yli 20 % luistoja.

Rengaspaine vaikuttaa maan pintaan, kokonaispaine vaikuttaa syvemmälle. Vaikka raskas kone pysyy pellon pinnalla, se tiivistää maata syvemältä, yleensä 15-30 cm syvyydeltä. Tämän estämiseksi koneiden kokonaispaine pitäisi pitää alhaisena.

### 1.3.6 Parirenkaat

Parirenkaita käytettäessä voidaan rengaspaineita alentaa, jolloin pintapaine myös alenee ja maan pinnan vaurioituminen vähenee. Parirenkaat pienentävät myös vetävien pyörien luistoa. Luisto pienenee lähinnä parirenkaiden tuoman lisäpainon ansiosta. Kuvassa 22 on verrattu mulloksella normaalivarustusta, lisäpainoja ja parirenkaita. Käyttämällä parirenkaita tai vastaavaa määrää lisäpainoja luisto pienenee 4 %-yksikköä.

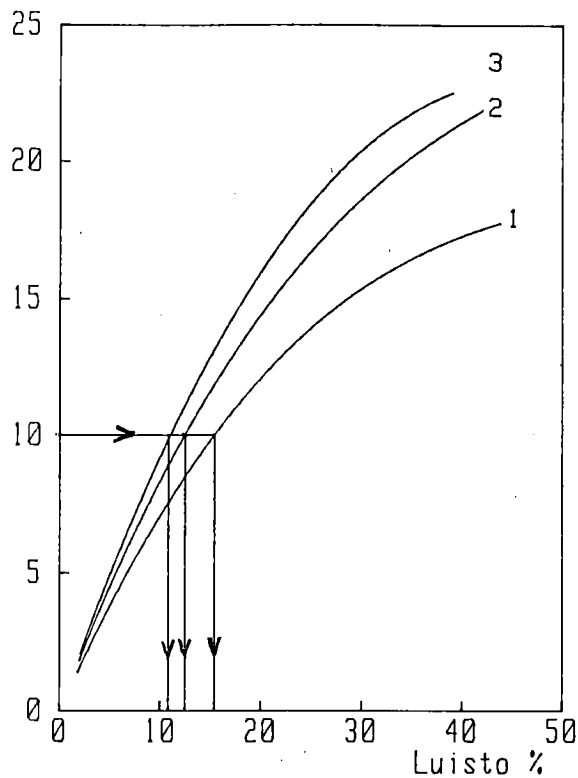


Kuva 22. Valmet 702 S -traktorin vetovoima savimulloksella

1. Nokia 16.9-34 AS
2. Nokia 16.9-34 AS parirenkaat
3. Nokia 16.9-34 AS ja lisäpainot siten, että taka-akselipaine oli sama kuin kohdassa 2.

### Parirengastyypin vaikutus näkyy kuvasta 23.

Vetovoima kN



Kuva 23. Valmet 702 -traktorin vetovoima, savimulloksella:  
1 = ristikudosrenkas  
2 = ristikudosparipyörät  
3 = paripyörät, joista toinen ristikudos- ja toinen vyörengas

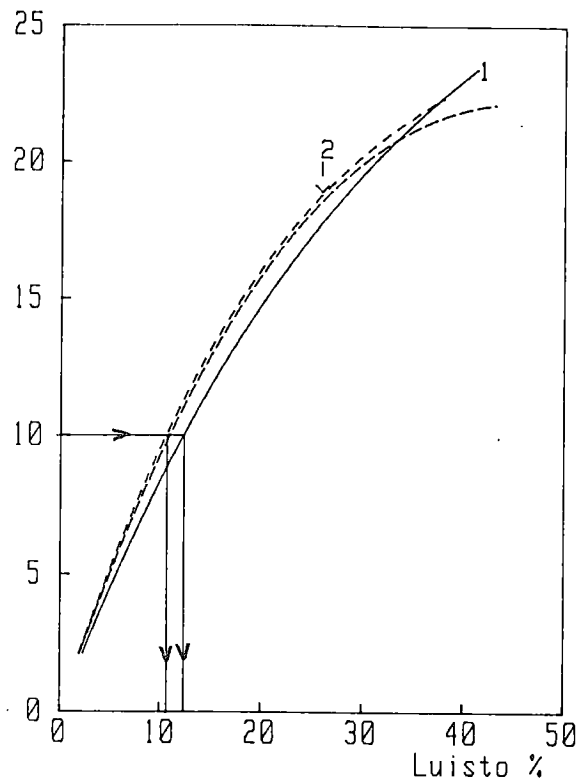
Vyörenkaan käyttö parirenkaina pienentää pelkkiin ristikudosrenkasiin verrattuna luistoa parin prosenttiyksikön verran.

Parirenkaiden rengaspaineiden vaikutus selviää kuvasta 24.

Rengaspaineita alentamalla saadaan paripyörien luistoa vähennettyä parin prosenttiyksikön verran. Sillä, alennetaanko vain toisen renkaan parin vai molempien, ei koetuloksen mukaan ollut paljoakaan eroa.

Parirenkaiden etäisyys vaikuttaa niiden puhdistumiseen. Jos renkaat ovat lähellä toisiaan, vastakkain olevat ripojen välit eivät pääse vapaasti puhdistumaan. Tämä voi luiston ollessa suuren vaikeuttaa renkaiden puhdistumista.

Vetovoima kN



Kuva 24.

Parirenkaiden rengaspaineiden vaikutus vetovoimaan, Valmet 702.

- 1) molemmat 1,1 bar
- 2) ulompi rengas 0,8 bar ja sisempi 1,1 bar sekä molemmat 0,8 bar

Parirenkaat pienentävät traktorin sivusuuntaista heiluntaa huomattavasti etenkin ensimmäisellä äestyskerralla. Tämä helpottaa kuljettajan työskentelyä.

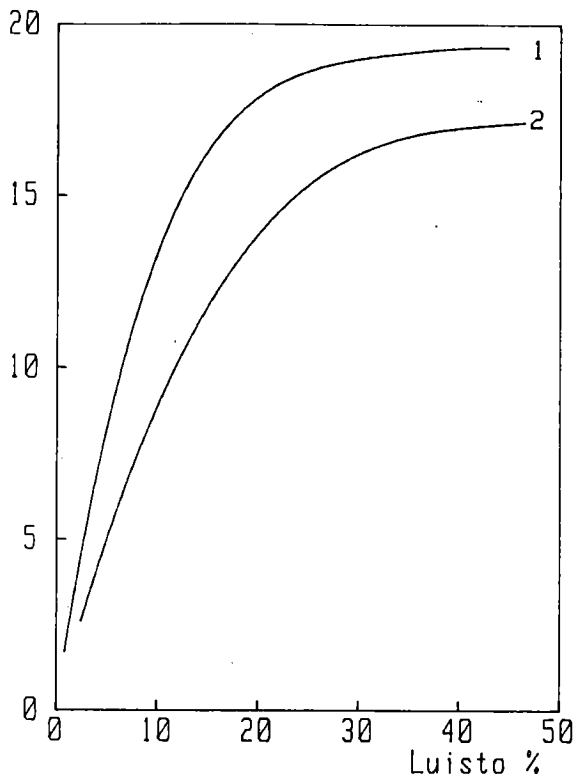
Parirenkaita voidaan käyttää äestyksessä. Kyntöön ne eivät sovellu, koska vakoon levikepyörä ei mahdu ja sänkiyörässä se vastaa vastaavan painoista lisäpainoa.

### 1.3.7 Liukuesteet

Talvella traktoreissa käytetään yleisesti piikkiketjuja. Ne lisäävät pitoa huomattavasti, vetovoima suurenee noin 50 %. Pellolla tällaiset ketjut parantavat pitoa lähinnä niiden tuoman

lisäpainon ansiosta. Jos liukuesteiden halutaan lisäävän huomattavasti pitoa, niiden pitää tunkeutua maahan pintaa syvemmälle, jolloin voidaan käyttää maan leikkauslujuutta hyväksi. Kuvassa 25 on esimerkki piikkilevikepyörien vaikutuksesta vetovoimaan.

Vetovoima kN



Kuva 25. Piikkilevikepyörien vaikutus Fiat 640 DT3- traktorin vetovoimaan märällä savimaalla. Nostolaitteessa oli 455 kg lisäpainoja, mikä vastaa likimain kynnön painonsiirtoa

1. Takapyöräveto ja piikkilevikkeet
2. Nelipyöräveto

Piikkilevikkeiden käytöllä on saatu jopa nelipyörävetoa parempi pito. Jos pelto ei ole täysin liejuinen, piikkilevikkeiden avulla saadaan yleensä nelipyörävetoa vastaava pito.

Piikkilevikkeiden hankaluutena on niiden huono puhdistuvuus ja poistamistarve tieajossa.



### 1.3.8 Traktorin takarenkaiden valinta

Traktorin vetävien renkaiden koko voidaan valita seuraavasti:

#### 1. Renkaan leveys

Rengas ei saa olla paljoa kyntövakoa leveämpi. Rengasmerkinnän ensimmäinen luku ilmoittaa renkaan leveyden esim. 16.9 - 34 renkaan leveys on 16.9", mikä mahtuu hyvin 16" vakoön.

#### 2. Renkaan halkaisija

Halkaisijan valintaan vaikuttaa renkaan mahtuminen lokasuojan alle. Jos renkaissa käytetään ketjuja vaaditaan 8 cm vapaa tila renkaan kehällä. Maan pakkaantumisen takia on myös syytä jättää vapaata tilaa renkaan ja lokasuojan väliin. Mitä suurempi on renkaan halkaisija, sitä parempi on pito.

#### 3. Ripakorkeus

Uuden renkaan sopiva ripakorkeus on 40-50 mm. Renkaat on syytä vaihtaa uusiin viimeistään, kun ripakorkeus on alle 20 mm.

#### 4. Runkorakenne

Jos traktoria käytetään pelkästään peltotyössä, vyörenkaat antavat paremman pidon. Metsätyöhön niitä voi käyttää vain jos renkaan valmistaja sallii sen.

## 5. Kudoskerrosluokka

Perävaunukäytössä traktorin taka-akselille tulee lisäpainoa enimmillään n. 80 % traktorin painosta, korkeintaan kuitenkin n. 3000 kg. Kudoskerrosluokka valitaan siten, että renkaiden kantavuus on riittävä. Yleensä käytetään 8 PR renkaita. Jos rengaskoko on traktorin painoon nähden suuri, 6 PR voi myös riittää.

## 7. Rengaspaine

Peltotyössä traktorin takarenkaiden suosituspaine on 80-100 kPa ja perävaunukäytössä 150-180 kPa. Rengaspaine pitäisi säätää aina työn ja kuorman mukaan.

## 8. Parirenkaat

Parirenkaat ovat äestyksessä suositeltavat. Ne pienentävät luistoa, lisäävät työsaavutusta, vähentävät traktorin heiluntaa ja vähentävät pellon pinta-vaurioita.

## 9. Erikoisleveät renkaat

Erikoisleveät renkaat usein suurentavat pyörien luistoa ja vähentävät työsaavutusta. Vaikka pienemmän pintapaineen ansiosta pellon pintavauriot vähenevät, luistovauriot suurenevät.

### 1.3.9 Traktorin eturenkaiden valinta

Traktorin eturenkaat vaikuttavat maan tiivistymiseen samalla lailla kuin takarenkaat. Jos tiivistymisen ja pintavaurioiden halutaan olevan vähäisiä, eturenkaat on valittava siten, että voidaan käyttää alhaisia rengaspaineita. Ohjattavuuden kannalta eturenkaiden harjanteet parantavat kääntyvyyttä.

Nelipyörävetoisissa traktoreissa suuri eturengaskoko pitää pientä paremmin. Rengaskokoa ei voida kuitenkaan vapaasti valita, vaan etu- ja takarengaskoko on valittava parina. Muutoin etu- ja takapään välityssuhteet muuttuvat.

Etupyörien leveys ja raideleveys saisi olla sama kuin takapyörien. Tällöin takarengaat kulkevat etupyörien jäljissä ja niiden vierimisvastus on hieman pienempi ja pito hieman parempi.

Kappaleen 1.3 Traktorin liikkuminen kirjallisuusviitteet:

- /1/
- /2/
- /3/
- /4/
- /5/
- /6/
- /7/
- /17/
- /18/

#### 1.4 Traktorin paino ja lisäpainot

Jotta traktori yleensä vetäisi työkonetta, pyörien on luistettava. Luisto ei kuitenkaan saa olla liiallista, jottei moottoritehoa turhaan hukkaantuisi. Kuva 14. kuvaa pyörien akselitehon jakautumista.

Pienillä luistoilla suuri osa akselitehosta kuluu vierimisvastushäviöihin, suurilla luistoilla taas luistohäviöihin. Kun hyvissä oloissa kehävoimakerto on 0,4 ja luisto 10% sekä pyörien vetotehon halutaan olevan mahdollisimman suuren, saadaan painon, tehon ja ajonopeuden välille seuraava yhtälö /8/:

$$\frac{R}{P} = \frac{1,79}{v}$$

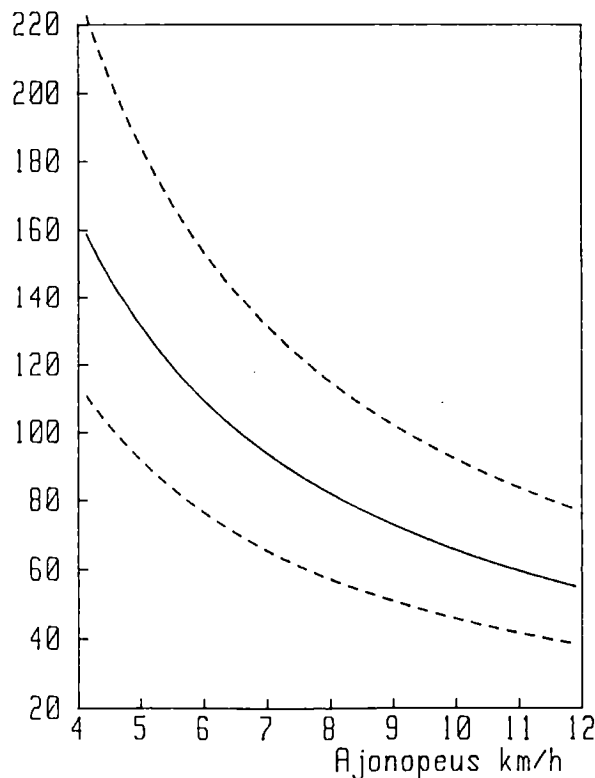
R = pyörän kuorma, kN

P = akseliteho, kW

v = ajonopeus, m/s

Tämä suhde saa vaihdella optimiarvon kahtapuolen rajoissa 0,7-1,4, kuva 26. Jos paino/teho-suhde on liian pieni, traktorin pyörät luistavat ennemmin kuin suurin teho saavutetaan. Jos suhde on liian suuri, traktorin moottorin teho loppuu kesken.

Paino-tehosuhde kg/kW

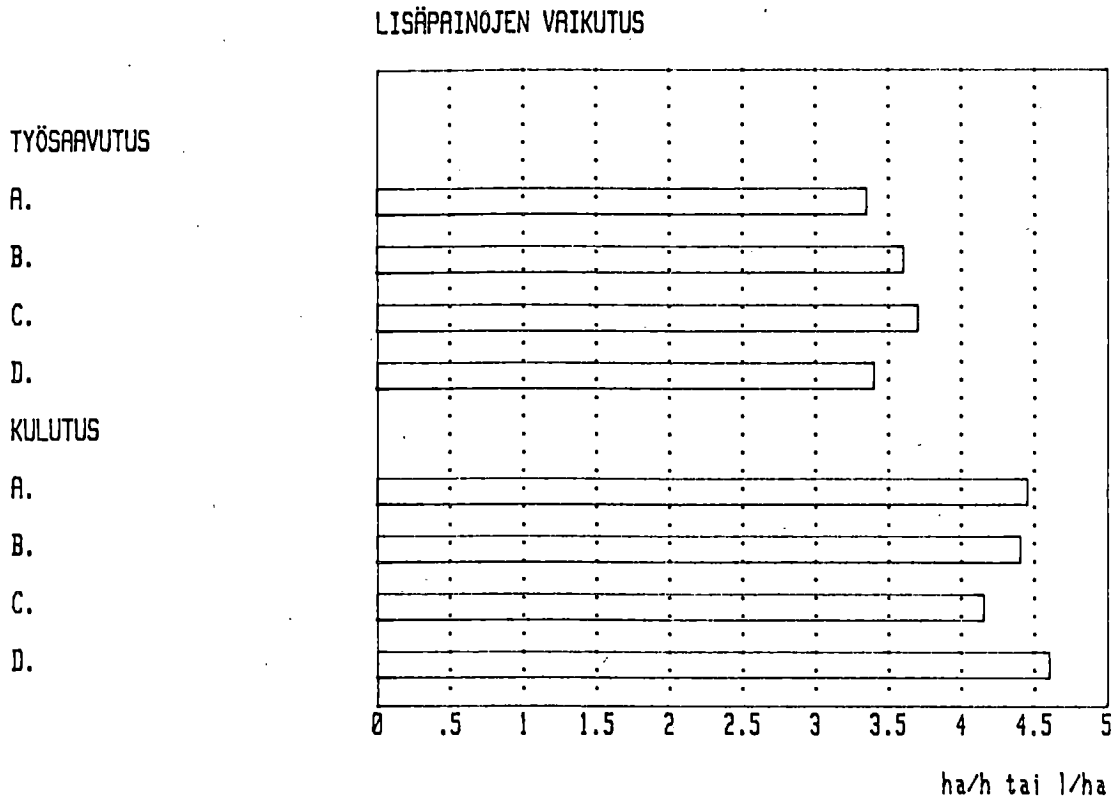


Kuva 26. Traktorin vetävillä pyörillä tarvittava paino hyvissä oloissa

Äestyksessä nelipyörävetoisilla traktoreilla vetävillä pyörillä olevaksi painoksi voidaan ottaa traktorin paino lisättynä mahdollisten paripyörien painolla. Takapyörävetoisilla traktoreilla vetävien pyörien painoksi voidaan ottaa taka-akselipaino samoin lisättynä mahdollisten paripyörien painolla. Kynnöllä traktorille tuleva lisäpaino on painonsiirron ansiosta korkeintaan auran painon suuruinen. Huonokuntoisilla ja väärin säädetyillä auroilla ei kuitenkaan saada painonsiirtoa auralta traktorille. Tehona voidaan käyttää voimannoakselitehoa, koska se on likimain pyörien akselitehon suuruinen.

Nelipyörävetoisilla traktoreilla paino/teho-suhde on 60-80 kg/kW ja takapyörävetoisilla traktoreilla 40-50 kg/kW. Jos äestyksessä paripyörät ja vastaavasti kynnöllä painonsiirto lisäävät painoa 3-5 kg/kW, raskaissa töissä nelipyörävetoisen traktorin paino/teho-suhde on likimain 65-85kg/kW ja takapyörävetoisen 45-55 kg/kW. Tällöin nelipyörävetoisen traktorin suositeltava ajonopeus on 8-10 km/h ja nopeusalueella 5-14 km/h pysytään vielä hyvin suositusrajoissa. Takapyörävetoisen traktorin suositeltava nopeus on 12-14 km/h ja suositusraja on 8-20 km/h. Tämä merkitsee sitä, että äestyksessä ja kynnöllä nelipyörävetoisen traktorin paino/teho-suhde on melko oikea. Takapyörävetoinen traktori taasen tarvitsee usein lisäpainoja, tehonkäyttöä rajoittaa renkaiden luisto.

Lisäpainojen merkitystä kokeiltiin sekä äestyksessä että kynnöllä. Traktori oli nelipyörävetoinen, jota käytettiin mittauksessa pelkästään takapyörävetoisena. Kuvassa 27 on yhden äestyskokeen tulos.



Kuva 27. Lisäpainojen vaikutus äestystulokseen, ajonopeus 9-10 km/h.

- A: ei lisäpainoja, 37 kg/kW paino/teho-suhde
- B: 400 kg takalisäpainoja, 44 kg/kW paino/teho-suhde
- C: 620 kg takalisäpainoja, 47 kg/kW paino/teho-suhde
- D: 300 kg etu- ja 400 kg takalisäpainoja 41 kg/kW paino/teho-suhde

Takalisäpainojen käyttö paransi työsaavutusta tapauksessa B 7,5% ja tapauksessa C 10,5%. Polttoaineenkulutus väheni tapauksessa B 1% ja tapauksessa C 6,7%. Tapauksen A suositeltu ajonopeus olisi n. 10 km/h ja B:n sekä C:n vastaavasti n. 8 km/h. Lisäpainoilla traktorimoottorin teho voitiin paremmin käyttää hyväksi ja samalla polttoaineenkulutus pieneni. Lisäpainojen ansiosta pyörien luisto pieneni ja se paransi traktorin ajonopeutta ja sitä kautta tehon käyttöä ja polttoainetaloutta.

Kuvan 27 tapaus D kuvaa lisäpainojen käyttöä myös muualla kuin vetävillä pyörillä. Lisäpainottomaan verrattuna työsaavutus on pysynyt lähes samana ja polttoaineenkulutus on hieman kasvanut. Lisäpainot edessä ovat lisänneet traktorin kulkuvastusta ja tätä kautta huonontaneet tulosta.

Paripyörät lisäävät traktorin taka-akselipainoa 300-500 kg. Tämä vastaisi likimain kuvan 27 tapausta B.

#### Lisäpainojen käyttö

- Lisäpainot ovat usein tarpeen takapyörävetoisissa traktoreissa.
- Takapyörävetoisessa traktorissa lisäpainoja kannattaa käyttää vain taka-akselilla, jollei traktorin ohjattavuus vaadi etupainojen käyttöä.
- Lisäpainojen käytöllä pyörien luiston pitää vähentyä ja pyörien uppouma ei saa lisääntyä.
- Äestyksessä paripyörät yleensä riittävät "lisäpainoiksi"
- Helpoin takalisäpaino on vesitäytteinen rengas

Kappaleen 1.4 Traktorin paino ja lisäpainot -kirjallisuusviitteet

/8/

/15/

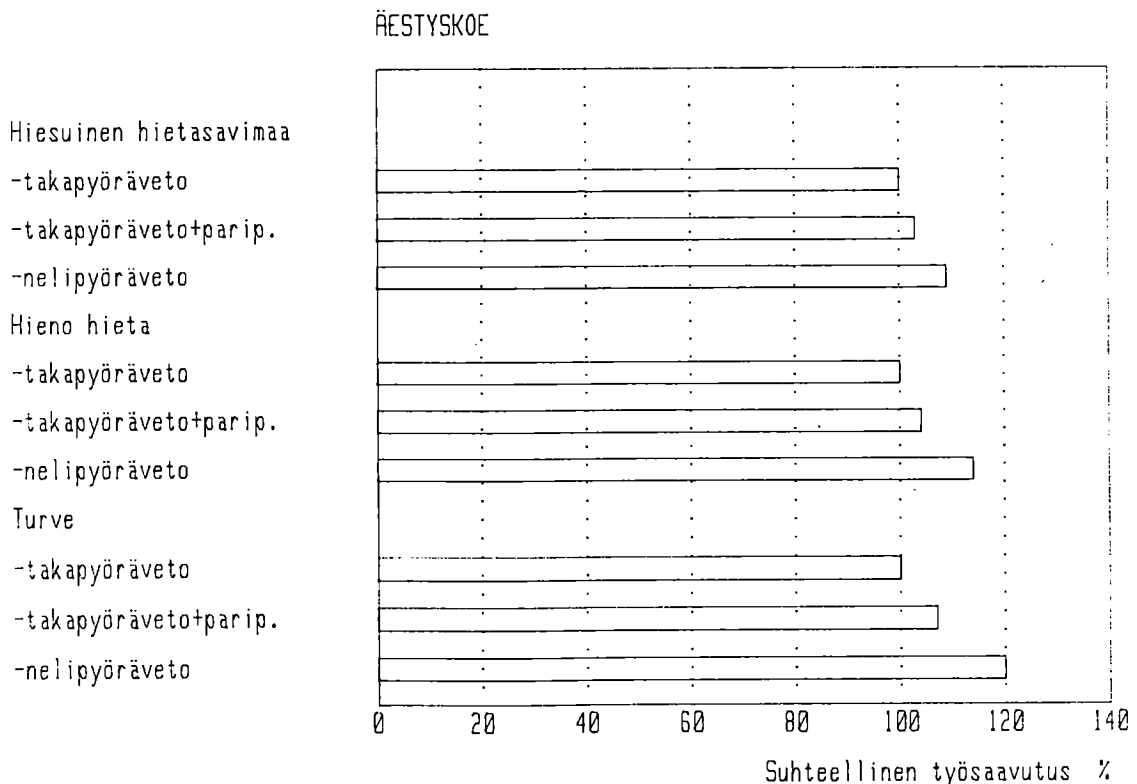
#### 1.5 Nelipyöräveto

Nelipyörävetoisen traktorin paino/teho-suhde on huomattavasti parempi kuin takapyörävetoisen traktorin. Koska traktoreissa harvoin käytetään ylimääräisiä takalisäpainoja, takapyörävetoisen traktorin ajonopeus pitäisi olla raskaissa töissä korkea, 12-14 km/h. Äestyksessä nopeudet ovat lähellä tätä ja kynnyillä ne ovat huomattavasti alhaisemmat. Tämän takia takapyörävetoisen traktorin moottoritehoa ei voida täysin käyttää hyväksi, vaan vetävät pyörät alkavat luistaa helposti ja moottoritehoa hukkaantuu luistohäviöihin.

Ulkomaisissa tutkimuksissa nelipyörävedolla on saatu 7-35% suurempi työsaavutus. Erot ovat pienimmillään silloin, kun takapyörävetoisessa traktorissa on lisäpainoja, ajonopeus on suuri ja olosuhteet ovat hyvät. Erot ovat suurimmillaan, kun olosuhteet ovat huonot, ajonopeus on hidas, takapyörävetoisessa ei ole lisäpainoja ja kun nelipyörävetoisessa traktorissa etu- ja takapyörät ovat yhtä suuret. Polttoaineenkulutuksessa erot ovat olleet suurimmillaan n. 20% nelipyörävedon hyväksi.

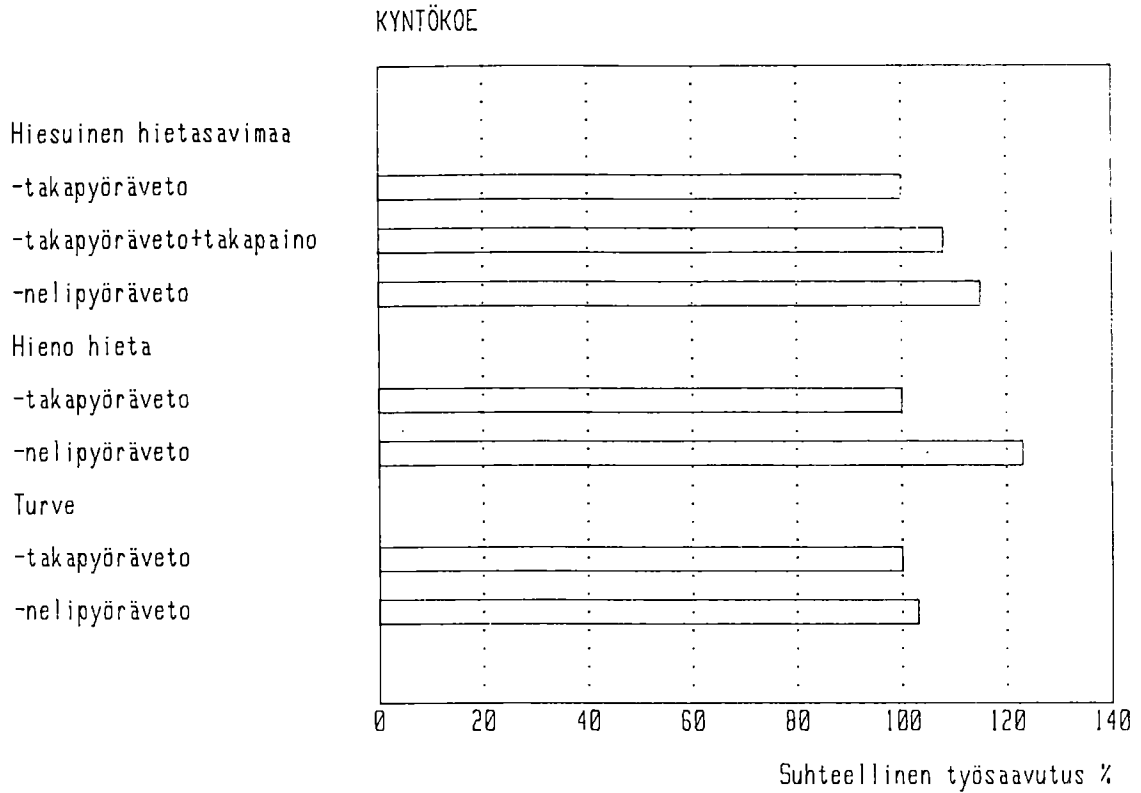
VAKOLAssa on myös tutkittu neli- ja takapyörävedon eroja /9/. Traktoreina olivat Valmet 803 ja Valmet 803-4. Takapyörävetoisen teho/paino -suhde oli 41-57 kg/kW ja nelipyörävetoisen 71-78 kg/kW.

Kokeissa ajonopeus äestyksessä oli 9-11 km/h ja kynnöllä 5-7 km/h. Tämän mukaan äestyksessä takapyörävetoisen traktorin vetävien pyörien paino oli paripyörien suosituksen alarajalla ja nelipyörävetoisen lähellä optimia. Kynnöllä takapyörävedon vetävien pyörien paino oli liian kevyt ja nelipyörävedon suosituksen alarajalla. Tulokset ovat kuvissa 28 ja 29.



Kuva 28. Työsaavutus äestyksessä Valmet 803 ja Valmet 803-4





Kuva 29. Työsaavutus kynnöllä, Valmet 803 ja Valmet 803-4

Muokkauskokeissa nelipyörävedon luisto oli äestyksessä keskimäärin 5%, takavedon 14% ja paripyörillä varustetun takavedon 12%. Kynnössä nelipyörävedon luisto oli 10-15% ja takavedon 20-30%:n välillä. Työsaavutuksen suhteen nelipyöräveto oli äestyksessä 5-14% takavettoa parempi ja kynnössä 10-25% parempi. Työsaavutuksissa ei ole käänöksissä tarvittavaa aikaa otettu huomioon. Polttoaineen kulutuksessa pinta-alayksikköä kohden laskettu kulutus oli nelipyörävedolla äestyksessä n. 17% pienempi ja kynnössä olosuhteista riippuen 7-15% pienempi kuin takavedon.

Sveitsiläisessä tutkimuksessa /10/ verrattiin nelipyörävetoa samantehoiseen takapyörävetoon sekä saman hintaiseen takapyörävetoon. Saman hintaisen takapyörävetoisen traktorin teho oli 42 kW ja saman tehoisten taka- ja nelipyörävetoisten teho oli 31 kW. Suuremman takapyörävetoisen traktorin etuna oli, että sekä kynnöllä että äestyksessä voitiin käyttää suurempaa ajovaihdetta. Nelipyörävetoon verrattuna samanhintainen traktori pystyi 10-30% suurempaan ajonopeuteen ja työtehoon.

Työkoneen oikea koko vaikuttaa huomattavasti työtehoon. Etenkin takapyörävetoisen traktorin työkoneen koko on valittava huolellisesti. Nelipyörävetoisessa traktorissa liian suuri työkone ei mainittavasti vaikuta pyörien luistoon, ainoastaan ajonopeus voi olla hidas, koska joudutaan käyttämään pientä vaihdetta. Takapyörävetoisessa traktorissa liian suuri työkone johtaa suureen pyörien luistoon ja huomattavaan työtehon vähennykseen. Niihin työkoneet pitäisi valita traktorin tehoon nähden mieluiten hieman alamittaiseksi. Hyvissä oloissa moottorin teho hyödynnetään suurella ajonopeudella ja lisäpainoilla. Huonoissa oloissa tällä taasen varmistetaan, ettei pyörien luisto tule kohtuuttoman isoksi.

Nelipyörävetoisen traktorin suurin vetovoima on takapyörävetoiseen verrattuna 1,5-3 -kertainen. Mitä huonommat olosuhteet ovat, sitä suurempi on vetovoimaero. Hyvän vetovoiman ansiosta nelipyöräveto soveltuu hyvin esim. nostokoneiden vetoon, metsätyöhön, kuormaaja ja takalana käyttöön.

Vetävät etuakselit ovat 1980-luvun alussa kehittyneet huomattavasti. Aiemmin nelipyörävetoisten kääntösäteet olivat suuret ja ne olivat käytössä kömpelöitä. Nykyisin kääntösäteet ovat useilla lähes takapyörävetoisten luokkaa.

#### Yhteenvedo nelipyörävedosta

- Äestyksessä nelipyörävedon työsaavutus on 5-15% takapyörävetoista suurempi. Traktoria valittaessa nelipyöräveto saa olla teholtaan hieman takapyörävetoista pienempi
- Kynnöllä nelipyörävedon työsaavutus on 10-25% suurempi eli se saa teholtaan olla myös hieman pienempi.
- Nelipyöräveto ei ole arka sopimattomalle työkonekoolle.

- Nelipyörävedon vetovoima on suuri, joten se soveltuu hyvin nostokoneiden vetoon, metsäajoon, kuormaukseen ja takalanan käyttöön.
- Maan vaurioituminen vähenee, koska luistovauriot ovat harvinaisempia ja traktorin kokonaispaino voi olla alhaisempi.
- Nelipyöräveto on 20 000- 30 000 mk kalliimpi kuin moottoriltaan vastaavan tehoinen takapyöräveto.

Kappaleen 1.5 Nelipyöräveto -kirjallisuusviitteet

/9/

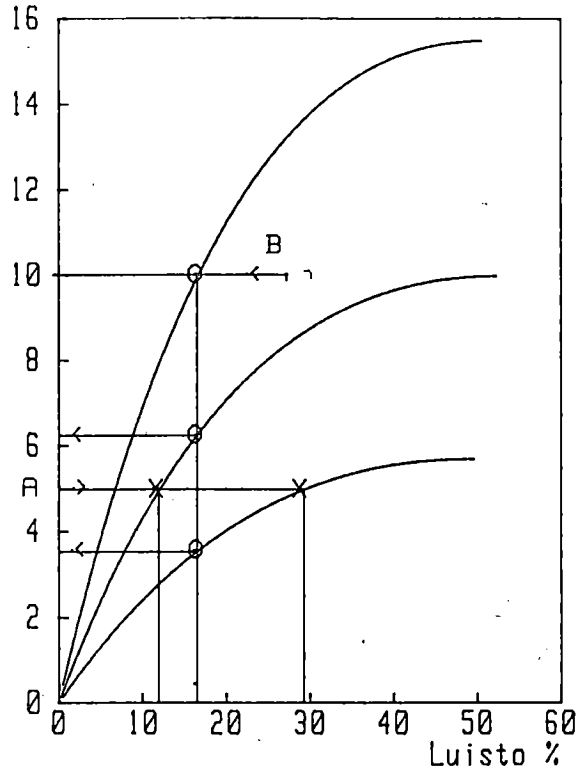
/10/

#### 1.6 Tasauspyörästäön lukot

Tasauspyörästäön vaikutuksesta vetävän akselin kummankin pyörän vetovoimat ovat yhtäsuuret. Tästä on haittaa, jos toinen pyörä on pitävällä alustalla ja toinen liukkaalla. Tällöin pitävällä alustalla oleva pyörä ei pysty käyttämään pinnan pitoa hyväkseen, vaan se seuraa liukkaalla alustalla olevan pyörän pitoa. Tämä näkyy pyörien luistoissa, liukkaalla alustalla olevan pyörän luisto on suurempi. Kun tasauspyörästäön lukitaan, pyörien luistot tulevat yhtäsuuriksi, mutta pyörien vetovoimat ovat erisuuret. Kuvassa 30 on esimerkki tasauspyörästäön lukon vaikutuksesta.

Jos kehävoiman kokonaistarve on esim. 10 kN, tasauspyörästäön ollessa vapaana sekä sänki- että vakopyörän kehävoima on sama eli puolet kokonaistarpeesta. Kuvan 30 tapaus A vastaa tätä. Tällöin sänki- ja vakopyörän luisto on 30% ja vaakapyörän 12%. Kun tasauspyörästäön lukitaan, kumpikin pyörä pyörii samalla nopeudella. Tätä vastaa kuvan 30 tapaus B. Kokonaiskehävoiman tarpeen ollessa 10 kN pyörien luistoksi tulee 16% ja sänki- ja vaakapyörä vetää 3,5 kN voimalla ja vaakapyörä 6,5 kN voimalla.

Voima kN



Kuva 30. Esim. Tasauspyörästäön lukon vaikutuksesta luis-  
toon määrällä pellolla  
1. Sänkipyörän kehävoima  
2. Vakopyörän kehävoima  
3. Kehävoiman summa

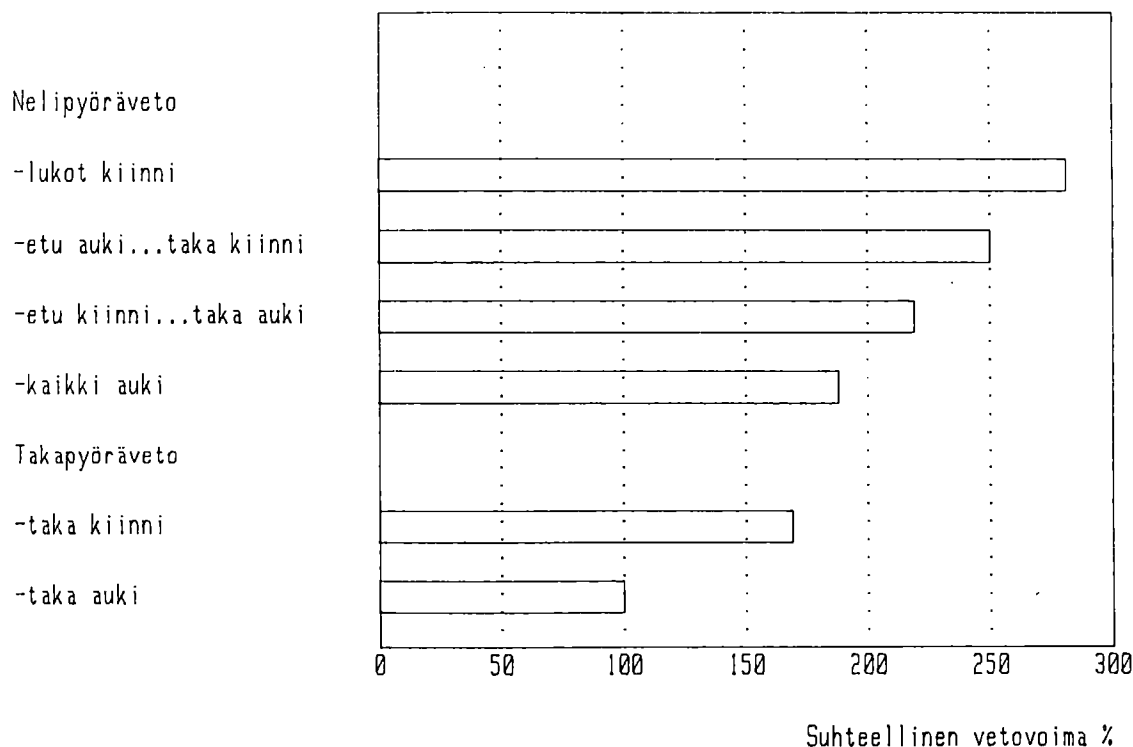
Tasauspyörästäön lukko vaikuttaa etenkin traktorin suurimpaan vetovoimaan. Jos kuvan 30 esimerkissä tasauspyörästäö on va- paana, sänkipyörän suurin kehävoima on 5,6 kN eli kokonaiskehä- voima on 11,2 kN. Lukittaessa tasauspyörästäö saadaan 50% luis- tolla summakäyrältä 3 yhteiskehävöimaksi 15,2 kN.

Tasauspyörästäön lukon vaikutusta työsaavutukseen ja polttoai- neen kulutukseen tutkittiin sekä äestyksessä että kynnöllä. Sillä ei huomattu olevan hyvissä oloissa vaikutusta työsaavu-

tukseen. Märällä pelloilla kynnettäessä tasauspyörästön lukko varmisti traktorin kulun siten, että ilman lukkoa traktorin kulku pysähtyi.

Nelipyörävetoisissa traktorissa etuvedon tasauspyörästön lukko on lähes kaikissa uusissa traktoreissa. Koska vetävät etupyörät ovat usein pienikokoiset ja etenkin kynöllä painonsiirto keven-tää etuakselia ja sängin puoleinen pyörä luistaa helposti. Tasauspyörästön lukko estää tämän luiston. Kuvassa 31 on esi-merkki traktorin suurimmasta vetovoimasta, kun toisen puolen pyörät ovat liukkaalla alustalla ja toisen puolen pitävällä.

TASAUSPYÖRÄSTÖJEN LUKKOJEN VAIKUTUS



Kuva 31. Esimerkki tasauspyörästöjen lukkojen vaikutuksesta suurimpaan vetovoimaan

Kun pelto on märkä ja liukas, lukkojen vaikutus on tuntuva. Pitävällä pinnalla lukkojen vaikutus on vähäinen.

### Tasauspyörästäön lukkojen vaikutus

- Merkitystä määrällä pellolla kulun varmistamiseksi
- Lukot vaikuttavat huomattavasti suurimpaan veto-voimaan
- Hyvissä oloissa lukoilla ei ole merkitystä
- Metsä- ja maastoajoissa lukot varmistavat liikkumista

Kappaleen 1.6 Tasauspyörästäön lukot -kirjallisuusviitteet.  
/15/

## 2. ÄESTYS

Äestys on kynnön ohella peltoviljelyn raskain työvaihe, jossa polttoainetta kuluu runsaasti. Kylvömuokkauksen tavoitteena on saada aikaan mahdollisimman hyvä kasvualusta viljeltävälle kasville. Muokkauksessa tinkiminen kostautuu sadon määrän ja laadun alentumisena. Tehokas muokkaus ja pieni polttoaineen kulutus näyttävät siten olevan toisilleen vastakkaisia tavoitteita, joihin tulisi kuitenkin samanaikaisesti pyrkiä.

Suomessa on harvoin kannattavaa hankkia äestä vain tietyn kasvin tai maalajin viljelyyn, joten saman äkeen tulee soveltaa yleisäkeeksi kylvömuokkaukseen ja esim. kesannon hoitoon ja lannan multaamiseen. S-piikkiäes on vuosien kokemuksen perusteella hyvä yleisäes, mutta edelleen käytetään paljon myös lapiorullaäkeitä. VAKOLAssa on vuosina 1983 ja 1984 tehty tutkimuksia, joissa on selvitetty eri tekijöiden vaikutusta S-piikki- ja lapiorullaäkeen muokkausominaisuuksiin ja vetovastukseen.

## 2.1 S-piikkiäes

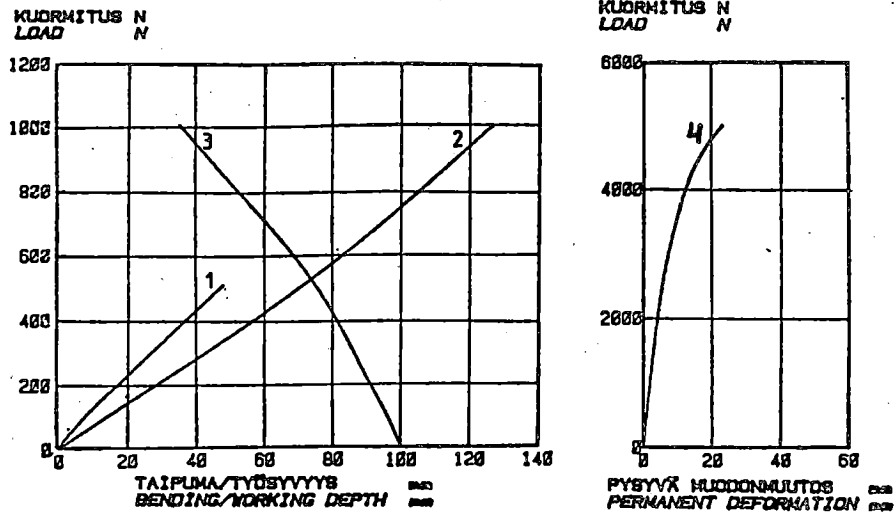
S-piikkiäkeen maata muokkaavina osina ovat yleensä SFS- standardin 2781 mukaiset S-piikit. Tavallisin piikkiväli on 10 cm. Piikkien kulmaa maahan nähden voidaan eräissä äkeissä säätää, mutta useimmiten piikit asennetaan kiinteästi. Äkeen työsyvyyden säätämiseen käytetään latoja, varpajyriä, pyöriä ja jalaksia. Ladalla ja varpajyrällä on myös maata muokkaava vaikutus. Äkeiden paino piikkiä kohden vaihtelee 10-30 kg.

Tutkimuksessa käytettiin Esa-Tume 3600 ja Potila 290 S-piikkiäkeitä. Lisäksi rakennettiin hinattava koeäes, joka voitiin varustaa ladalla, varpajyrillä ja jalaksilla. Piikkeinä käytettiin Fiskarsin 10 ja 12 mm:n S-piikkejä.

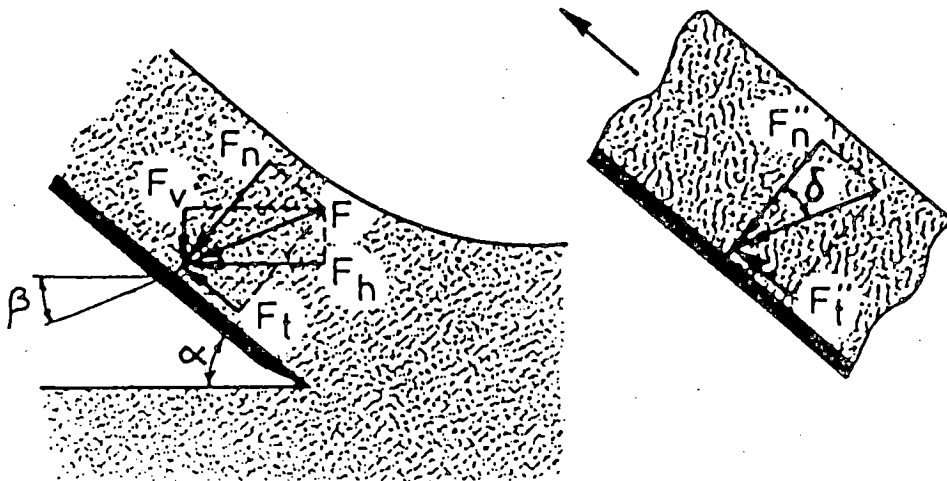
### 2.1.1 S-piikki ja siihen vaikuttavat voimat

Maassa kulkiessaan piikki saa aikaan murtovoimia, joiden vaikutuksesta pintamaa kuohkeutuu ja kokkareet rikkoutuvat. Piikin eteen muodostuvan murtokuvion laajuutta lisääviä tekijöitä ovat suuri työsyvyys, pieni leikkuukulma ja suuri ajonopeus. Maalaji ja kosteus vaikuttavat omalta osaltaan maan käyttäytymiseen piikin ympärillä.

S-piikkiin kohdistuvat voimat vaihtelevat koko ajan ja ne saavat piikin värisevään liikkeeseen. Edestakaisen liikkeen lisäksi piikki joustaa sivulle esim. kiveen osuessaan. Muokkaustuloksen kannalta on oleellista, että piikki säilyttää halutun työsyvyyden värinästään huolimatta. VAKOLAssa on äeskoetusten yhteydessä tutkittu piikkien työsyvyyden muutos kuormitettaessa piikkiä 0-1000 N voimalla. Kuvassa 32 on esitetty Fiskarsin valmistaman S-piikin malli FK 12 mm koetustulos. Äestettäessä keskijäykkää maata n. 8 cm syvyyteen piikkiin kohdistuva voima on 300-400 N, jolloin työsyvyyden muutos nollassoon verrattuna on 2-3 cm. Oleellisia tekijöitä ovat myös piikin kyky säilyttää muotonsa suurilla kuormituksilla ja väsytykestävyys.



**Kuva 32.** Fiskarsin valmistaman S-piikin FK 12 mm taipuma, työsyvyyden muutos ja pysyvä muodonmuutos /20/.  
 1. Taipuma sivusuunnassa ilman terää  
 2. Taipuma ajosuunnassa ilman terää  
 3. Työsyvyyden muutos terän kärjestä mitattuna  
 4. Pysyvä muodonmuutos



**Kuva 33.** Piikkiin vaikuttavat voimat /22/.

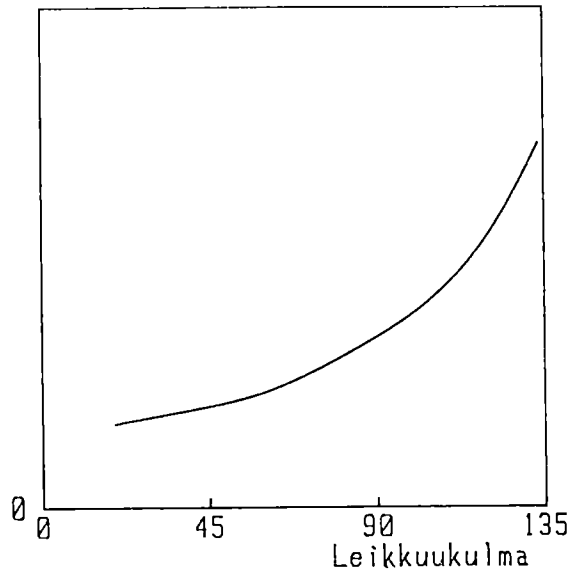
- $F$  = kokonaisvoima
- $F_t$  = kokonaisvoiman tangentiaalikomponentti
- $F_n$  = kokonaisvoiman normaalikomponentti
- $F_h$  = kokonaisvoiman vaakakomponentti
- $F_v$  = kokonaisvoiman pystykomponentti
- $\alpha$  = piikin leikkuukulma
- $\beta$  = kokonaisvoiman  $F$  ja vaakatason välinen kulma
- $F_t''$  = maan ja piikin välinen kitkavoima
- $F_n''$  = maan piikkiin kohdistama normaalivoima
- $\delta$  = maan ja metallin välinen kitkakulma



Kuvassa 33 on esitetty piikkiin vaikuttavat voimat. Piikkiin vaikuttava kokonaisvoima  $F$  voidaan jakaa kahteen komponenttiin  $F_t$  ja  $F_n$ .  $F_t$  on piikin suuntainen tangentiaalikomponentti ja  $F_n$  piikkiä vastaan kohtisuora normaalikomponentti.

Tarkasteltaessa vakiosyvyydellä työskentelevää piikkiä havaitaan leikkuukulman vaikutus vetovoiman tarpeeseen. Vetovastus on pienimmillään leikkuukulman ollessa  $20^\circ$  kuva 34.

Vetovastus



**Kuva 34.** Leikkuukulman vaikutus vakiosyvyydessä kulkevan piikin vetovastukseen /26/.

Piikin työsyvyys vaikuttaa vetovoiman tarpeeseen eri maa-lajeilla seuraavasti. Kitkallisilla mailla, esim. hieta, vetovoiman tarve kasvaa lineaarisesti työsyvyyden lisääntymässä. Kohesiivisillä mailla, esim. savi vetovoiman tarve kasvaa neliöön työsyvyyden kaksinkertaistuessa.

Piikin leventyessä vetovoiman tarve kasvaa lineaarisesti. Piikin muotoilu kiilamaiseksi ei vähennä vetovastusta tasapintaiseen piikkiin verrattuna. Piikin teräpinnan epätasaisuudet esim. ruoste lisäävät vetovastusta.

Pientä vetovoimaa tavoiteltaessa S-piikit tulisi asentaa 20° leikkuukulmaan, mutta tällöin piikit sekoittavat maata ja kosteita maakokkareita nousee pintaan. Suurennettaessa leikkuukulma 45 °:een vetovoiman tarve lisääntyy hieman ja maakerrosten sekoittuminen vähenee. Jos leikkuukulmaa edelleen suurennetaan, piikkien maahakuisuus vähenee. Piikit kantavat äkeen painon ja työsyvyyden säätöön käytettävien osien (pyörien, jalasten, latojen) kuormitus ja vetovastus pienenevät. Kovan maan äestämiseen tarvitaan raskas äes, joka kykenee muokkaamaan riittävän syvään.

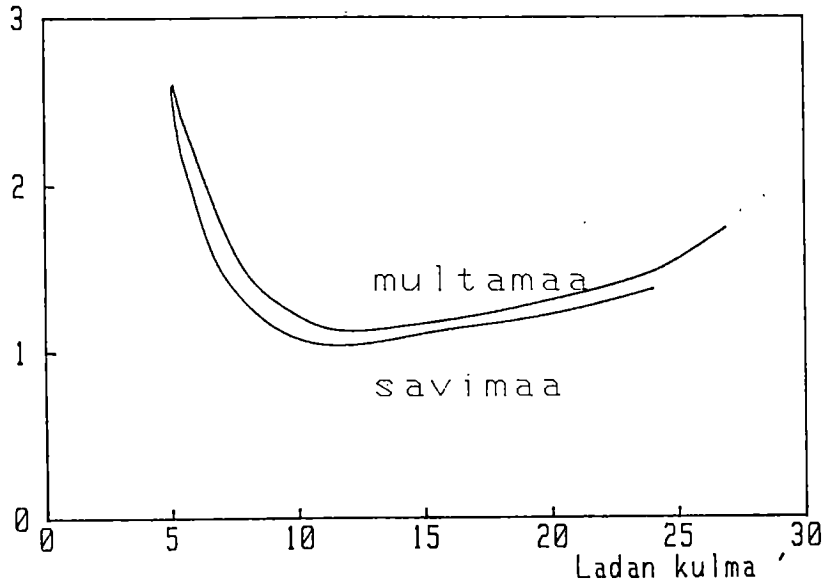
S-piikin värähtely auttaa piikkiä pysymään puhtaana ja myös kokkareiden rikkoutuminen on tehokkaampaa kuin jäykkää piikkiä käytettäessä. Värähtelevän piikin vetovastus on 20-30 % jäykän piikin vetovastusta pienempi, koska värähtely heikentää maan leikkauslujuutta ja pienentää kitkavoimia. Vetovastus on pienimmillään, kun värähtelyn taajuus saavuttaa maan luonnollisen murtumistaajuuden. Piikin värähdystaajuus kasvaa lisättäessä ajonopeutta ja pienennettäessä työsyvyyttä.

### 2.1.2 Etulata

Etuladan tehtävänä on tasata kynnöksen harjat ja toimia syvyydensäätöelimenä. Ladan korkeus ja kulma ovat säädettävissä. Ladan vetovastus muodostuu maan siirtämisestä aiheutuvista voimista ja kitkavoimasta. Ladan koko, paino ja asento vaikuttavat ladan edellään kuljettamaan maamäärään.

Ladan edullisin asento on 14 ° kulma maahan nähden. Vetovastus kasvaa sekä lataa loivennettaessa, että jyrkennettäessä. Ensimmäisessä tapauksessa lata sukeltaa maahan ja jälkimmäisessä kerää maavallin eteensä. Ladan vetovastuksen muuttumista esittää kuva 35.

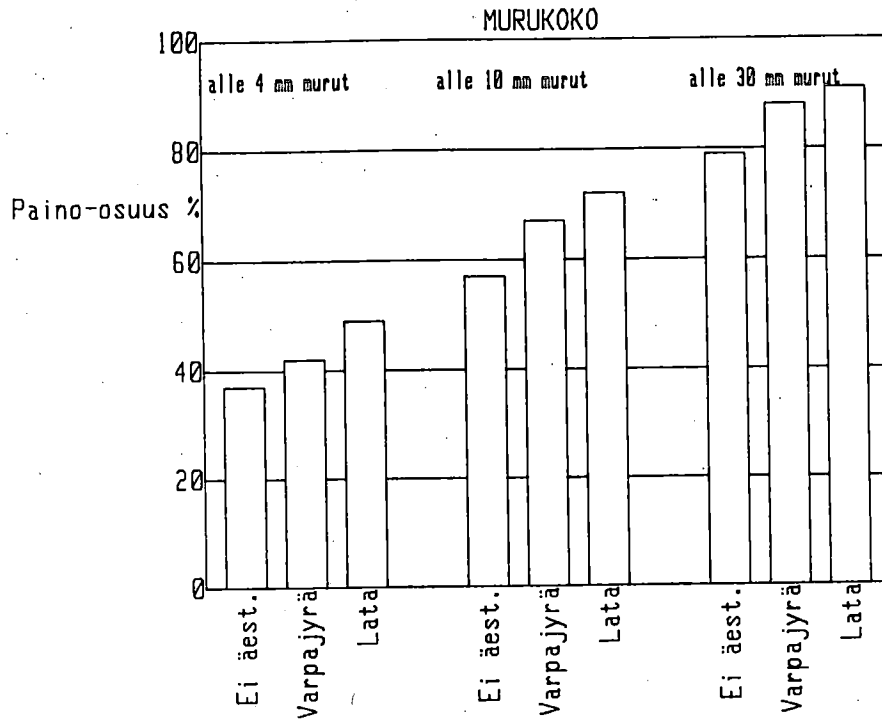
Vetovastua kN/m



**Kuva 35.** Etuladan säädön vaikutus vetovastukseen savi- ja multamaalla /23/.

Ladan murustamiskyky on parempi kuin varpajyrän. Latakäsittelyn jälkeen muokkauskerroksen pienten murujen osuus on merkittävästi suurempi ja suurten kokkareiden osuus pienempi kuin varpajyräkäsittelyn jälkeen. Ladan paino ja ajonopeus vaikuttavat murustamisominaisuuksiin siten, että kevyen ladan murustamisominaisuudet heikkenevät ajonopeutta lisättäessä ja raskaan paranevat.

Lata tasaa hyvin kynnöksen pinnan, mutta kivet ja kynnöksen epätasaisuudet heilauttavat äestä, jolloin muokkauskerroksen pohjasta tulee epätasainen. Ilmiö on sitä selvempi, mitä loivempaan kulmaan lata asennetaan.



**Kuva 36.** Varpajyrän ja ladan murustava vaikutus kerran äestetyllä kesantokynnöksellä /23/.

### 2.1.3 Varpajyrä

Varpajyrää käytetään kokkareiden rikkomiseen, pinnan tasamiseen, pintakerroksen tiivistämiseen sekä näiden tehtävien ohella myös äkeen syvydensäätöelimenä. Jyrän läpimitta vaihtelee 25-35 cm:iin ja jyrään kohdistuva paino 100-300 kg:aan metrin leveyttä kohti. Suurin työsyvyys voi olla n. 5 cm ja suositeltava nopeus 8-12 km/h. Pyörimisen tasaamiseksi varvat ovat yleensä kierteisesti jyrän kehällä.

Varpajyrän vetovastus muodostuu vierimisvastuksesta sekä maan siirtämisestä ja nostamisesta. Varpajyrän siirtämä maamäärä on lataan verrattuna vähäinen. Jos varpajyrän halkaisija on pieni ja jyrälle kohdistuu suuri paino, vetovastus kasvaa jyrän painuessa syvemmälle maahan. Varpajyrän vetovastus on 1/2-2/3 ladan vetovastuksesta sekä kynnöksellä että mulloksella. Jos varpajyrän eteen lisätään kyntöviilujen harjat tasaava levy, vetovastus lisääntyy 15%, mutta kokonaisvetovastus on kuitenkin pienempi kuin ladan.

Varpajyrä kykenee rikkomaan kevyen maan kokkareita ja syvemmältä nousseita kosteita kokkareita. Jäykemmillä mailla maan riittävä hienontuminen edellyttää useita ajokertoja. Lata on parempi savikokkareiden rikkoja kuin varpajyrä, mutta kovimpiin kokkareisiin ei sekään pysty.

Ajonopeuden lisääminen tehostaa varpojen iskevää vaikutusta ja painon lisääminen rusentavaa vaikutusta. Kokeissa ajonopeuden lisääminen paransi varpajyrän murustusominaisuuksia kevätmuokkausoloissa, jolloin kokkareet eivät olleet erityisen kovia. Kesannolla tehdyissä kokeissa ajonopeus ei vaikuttanut murustusominaisuuksiin sen paremmin kuin painon lisääminenkään. Sekä suurempi ajonopeus että lämpöpainot kasvattavat vetovastusta, koska jyrän luisto lisääntyy jyrän painuessa syvemmälle maahan.

Varpajyrän varvat heittävät muruja ja kokkareita ilmaan. Ilmassa kokkareet murustuvat törmäillessään varpoihin ja lajittuvat pudotessaan takaisin maahan. Tällöin suuret kokkareet menevät alimmaisiksi ja pienet murut jäävät pintaan, mikä on vastoin kylvömuokkauksen päämäärää.

Varpajyrien varassa kulkeva äes heilahtaa ylittäessään kiven, mutta heilahdus on pienempi kuin lataakeen.

#### 2.1.4 Äkeen tukeminen

Latojen ja varpajyrieni lisäksi äkeen työsyvyyden säätämiseen voidaan käyttää pyöriä tai jalaksia.

Pyörän vierimisvastukseen vaikuttavat mm. pyörän maahan kohdistama pintapaine, maan laatu ja pyörän koko. Yleissääntönä voidaan todeta, että pyörän halkaisijan kasvaessa vierimisvastus pienenee. Leveyden kasvattaminen ei muuta vierimisvastusta yhtä selvästi. Muokatulla peltomaalla vierimisvastuskerroin on 0,10...0,20.

Pyörän käyttö äkeen syvyydensäätöelimenä on suositeltavaa mailla, joilla on runsaasti kiviä tai jos ei tarvita lataa tai varpajyriä kokkareiden rikkomiseen. Äkeen vakaan kulun varmistamiseksi kannatuspyörien tulee olla kapeita ja halkaisijaltaan mahdollisimman suuria. Telipyörästäön käyttö yksittäisen pyörän sijasta vakauttaa edelleen äkeen kulua. Syvyydensäätöpyörien vetovastus on 25-33 % varpajyrieni vetovastuksesta.

Jalaksen vetovastukseen ja uppoumaan vaikuttavat pystysuora kuormitus, maan ja metallin välinen kitka, maan tiivistyneisyys ja muotoutuvuus sekä jalaksen muoto ja koko. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat kiinteän jalaksen kulma vaakatasoon nähden ja niveltyvän jalaksen nivelen kohta. Pyörään verrattuna jalaksen vetovastus on pienempi märässä ja pehmeässä mutta suurempi normaalilla viljelysmaalla ja kovalla alustalla.

Vertailussa mukana olleista syvyydensäätölaitteista jalasten vetovastus oli kaikkein suurin. Suuri vetovastus johtui siitä, että jalakset upposivat muokkauspohjaan asti, jolloin jalasten kärjet puskiivat ja pakkasivat edessään olevaa maata. Leveämpien nivellettyjen jalasten käyttö kiinteiden sijasta olisi ollut painonjakauman ja myös vetovastuksen kannalta parempi ratkaisu.

Jalasäkeen kulku oli vakainta verrattuna varpajyrillä tai ladalla ja varpajyrällä varustetun äkeen kulkuominaisuuksiin. Jalakset osuvat pellon epätasaisuuksiin harvemmin kuin koko työlevyden kattavat lata ja varpajyrä.

Käikkien tutkimuksessa mukana olleiden äkeen varusteiden vetovastus on koottu kuvaan 37. Ajonopeuden lisääminen ei näytä juurikaan vaikuttavan vetovastukseen. Multamaalla varusteiden vetovastus on yleensä suurempi kuin savimaalla, koska esim. varpajyrä upotessaan alkaa työntää maavallia edessään.

**Kuva 37.** Äkeen varusteiden vetovastus (kN) savi- ja multamaalla.

Nopeus m/s	Varpajyrä (1m)		Lata (1m)		Jalas 2 kpl		Pyörä 4 kpl	
	savi	multam.	savi	multam.	savi	multam.	savi	multam.
1,9	0,55	0,55	1,15	1,25	1,95	2,15	0,25	0,35
2,8	0,55	0,60	1,20	1,30	2,15	2,10	0,30	0,35
3,6	0,55	0,65	1,20	1,30	2,15	2,10	0,30	0,40

### 2.1.5 Ajonopeus

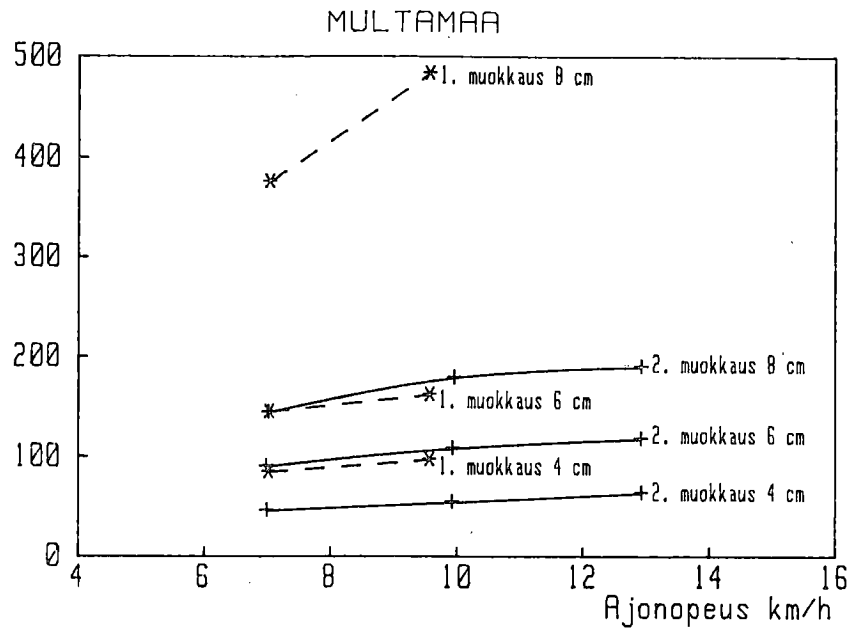
Ajonopeuden vaikutus äkeen piikin vetovastukseen ei ole niin selväpiirteinen kuin se on esimerkiksi kyntöauran vetovastukseen. Erityisesti maan kosteuden muuttuminen vaikeuttaa vetovastuksen tutkimista. Savimaan muokkausvastus on pienimmillään normaaleissa kevätmuokkausoloissa, jolloin kosteus on kutistumisrajan ja kieritysrajan välissä.

Maan ja metallin välinen kitkakulma sekä kitkapintaa vastaan kohtisuora voima kasvavat nopeuden suurentuessa lisäten kitkavoiman suuruutta. Nopeuden noustessa yli 1 m/s kitkakulma kasvaa enää hitaasti, joten normaalisti käytetyillä äestysnopeuksilla 2,0-3,5 m/s tämän tekijän merkitys on vähäinen.

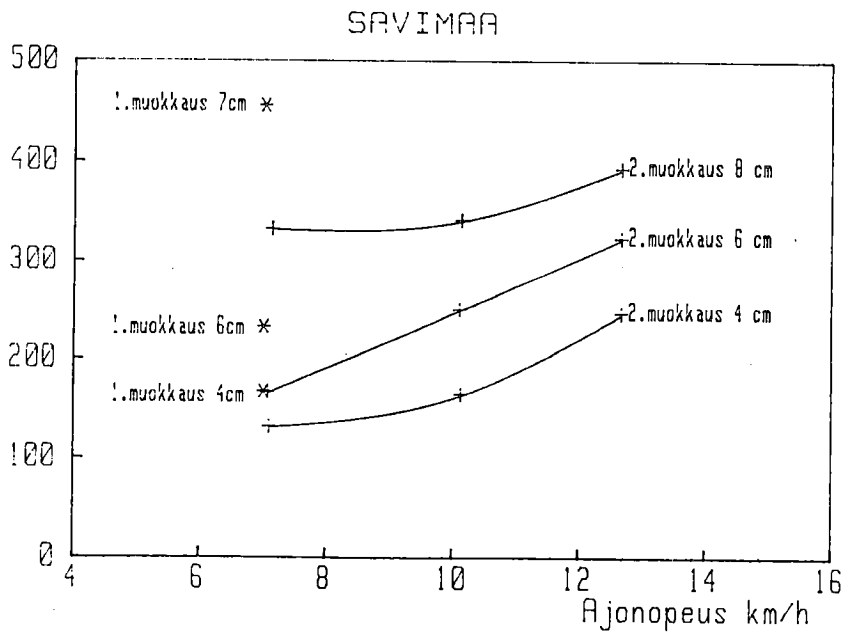
Kuvassa 38 on esitetty S-piikin vetovastuksen muutos ajonopeuden lisääntyessä multa- ja savimaalla. Tiiviillä maalla vetovastus kasvaa nopeammin kuin löyhällä maalla. Toisella ajokerralla vetovastus on n. 17% pienempi kuin ensimmäisellä ajokerralla maalajista ja ajonopeudesta riippumatta, jos työsyvyys pidetään samana. Kuvan 38 voimat on mitattu ensimmäisen piikkiakselin piikeistä, joiden vetovastus on suurempi kuin äkeen piikkien keskimäärin.



Piikin vetovastus N



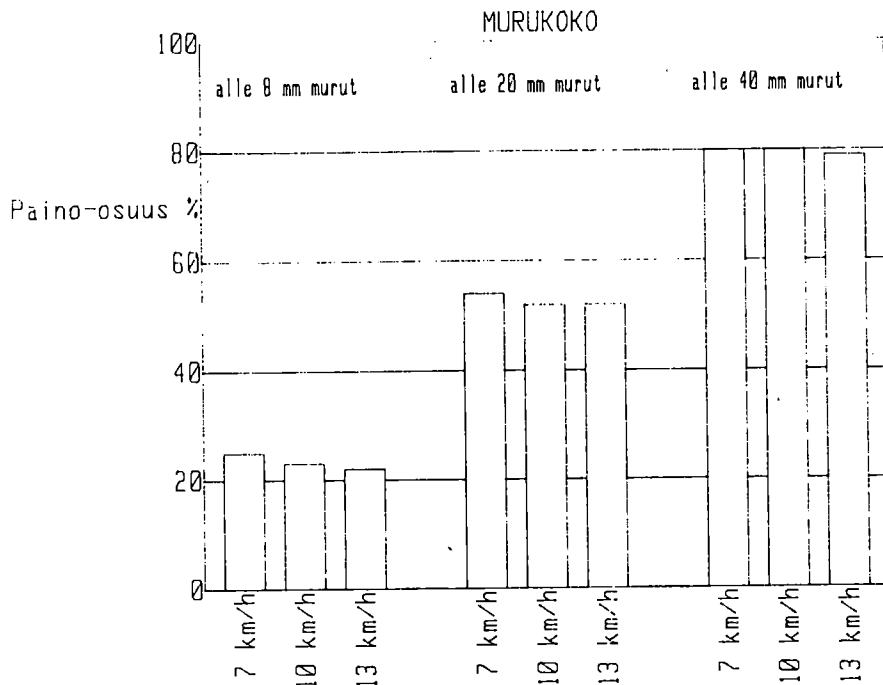
Piikin vetovastus N



Kuva 38.

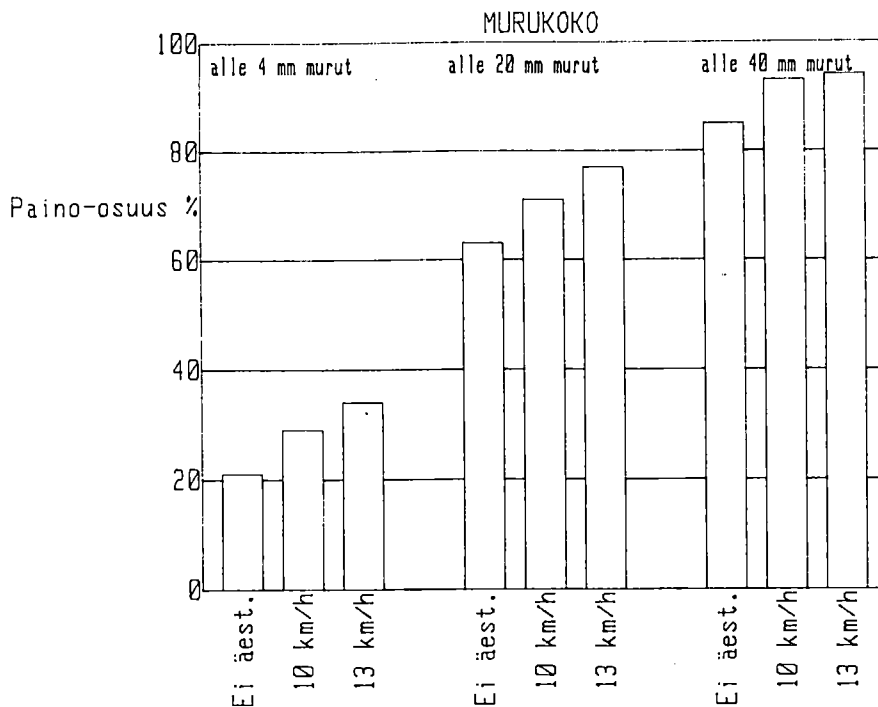
S-piikin vetovastus ajonopeuden muuttuessa multamaalla ylempi kuva ja savimaalla alempi kuva /23/.

Ajonopeuden vaikutus piikkien murustamisominaisuuksiin on sitä vähäisempi mitä kuivempaa maa on. Vuoden 1984 kokeissa havaittiin ajonopeuden lisäämisen 1,9 m:stä/s 2,8 m:iin/s tehostavan murustumista, mutta tätä suuremmilla nopeuksilla murustuminen ei enää tehostunut. Vuonna 1983 kesantopelloilla tehdyissä kokeissa ajonopeus ei vaikuttanut S-piikin murustusominaisuuksiin kuva 39.



**Kuva 39.** Piikkien kesantokynnöstä murustava vaikutus eri ajonopeuksilla /23/.

Ladan murustusominaisuuksiin ajonopeudella ei ole mainittavaa vaikutusta. Varpajyrien murustamiskyky paranee hiukan lisättäessä nopeutta kertaalleen äestetyllä kevätmulloksella (kuva 40). On muistettava, että suuri ajonopeus lisää lata-äkeen poukkoilua ja varpajyrien haitallista maata lajittelevaa vaikutusta.



**Kuva 40.** Varpajyrien murustava vaikutus eri ajonopeuksilla kerran äestetyllä kynöksellä.

Ajonopeuden vaikutuksesta muokkauspohjan tasaisuuteen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Teoreettisesti ajonopeuden suurentaminen lisää muokkauspohjan epätasaisuutta, koska piikkeihin vaikuttavat voimat kasvavat. Esim. eräässä C-piikkiäkeellä tehdyssä kokeessa muokkauspohja tuli epätasaisemmaksi kohotettaessa ajonopeus 1,14 m/s 2,8 m:iin/s. Kun äkeeseen asennettiin jälkiäes, havaittiin päinvastainen tulos. Varpajyrällä varustetulla äkeellä tehdyt kokeet tukevat jälkimmäistä havaintoa. On kuitenkin huomattava, että savimaalla ajonopeuden lisääminen 0,8 m/s pienensi työsyvyyttä 0,5 cm, mikä saattoi myös vaikuttaa muokkauspohjan tasaantumiseen.

Äestysnopeuden alentaminen nykyisin suositellusta 3,3 m:stä/s 2,2-2,5 m:iin/s on perusteltua etenkin keveillä mailla. Ruotsissa suositellaan S-piikkiäkeelle vieläkin alhaisempaa 1,7-2,4 m/s äestysnopeutta.

#### 2.1.6 Työsyvyys

S-piikin työsyvyys voi olla kevyellä maalla jopa 15 cm. Viljakasvien kylvömuokkauksessa äestyssyvyyden tulisi olla sama kuin kylvösyvyys eli 3-6 cm. Etenkin poutivilla savi- mailla on erityisen tärkeää säästää itämiskosteutta, joten maata ei pidä muokata tarpeettoman syvään. Mikäli pellon pintaan nousee kosteita savikokkareita, äes kulkee liian syvässä tai muokkausajankohta on liian aikainen. Kylvökau- den kestäessä muokkaussyvyyttä on yleensä lisättävä, jotta siemen varmasti saadaan kosteaan maahan. Hieta- ja turve- mailla, joilla kosteutta on riittävästi, syvä äestys jou- duttaa maan kuivumista ja lämpenemistä. Syvään muokatulla maalla on kuitenkin vaikeaa säilyttää kylvösyvyys vakaana ja lopputuloksena on eri-ikäisistä oraista koostuva kasvus- to.

Vetotehon tarve kasvaa n. 20% lisättäessä työsyvyyttä 1 cm. Jos äkeen työsyvyyttä ei säädetä ensimmäisen ja toisen äes- tuskerran välillä, äes kulkee toisella kerralla 1-2 cm syvemmällä. S-piikin vetovastus kasvaa nopeammin työsyvyy- den ollessa yli kuin alle 6 cm. Jäykän piikin vetovastus kasvaa työsyvyyttä lisättäessä suoraviivaisesti. Keveillä mailla piikkeihin vaikuttavat pienemmät voimat kuin savi- mailla ja siten muokkaus pohja saadaan yleensä tasaisemmak- si. Työsyvyyden lisääminen on tasaisuutta huonontava teki- jä. Hyvään lopputulokseen pääsemiseksi on suositeltava äes- tää ristiin ja tarvittaessa tulee äestyskertoja lisätä.

### 2.1.7 Piikkimäärä ja piikkiväli

Piikin työsyvyyden suhde piikin leveyteen vaikuttaa sekä murustamistapaan että piikin muokkausleveyteen. Jos työsyvyys on pieni, piikki auraa ja murustuminen on vähäistä. Tarkasteltaessa syvään muokkaavaa piikkiä havaitaan murustumistavan muutos ns. kriittisessä syvyydessä. Kriittisen syvyyden yläpuolella murustuminen aiheutuu leikkausjännityksistä ja alapuolella sivuttaisvirtauksesta. Jälkimmäinen virtaustapa saattaa aiheuttaa maan tiivistymistä. Kriittinen syvyys on pienempi, jos maa on löysää. Toisaalta se on suurempi, kun maan sisäinen kitka suurenee, piikkileveys suurenee tai leikkauskulma pienenee.

Piikin kokonaisvaikutusalue kasvaa työsyvyyden ja työleveyden suhteen noustessa 1,5:een ja vaikutusalueen leveys kasvaa suhteen noustessa 2-3:een. Sen jälkeen suhdeluvun suurentaminen ei vaikuta piikin tehokkuuteen (kuva 41). Vetovastus murustettua pinta-alayksikköä kohti on sitä pienempi mitä leveämmillä piikeillä ja mitä vähäisemmällä piikkimäärällä äestys voidaan tehdä.

**Kuva 41.** S-piikin edullisimmat työsyvyydet murustamis- ja vetovastusominaisuuksien perusteella

S-piikki	Suositteltava työsyvyys cm	Kriittinen syvyys cm
12 mm/40 mm	6,0-8,0	n. 10
10 mm/34 mm	5,0-7,0	n. 8
8 mm/25 mm	2,5-5,0	n. 6

Piikkien lukumäärä työleveyden yksikköä kohden vaikuttaa etenkin muokkauspohjan tasaisuuteen mutta myös kokkareiden murustumiseen. Piikkien väliin jää sitä korkeampi muokkaamaton kannas mitä suurempi piikkiväli on. Jos piikkiväli on pienempi kuin 2,5 x työsyvyys, piikit muokkaavat

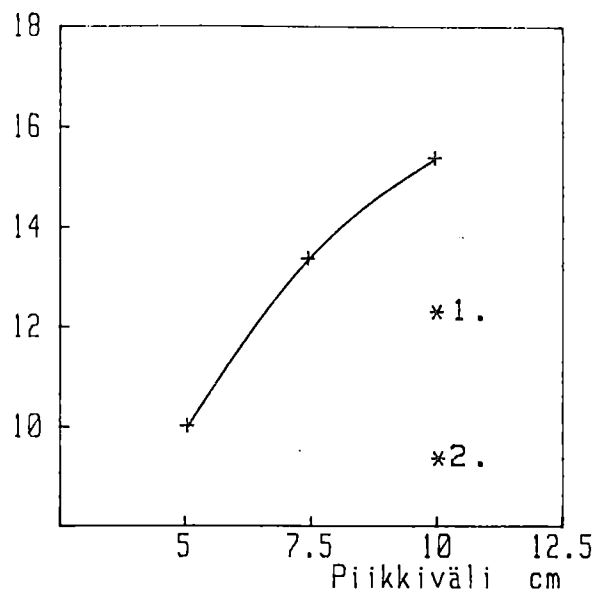
osittain samaa maata. Piikkivälin ollessa suurempi muokkauskaistojen rajat eivät enää muokkaannu kahteen kertaan. Piikkivälin kaventaminen pienentää yksittäisen piikin vetovastusta, mutta koko äkeen vetovastus sen sijaan suurenee. Siirryttäessä 10 cm:n piikkivälistä 7,5 cm:iin vetovastus kasvaa n. 25 % ja siirryttäessä 10 cm:n piikkivälistä 5,0 cm:iin vetovastus kasvaa n. 70%. Piikkiväliä pienennettäessä (<7 cm) kannattaa piikit vaihtaa normaalia S-piikkiä kapeampiin, jolloin vetovastus kasvaa vähemmän.

Piikkitiheyden vaikutus muokkauskerroksen pohjan tasaisuuteen tuli esiin verrattaessa kahta äestä, joista toisen piikit olivat 10 cm:n välein ja toisen 5 cm:n välein. Ajamalla kerran tiheämmällä äkeellä saatiin lähes yhtä tasainen muokkauskerroksen pohja kuin ajamalla kahteen kertaan ristiin harvemmalla äkeellä. Samassa yhteydessä todettiin, että harvemmalla äkeellä ristiin äestetyn lohkon muokauspohja oli merkittävästi tasaisempi kuin kaksi kertaa samaan suuntaan ajatun.

Piikkivälin tihentäminen 10,0 cm:stä 7,5 cm:iin tehosti murustumista siten, että alle 10 mm:n murujen osuus lisääntyi 6 %-yksikköä. Tihennettäessä piikkiväliä 7,5 cm:stä 5 cm:iin murustamiskyky ei enää parantunut.

Piikkitiheydestä saatujen tulosten perusteella piikkivälin kaventaminen 10 cm:stä 7,5 cm:iin parantaa joissain oloissa muokkaustulosta niin paljon, että kahden äestyskerran sijasta tarvitaan vain yksi. Äkeen suuremmasta vetovastuksesta huolimatta polttoainetta säästyy ja pelto talleantuu vähemmän. 5 cm:n piikkiväli tulee kysymykseen äkeessä, jolla muokataan matala ja hienojakoinen murukerros. Normaali-levyisten s-piikkien sijasta kannattaa käyttää kapeampia piikkejä. Piikkivälin tihentäminen aiheuttaa helpommin äkeen tukkeutumisen. Tällöin maan on oltava puhdas, jottei kasautumia tulisi.

Pohjan epätasaisuus mm



**Kuva 42.** Piikkivälin vaikutus muokkauspohjan tasaisuuteen /27/.

1. Piikit 10 cm:n välein ja äestetty 2 kertaa samaan suuntaan.
2. Piikit 10 cm:n välein ja äestetty 2 kertaa ristiin

#### 2.1.8 Äkeen paino

Äkeen tulee olla sitä raskaampi mitä jäykempää maata äestetään. Jos äestetään keväällä kynnettyä huonorakenteista savimaata kevyellä s-piikkiäkeellä (paino 10 kg/piikki), äes vain poukkoilee saamatta kunnon kylvääalustaa aikaan. Painoa tulee olla vähintään 25 kg/piikki, jotta äes kulkiisi vakaasti. Suuri massa vähentää piikeistä, ladasta ja varpajyristä aiheutuvaa heiluntaa.

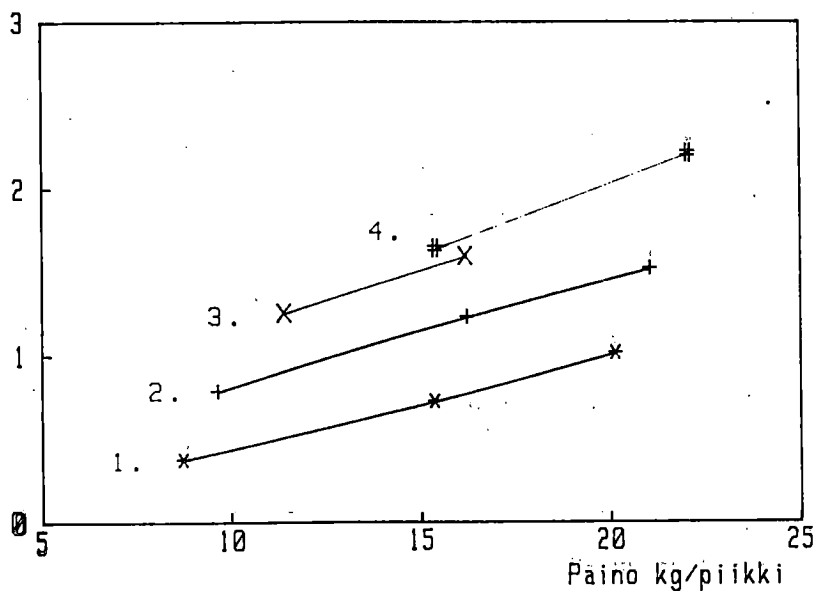
Kevyellä hieta- ja turvemaalla suuresta painosta on taas suoranaista haittaa, koska syvyydensäätöelimet uppoavat maahan ja lisäävät jyrkästi vetovastusta. Näissä oloissa sopiva äkeen paino on 10 kg/piikki. Jos äkeessä on varpajyrä, sen halkaisija tulisi olla suuri (>30 cm). Tosin varpajyrä on tarpeeton samoin kuin lata, koska kokkareita ei yleensä ole rikottavana. Pyörin toteutettu syvyydensäätö aiheuttaisi pienimmän vetovastuksen. Painon lisäämisen vaikutus äkeen syvyydensäätöelinten vetovastukseen käy selville kuvasta 43.

Tulokset painon vaikutuksesta äkeen eri osien murustamiso-minaisuuksiin ovat olleet vaihtelevia. Kuivalla kesannolla tehdyissä kokeissa kokkareet ovat olleet paljon kovempia kuin yleensä kevätmuokkauksen aikana, joten johtopäätöksen tekoon ei ole perusteita.



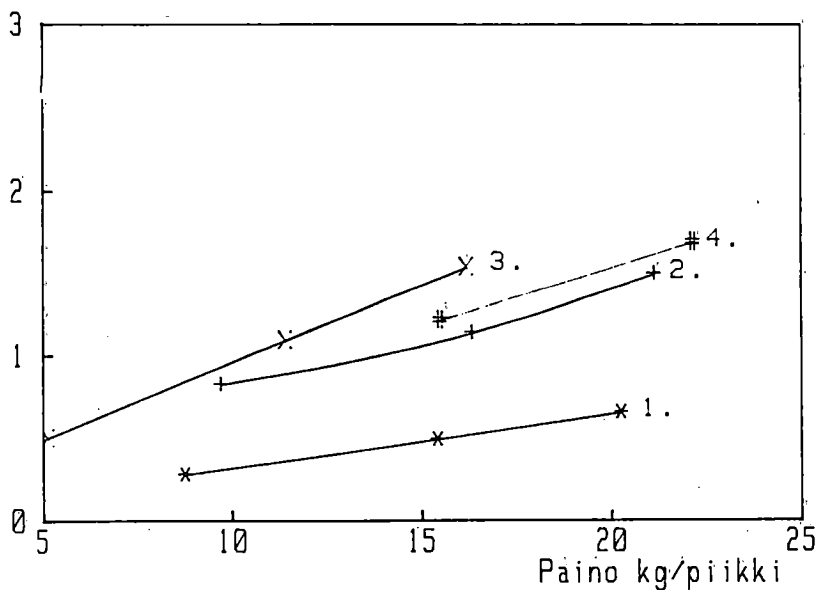
Vetovastus kN/m

SAVIMAA



Vetovastus kN/m

MULTAMAA



**Kuva 43.** Painon vaikutus eri työsyvyyden säätölaitteilla varustetun äkeen vetovastukseen /23/

1. Etu- ja takavarpajyrä, ei piikkejä
2. Etuläta ja takavarpajyrä, ei piikkejä
3. Jalakset, ei piikkejä
4. Etu- ja takavarpajyrä sekä piikit. Työsyvyys multamaalla n. 6 cm, savimaalla n. 4 cm.

## 2.2 Lapiorullaäes

Lapiorullaäes on muualla maailmassa melko tuntematon muokausväline ja Suomessakin sen käyttö on vähentynyt S-piikkiäkeiden yleistyttyä. Lapiorullaäes soveltuu sänkimuokkaukseen sekä kylvömuokkaukseen turvemaidilla ja nurmiviiloksella.

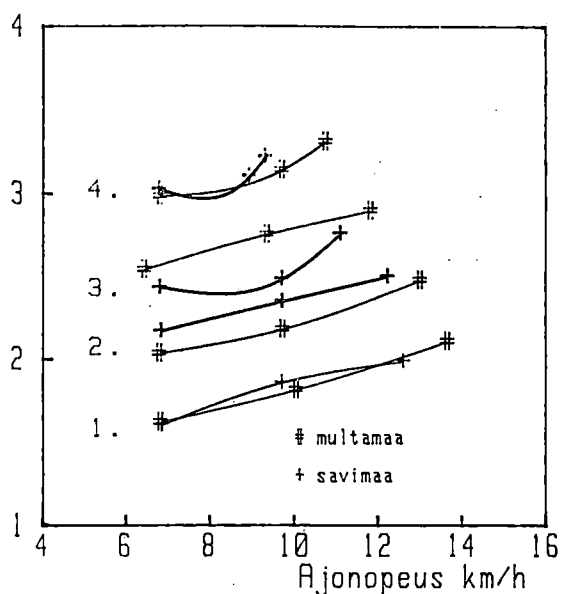
Äkeessä on kaksi tai useampia perättäisiä akseleita, joiden kulmaa kulkusuuntaan nähden voi säätää. Akseleilla on n. 20 cm:n välein teräristikoita, joissa kussakin on 4 veitsimäistä terää (pituus 16-18 cm). Pyöriessään terät iskevät, leikkaavat, siirtävät ja nostavat maata. Työsyvyys säädetään lisäpainojen avulla - varsinaisia syvydensäätölaitteita ei ole.

Koeäkeenä käytettiin Wärtsilän valmistamaa 6-akselista Hankmo-lapiorullaäestä varustettuna lisäpainolaatikoilla ja varpajyrällä. Äkeen työleveys oli 250 cm ja paino 420 kg ilman lisävarusteita.

### 2.2.1 Paino

Kuvasta 44 ilmenee painon vaikutus lapiorullaäkeen vetovastukseen kolmella eri ajonopeudella. Savimaalla 240 kg:n lisäpaino nosti vetovastusta 35% ja multamaalla 45%. Vetovastuksen nopeampi kasvu multamaalla johtuu suuremmasta työsyvyuden lisäyksestä. Savimaalla työsyvyys lisääntyi 0,5 cm ja multamaalla 1,0 cm.

Vetovastus kN/m



**Kuva 44.** Ajonopeuden, akselikulman ja painon vaikutus lapiorullaäkeen vetovastukseen.

1. Akselikulma  $10^{\circ}$ , ei lisäpainoja
2. Akselikulma  $20^{\circ}$ , ei lisäpainoja
3. Akselikulma  $10^{\circ}$ , 240 kg lisäpainoja
4. Akselikulma  $20^{\circ}$ , 240 kg lisäpainoja

Äkeen painottamisessa tulee ottaa huomioon, että etu- ja taka-akseleiden työsyvyys pysyy samana. Painojen sijainnin lisäksi äkeen kulkuasentoon vaikuttavat vetopisteen sijainti ja esimerkiksi koeäkeessä varpajyrän jousikuorma.

Tarkasteltaessa äkeen painon vaikutusta murustamisominaisuuksiin on otettava huomioon myös ajonopeuden vaikutus. Ilman lisäpainoja äkeen murustamisominaisuudet paranivat nopeutta lisättäessä ja lisäpainojen kanssa tapahtui päinvastoin.

Lisäpainoilla ei ollut sanottavaa vaikutusta pellon pinnan tasaisuuteen eikä muokkauspohjan tasaisuuteen savi- ja multamaalla. Yleisesti ottaen lapiorullaäes jätti pellon pinnan tasaisemmaksi multamaalla kuin savimaalla, mutta muokkauspohja oli multamaalla vieläkin epätasaisempi kuin savimaalla. S-piikkiäkeellä saadaan huomattavasti tasaisempi muokkauspohja erityisesti multamaalla, mutta myös savimaalla ero on selvä.

Yhteenvedona voi todeta, että lisäpainojen käyttöä kannattaa välttää, jos ei ole tarvetta lisätä työsyvyyttä. Painoja käytettäessä vetovastus kasvaa. Painojen vaikutus lapiorullaäkeen muokkausominaisuuksiin on vähäinen tai olematon.

### 2.2.2 Akselikulmat

Akselikulman muutos 10<sup>0</sup>:sta 20<sup>0</sup>:een lisäsi savi- ja multamaalla työsyvyyttä 0,3 cm sekä vetovastusta savimaalla 24% ja multamaalla 19%. Akselikulman muuttaminen ei vaikuttanut murustusominaisuuksiin, pellon pinnan tasaisuuteen eikä muokkauspohjan tasaisuuteen. Ilman varpajyrää muokauskaistan keskelle olisi jäänyt vako, joka olisi vielä syventynyt akselikulmaa jyrkennettäessä. Vaon syntyminen aiheutuu siitä, että kolmesta perättäisestä akselistä kaksi siirtää maata sivulle ja yksi keskelle.

Polttoaineenkulutuksen ja muokkaustuloksen kannalta ei ole perusteltua käyttää jyrkempää akselikulmaa, koska se ainoastaan lisää vetovastusta, mutta ei paranna muokkausjälkeä.

### 2.2.3 Ajonopeus

Kuvasta 44 ilmenee ajonopeuden vaikutus lapiorullaäkeen vetovastukseen. Savimaalla vetovastus kasvaa jonkin verran nopeammin nopeutta lisättäessä kuin multamaalla.

Ajonopeuden ei havaittu vaikuttavan lapiorullaäkeen työsyvyyteen. Ainoat keinot, jolla lapiorullaäkeen työsyvyyttä voi muuttaa, ovat lisäpainojen käyttö ja akselikulman muuttaminen. Koska niidenkin vaikutus on melko vähäinen, äkeeseen tulisi lisätä paremmat syvyydensäätölaitteet. Kokeissa äkeen muokkaussyvyys oli ensimmäisellä ajokerralla savi- maalla n. 6 cm ja multamaalla n. 7 cm. Toisella ajokerralla muokkaussyvyys lisääntyy vielä jonkin verran. Lapiorullaäkeen vetovastus näyttää olevan likimain vakio maalajista ja ajokerrasta riippumatta. Äes painuu sitä syvempään mitä kuohkeampaa maa on. Kylvömuokkausta ajatellen työsyvyys on turhan suuri ja polttoainetta kuluu hukkaan suuren vetovastuksen takia.

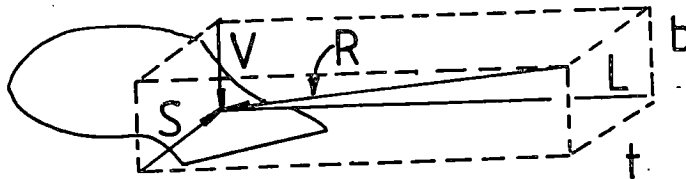
Ajonopeuden lisääminen paransi muokkaus pohjan tasaisuutta multamaalla. Ajonopeuden lisääminen parantaa myös murustamisominaisuuksia, jos ei käytetä lisäpainoja. Kokeiden mukaan lapiorullaäes ja S-piikkiäes ovat murustamisominaisuuksiltaan tasavertaisia, kun työsyvyys on sama.

Kappaleen 2. Äestys -kirjallisuusviitteet  
/19/ - /29/

### 3. Kyntö

#### 3.1 Kyntövoimat

Siipivannasauran terä leikkaa viilun maasta ja kiilaa tämän aluksi ylöspäin ja sen jälkeen sivulle. Tällöin auran terään vaikuttavat kuvan 45 mukaiset voimat.



**Kuva 45.** Kyntövoimat

L = ajosuuntainen voima

S = sivuvoima

V = pystyvoima

R = voiman resultantti

Ajosuuntaisen voiman traktorin vetovoiman on kumottava. Sivuvoiman ottaa vastaan auran maapuoli ja pystyvoima tulee useimmiten painonsiirtona traktorin kannettavaksi. Tärkein näistä voimista on ajosuuntainen voima eli auran kyntövastus. Usein se annetaan ominaisvastuksena.

$$K = \frac{L}{t b}$$

K = maan ominaisvastus, N/dm<sup>2</sup>

L = ajosuuntainen voima, N

t = kyntösyvyys, dm

b = kyntöviilun leveys, dm

Maat voidaan jakaa kyntövastuksen mukaan seuraavasti

kevyt maa	alle 400 N/dm <sup>2</sup>
keskijäykkä maa	400-600 N/dm <sup>2</sup>
jäykkä maa	yli 600 N/dm <sup>2</sup>

Edellä esitetyt maan ominaisvastukset ovat keskimääräisiä arvoja. Niihin vaikuttaa maan rakenne, ajonopeus ja maan kosteus.

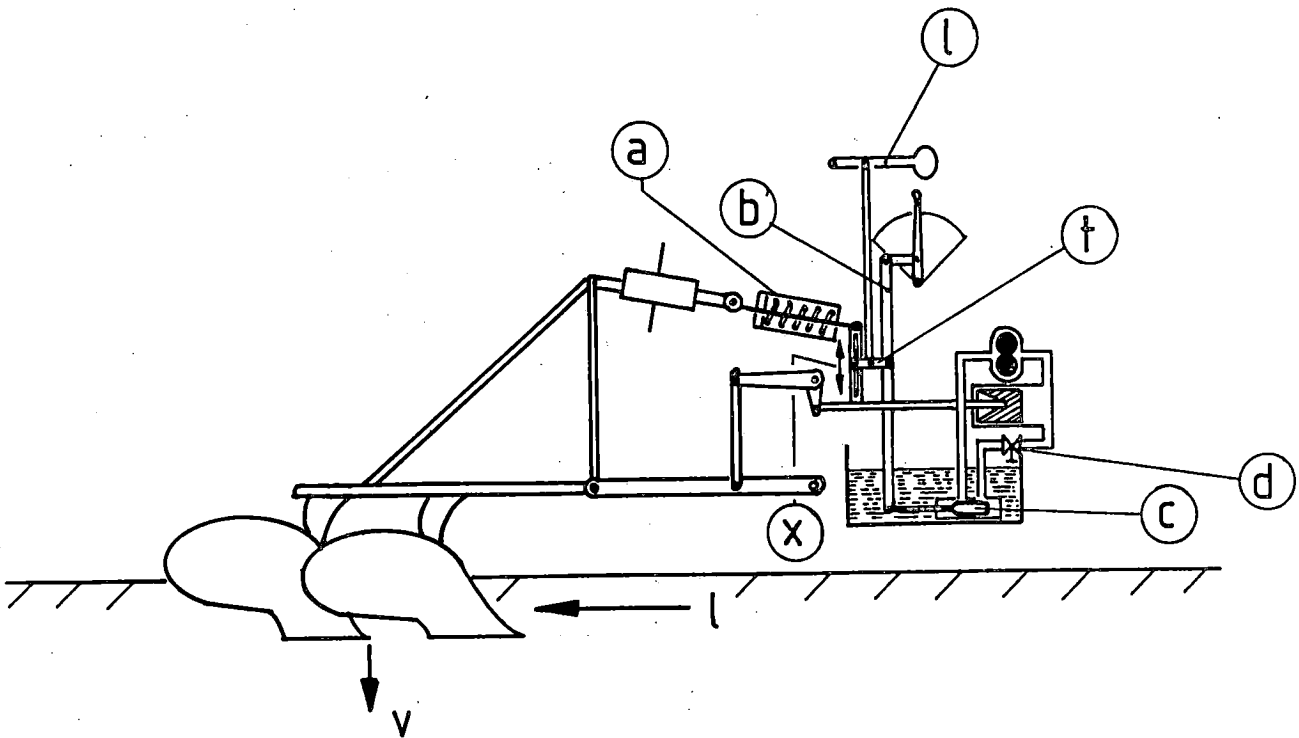
Pystyvoima V on normaalisti 10-30% ajosuuntaisesta voimasta L.

### 3.2 Traktorin vetovastussäätö

Kyntöä varten traktorin nostolaitteessa on vetovastussäätö. Sen toimintaperiaate on kuvan 46 mukainen.

Auran vetovastus aiheuttaa työntövarteen puristuksen. Tämä puristusvoima vaikuttaa jousen ja vipujen kautta hydrauliventtiiliin. Työntövarren puristusvoiman kasvaessa hydrauliventtiili avautuu nostolle ja puristusvoiman vähetessä se avautuu laskulle.

Vetovastussäädön ja asennon säädön suhdetta voidaan muuttaa vivun 1 avulla. Jos välivipu f nostetaan työntövarsitunnustelua vasten, nostolaite toimii pelkästään vetovastussäädöllä.



**Kuva 46.**

**Traktorin nostolaite**

a = työntövarren voiman tunnistin

b = nosto-laskuvipu

c = hydrauliventtiili

d = laskunopeuden säätöventtiili

l = vetovastus-asennonsäädön säätövipu

Jos välivipu f lasketaan alas, nostolaite toimii pelkästään asennonsäädöllä. Yleensä välivipua joudutaan käyttämään asennon- ja vetovastussäädön välillä. Tällöin kyntösyvyys pysyy tasaisena ja painonsiirto on riittävä.

Asennonsäädöllä pelkästään toimiessaan nostolaite pitää nostovivulla määrätyn asennon. Jos esim. hydraulivuotojen takia nostolaite pyrkii laskemaan, tämä aiheuttaa venttiilin avautumisen nostolle ja sitä kautta korjausliikkeen.



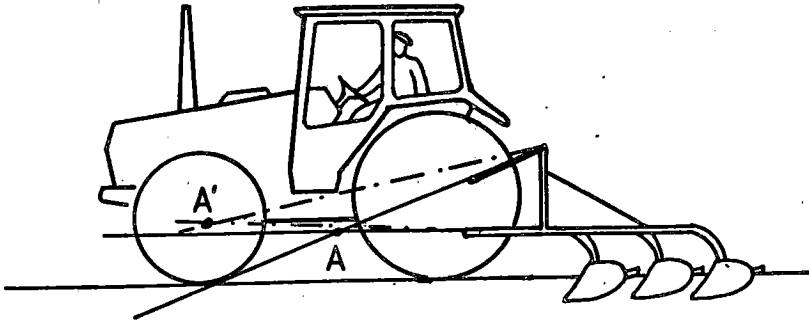
Nostolaitteen toimintaan voidaan vetovastus-asennonsäädön lisäksi vaikuttaa työntövarsitunnustelun jousen kireydellä ja laskunopeuden säätöventtiilillä, joka vaikuttaa nostolaitteen toimintanopeuteen.

Kun auran terien määrä lisääntyy, auran kokonaispaino kasvaa. Tämän seurauksena työntövarressa ei ole puristusta, vaan vetoa ja auran suuresta painosta johtuen voimanmuutos on vähäinen. Työntövarsitunnustelu ei tällöin toimi yhtä tehokkaasti. Tämän ja puolihinattavien aurojen takia käytetään vetovarsitunnustelua. Se toimii samalla periaatteella, erona on ainoastaan että vetovarsien vetovoima vaikuttaa työntövarren voiman sijasta hydrauliventtiiliin.

Kynnöllä traktorin nostolaite käyttäytyy kahden eri tavan mukaan. Silloin kun nostolaite laskee auraa, se käyttäytyy vapaan auran tavoin ja aura niveltyy näennäisen vetopisteen ympäri. Kun nostolaite nostaa auraa, aura käyttäytyy kuten jäykästi traktoriin kiinnitetty aura. Vetovastussäädön toimiessa nostolaite jatkuvasti nostaa ja laskee auraa siten, että korjausliikkeitä on 10-30 korjausta minuutissa. Nostokorjauksen yhteydessä sekä auran että viilun massavoimat vaikuttavat lisästen painonsiirtoa. Laskunopeuden säädöllä vaikutetaan hydrauliliikan toimintanopeuteen ja siten myös hitausvoimiin.

### 3.3 Auran kiinnitystapa

Nostolaitteauran kiinnityksessä traktoriin työntövarren asennolla voidaan vaikuttaa auran toimintaan silloin, kun aura pääsee vapaasti liikkumaan, kuva 47.



**Kuva 47.** Työntövarren kiinnityksen vaikutus vapaasti liikkuvan auran näennäiseen vetopisteeseen A.

Normaalissa kynnössä aura pääsee vapaasti liikkumaan silloin, kun vetovastussäätö sallii auran laskeutumisen eli vetovastuksen pienentyessä.

Mittauksissa työntövarren asennon ei havaittu vaikuttavan paljoakaan kyntövoimien jakautumiseen traktorin puolella. Tämä on merkinä siitä, että vapaasti liikkuvan auran osuus vetovastussäädössä on vähäinen. Myös laskunopeuden säätö ja traktorin hydraulikka vaikuttaa. Laskunopeuden säädöstä sekä hydraulikan virtausvastuksesta ja kitkasta riippuu salliko nostolaite auran vapaan laskeutumisen vai hidastaako nostolaite sitä. Jos nostolaite hidastaa auran laskeutumista, se samalla kantaa osan pystyvoimista.

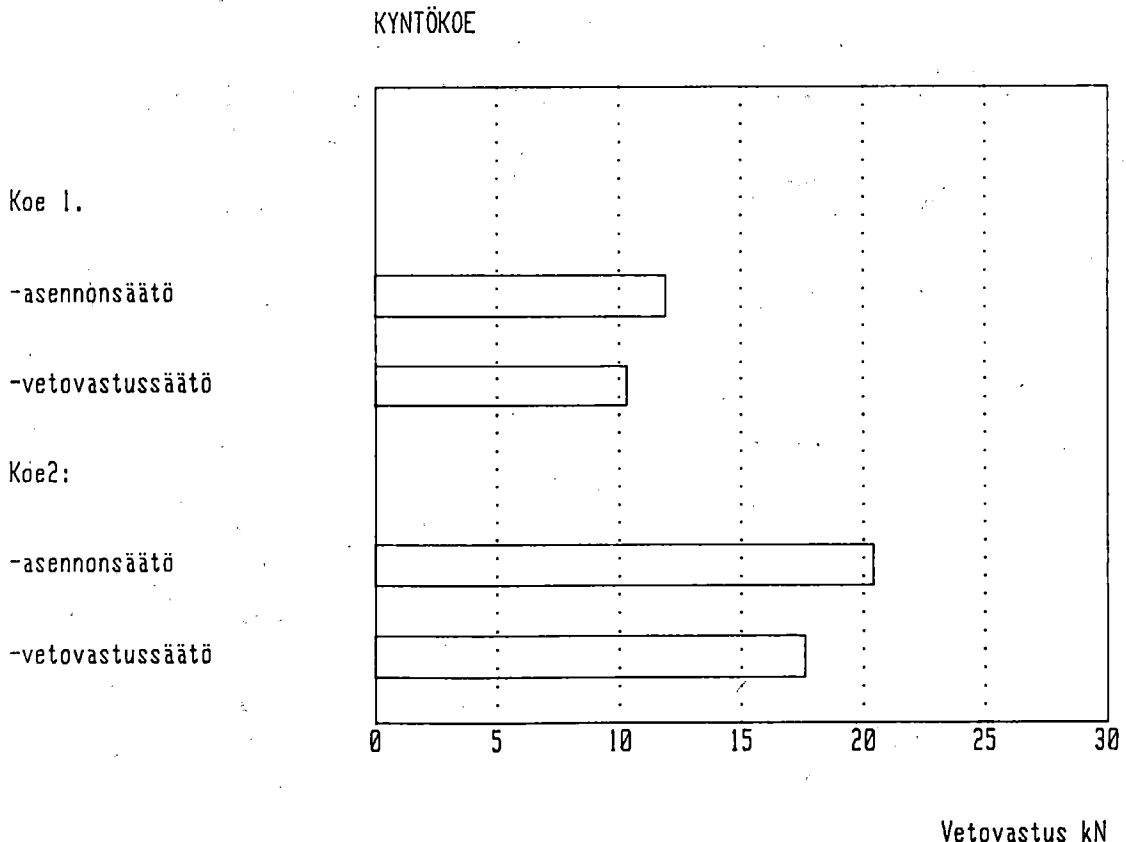
Kyntöön näennäinen vetopiste vaikuttaa siten, että mitä kauempana se on, sitä suurempi työsyvyys on mahdollista saada ja mitä lähempänä se on, sitä nopeammin aura pääsee oikeaan työsyvyyteen.

## 2.4 Vetovastussäädön käyttötapa

Kynnettäessä nostolaite voi toimia kolmella eri perustavalla, uivana, asennonsäädöllä tai vetovastussäädöllä. Uivana toimiessaan nostolaite ei rajoita työsyvyyttä, vaan aura on omassa tasapainosyvyydessään. Asennonsäätöä käytettäessä traktorin nostolaite rajoittaa työsyvyyden ja kantaa osan pystyvoimista. Asennonsäätöä käytettäessä maan epätasaisuudet aiheuttaisivat kyntösyvyyden vaihtelua, tätä varten sitä voidaan käyttää vain hyvin tasaisilla pelloilla.

Vetovastuksen muuttuessa, eli esim. pellon epätasaisuuksien vaikutuksesta auran pyrkiessä matalampaan tai syvempään kyntöön, vetovastussäätö muuttaa työsyvyyttä ja pyrkii pitämään vastuksen tasaisena. Maalajin pehmetessä tai kovetessa tämä aiheuttaisi kyntösyvyyden muutoksia. Tämän takia käytetään yhdistettyä vetovastus-asennonsäätöä eli sekoitussäätöä, vrt. kuva 46.

Kuvassa 48 on koetuloksia vetovastussäädön vaikutuksesta.



**Kuva 48.** Vetovastus-asennonsäädön vaikutus vetovarsien vaakavoimaan

Vetovastussäätöä käytettäessä vetovarsien vaakavoima pieneni n. 14% ja hajonta pieneni puoleen. Vetovastussäätö on siten selvästi tasannut vetoa, koska hajonta on vähentynyt. Se on myös samalla pienentänyt vetovoimantarvetta. Tämä johtune osittain tasoittuneesta vastuksesta ja osittain nostolaitteen jatkuvasta korjausliikkeestä, joka auttaa maan leikkaamista. Muihin voimiin kuin vetovarsien vaakavoimiin vetovastussäätö ei mainittavasti vaikuta.

Nostolaitteen toimintanopeus eli laskunopeus ei paljoakaan vaikuta. Suuntauksena on kuitenkin nähtävissä vetovarsien vaakavoimien vähäinen pieneminen ja hajonnan tasoittuminen.

Puolihinattavalla auralla vetovastus- ja asennonsäädön voimilla ei ollut mainittavia eroja. Auran etupään työsyvyys vetovastussäätöä käytettäessä muuttui melkoisesti. Tämä puoltaisi asennonsäädön käyttöä.

Kaksoisauroilla auran suuri paino vaikeuttaa nostolaitteen toimintaa. Työsyvyys vaihtelee melkoisesti ja kyntövoimien hajonta on suuri.

### 3.5 Kyntösyvyyden vaikutus

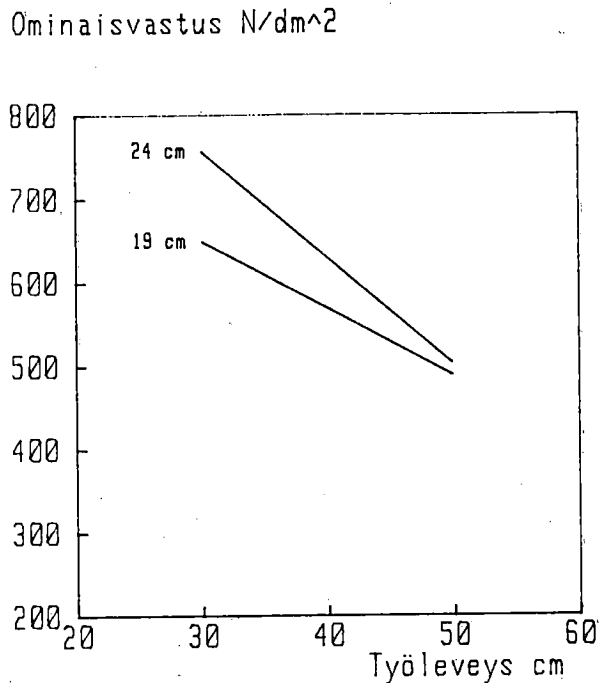
Auran työleveys määrää työsyvyyden. Viilun pystyssä pysyminen ja viilun mahdollisimman suuren vapaan pinnan mukaan saadaan kuvan 49 mukaiset arvot

**Kuva 49.** Työleveyden ja työsyvyyden valinta

Viilun leveys	Suositteltava kyntösyvyys
31 cm (12")	14-20 cm
36 cm (14")	17-24 cm
41 cm (16")	20-27 cm
46 cm (18")	23-30 cm

Jos kuvan 49 arvoista poiketaan, viilun leveyden lisääminen suositusarvoista vähentää ominaisvastusta, kuva 50.

Tämä leventäminen kuitenkin huonontaa kyntöjälkeä ja suuret erot suositusarvoihin verrattuna eivät ole toivottavia.

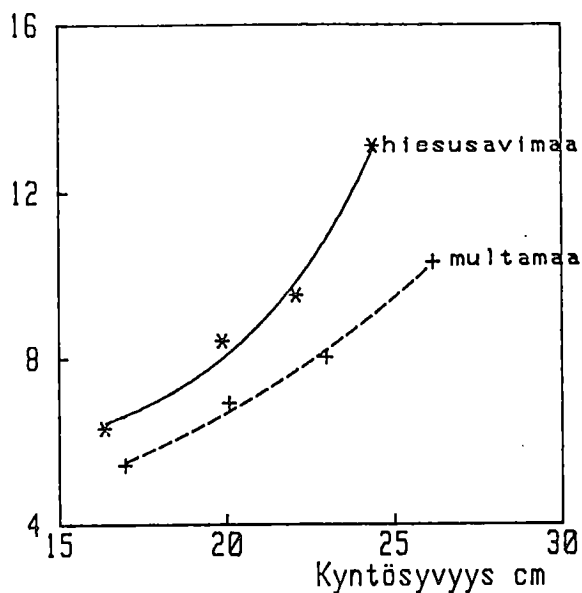


**Kuva 50.** Kynnön ominaisvastus työleveyden muuttuessa /13/

Kuvassa 51 on tarkasteltu työsyvyyden vaikutusta ominaisvastukseen 3 x 36 cm auralla sekä multa- että hiesusavimaalla.

Työsyvyyden lisääminen lisää kyntövastusta melko nopeasti. Esimerkiksi muutos 17 cm:stä 23 cm:iin lisää multamaalla vastusta n. 48%. Hiesusavella ominaisvastus lisääntyy hieman nopeammin. Esimerkiksi 16 cm:stä 22 cm vastus lisääntyy n. 52%. 22 cm:n jälkeen vastus lisääntyy tuntuvasti kyntöanturan takia. Esimerkiksi työsyvyyden muutos 22 cm:stä 25 cm:iin lisää vastusta n. 38%.

Kyntövastus kN



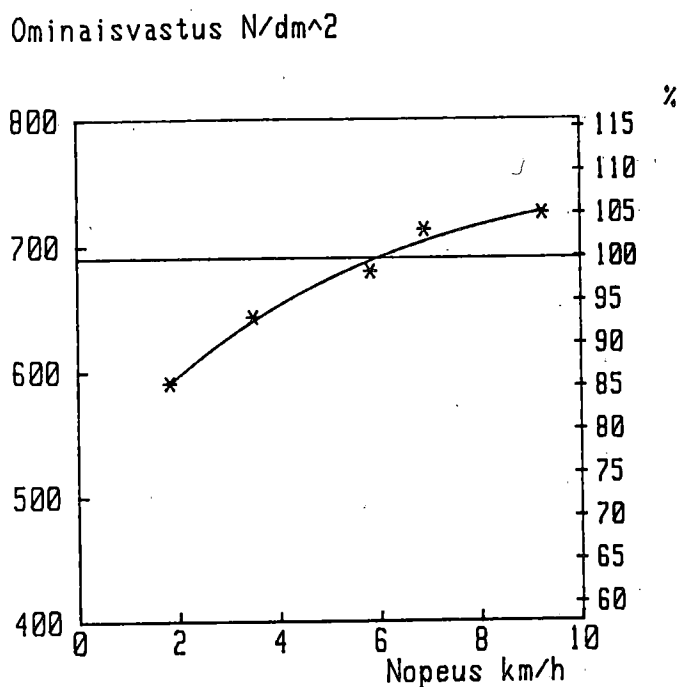
**Kuva 51.** Työsyvyyden vaikutus ominaisvastukseen 3 x 36 cm auroilla.

#### Auran työsyvyyden valinta

- Työsyvyys pitää valita viljelylle sopivaksi.
- Liiallinen työsyvyys kasvattaa kyntövastusta nopeasti. Kevyillä mailla muutos 20 cm:stä 25 cm:iin kasvattaa kyntövastusta yli 40%. Raskaille mailla kyntöanturan takia vastaava muutos on yli 50%.
- Työn jäljen takia auran työlevyyden ja työsyvyyden suhde on oltava sopiva, normaalisti 1,3-1,8.
- Traktorin renkaan on mahduttava kyntövakoon.

### 3.6 Kyntönopeus

Traktoreiden suurentuneet tehot pyritään hyödyntämään ajonopeuden lisäämisellä. Nopeuden lisääminen vaikuttaa ominaisvastukseen kuvan 52 mukaisesti. Ajonopeuden suurentuessa vastus kasvaa. Nopeuden lisääntyessä esim. 6 km/h:sta 8 km/h:iin, vastus lisääntyy n. 3%. Nopeuden lisääntyessä 9 km/h:iin vastus lisääntyy n. 5%.



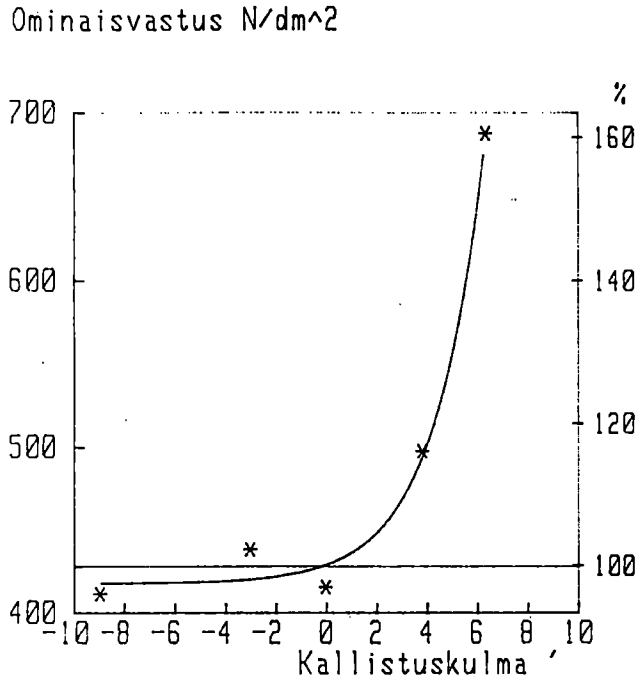
**Kuva 52.** Ajonopeuden vaikutus ominaisvastukseen keskijäykällä maalla

Kuvan 52 tulokset on saatu hiesusavella nopeaan kyntöön tarkoitetulla auralla. Maalajin, maan kosteuden tai auratyypin muuttuessa myös vastusvoimat muuttuvat erilaisilla.

Kyntönopeudet ovat 6-9 km/h. Nopeuden lisääminen vaikuttaa melko hitaasti kyntövastukseen. Auratyypistä riippuen työn jälki voi huonontua suurilla nopeuksilla.

### 3.7 Auran säädön vaikutus

Kuvassa 53 on auran sivuttaiskallistuman vaikutus ominaisvastukseen.

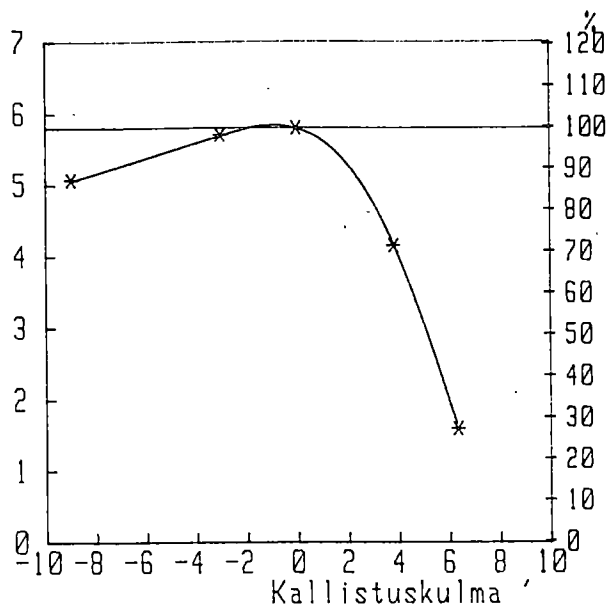


**Kuva 53.** Auran sivuttaiskallistuman vaikutus ominaisvastukseen

Kun aura on kallistunut oikealle, siipi tukeutuu viiluun ja kitkavoimat kasvavat. Tämä näkyy selvästi kuvasta 53. Esimerkiksi n.  $4^\circ$  kallistuma viiluun päin lisää vastusta 16%. Samanaikaisesti viilu alkaa kantamaan auran pystyvoimia ja traktorille tuleva painonsiirto heikkenee. Esimerkiksi n.  $4^\circ$  kallistuma vähentää painonsiirtoa lähes 30%, kuva 54.  $4^\circ$  kallistuma on juuri silmin havaittavissa ja se aiheuttaa n. 3 cm kyntösyvyyden eron etu- ja takaterän välillä 3 x 36 cm auroilla.

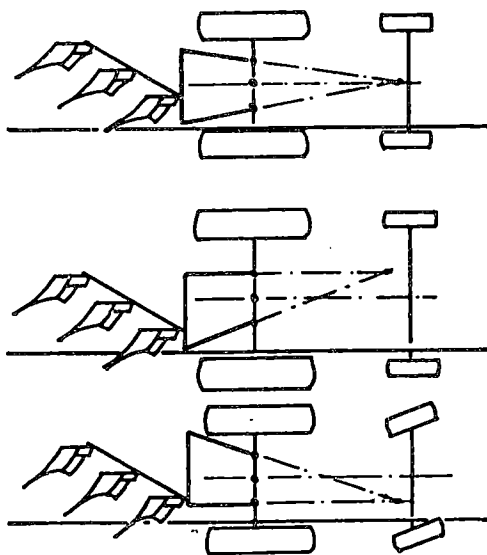


Painonsiirto kN



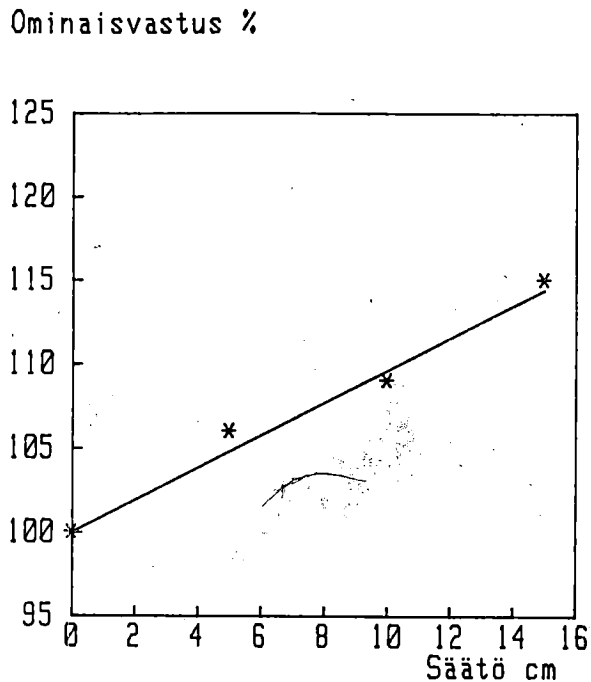
**Kuva 54.** Auran kallistumien vaikutus painonsiirtoon 3 x 36 cm auroilla

Traktorin raideleveyden, vetokartun säädön ja auran työleveyden on oltava oikeassa suhteessa, muutoin vetopiste ei osu traktorin keskilinjalle, kuva 55.



**Kuva 55.** Auran vetopisteen muutos

Jos vetokarttu poikkeaa oikeasta asetuksesta ja sitä kääntämällä säädetään ensimmäisen viilun työleveys, ominaisvastus kasvaa kuvan 56 mukaisesti. Säätovirhe aiheuttaa helposti 5-10% vastuksen lisääntymisen



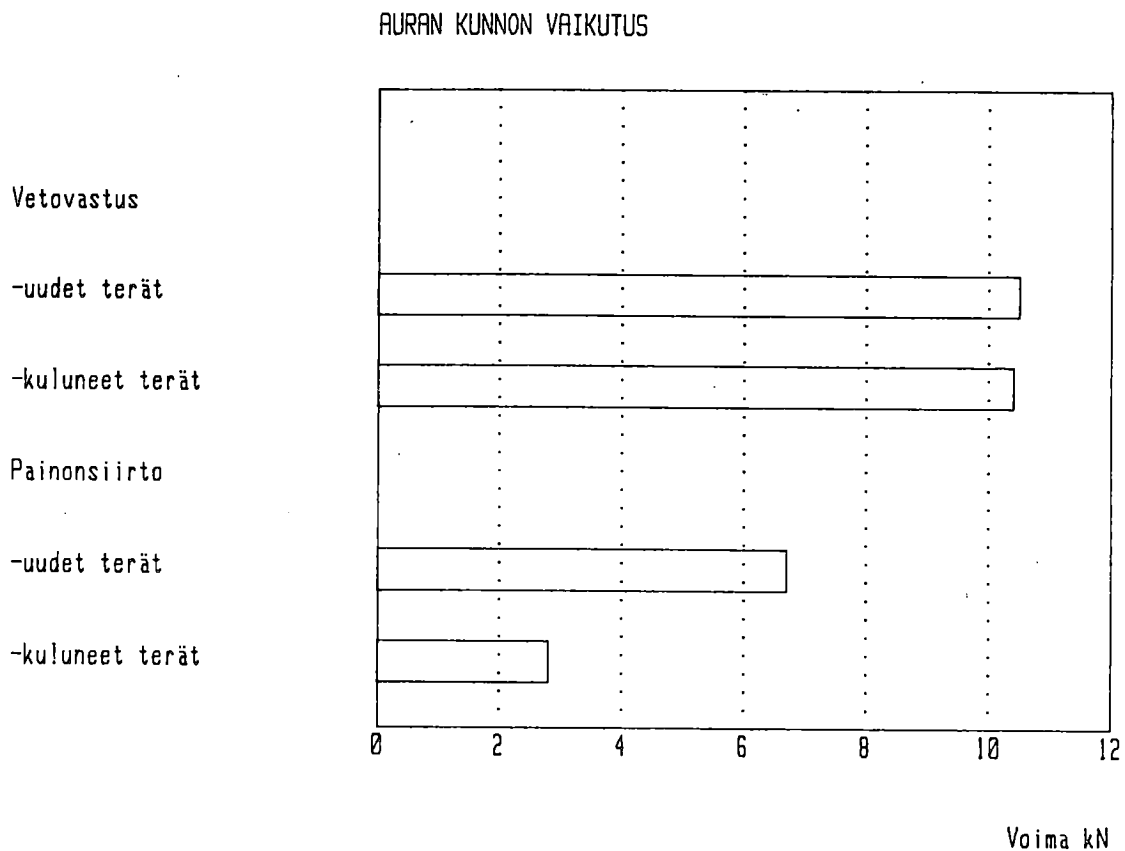
**Kuva 56.** Vetokartun virhesäädön vaikutus

#### Auran säätö

- Auraa ei saa säätää siivelleen, tämä aiheuttaa sekä vastuksen kasvua että painonsiirron vähenemistä. Auran pitää olla sekä ajosuunnassa että sivusuunnassa vaakasuorassa.
- Vetokartun leveyssäätö pitää tehdä siten, että vetopiste tulee traktorin keskilinjalle. Tarvittaessa traktorin raideleveys pitää säätää sopivaksi. Jos vetokarttua joudutaan kääntämään pystyasennosta, vetopisteen pitäisi siirtyä kynnetylle ei kyntämättömälle.

### 3.8. Auran kunnan vaikutus

Käytössä auran kärkikappaleet ja vantaat kuluvat. Tämä vaikuttaa auran käyttäytymiseen. Kuvassa 57 verrattu uusia ja kuluneita auran kärkikappaleita ja vantaaita.



**Kuva 57.** Kuluneen ja uuden kärkikappaleen vaikutus veto-  
vastukseen ja vetovarsien kannatusvoimaan 3x14"  
auralla.

Kuluneisuus ei ole vaikuttanut paljoakaan kokonaisvetovastukseen. Painonsiirtoon sillä on ollut huomattava vaikutus, se on vähentyntyt lähes 60%. Tämä on seurausta siitä, ettei aura enää ole maahakuinen vaan maa kantaa auraa. Kuluneisuus vaikuttaa myös työntövarren voimiin, ne muuttuvat n. 2 kN vedosta n. 4 kN puristukseen. Vetovastustunnustelu toimii tällöin erilailla.

Kuluneisuus vaikuttaa auran maahantunkeutumiseen, oikean työsyvyyden saavuttaminen kestää kauemmin ja kovalla maalla voi olla vaikeata saada tarpeeksi syvää kyntöä. Kuva 57 kokeet on tehty kostealla maalla. Kuivalla maalla terien kuluneisuus voi vaikuttaa myös kyntövastukseen.

#### Auran kunto

- Kuluneet terät heikentävät maahan tunkeutumista ja lisäävät maan tiivistymistä
- Kuluneet terät heikentävät myös painonsiirtoa ja vaikeuttavat siten traktorin kulkua

#### 3.9. Auran tukipyörän käyttö

Auran tukipyörää on käytetty alkujaan työsyvyyden säätöön. Myöskin sillä on haluttu vähentää kyntövastuksia muuttamalla hankauskitevoimat vierimisvastuskitevoiksi. Vetovastustunnustelun yhteydessä tukipyörää käytetään tasaamaan työsyvyyttä siten, että se estää pehmeissä kohdissa liiallisen kyntösyvyyden. Painavissa ja useampiteräisissä auroissa se tehostaa työntövarsitunnustelun toimintaa aiheuttamalla työntövarteen puristusvoimia.

Jos tukipyörä kantaa runsaasti, se aiheuttaa työntövarteen voimakkaan puristuksen ja painonsiirron traktorin etuakselille. Mitä enemmän halutaan painonsiirtoa taka-akselille, sitä vähemmän tukipyörä saa kantaa.

### Tukipyörän käyttö

- Tukipyörää voidaan käyttää työntövarsitunnustelussa tehostamassa nostolaitteen vetovastussäätöä. Se voi olla tarpeen etenkin painavilla ja useampiteräisillä auroilla.
- Tukipyörä estää pehmeissä kohdissa liiallisen kyntösyvyyden.

Kappaleen 3. Kyntö -kirjallisuusviitteet

/12/

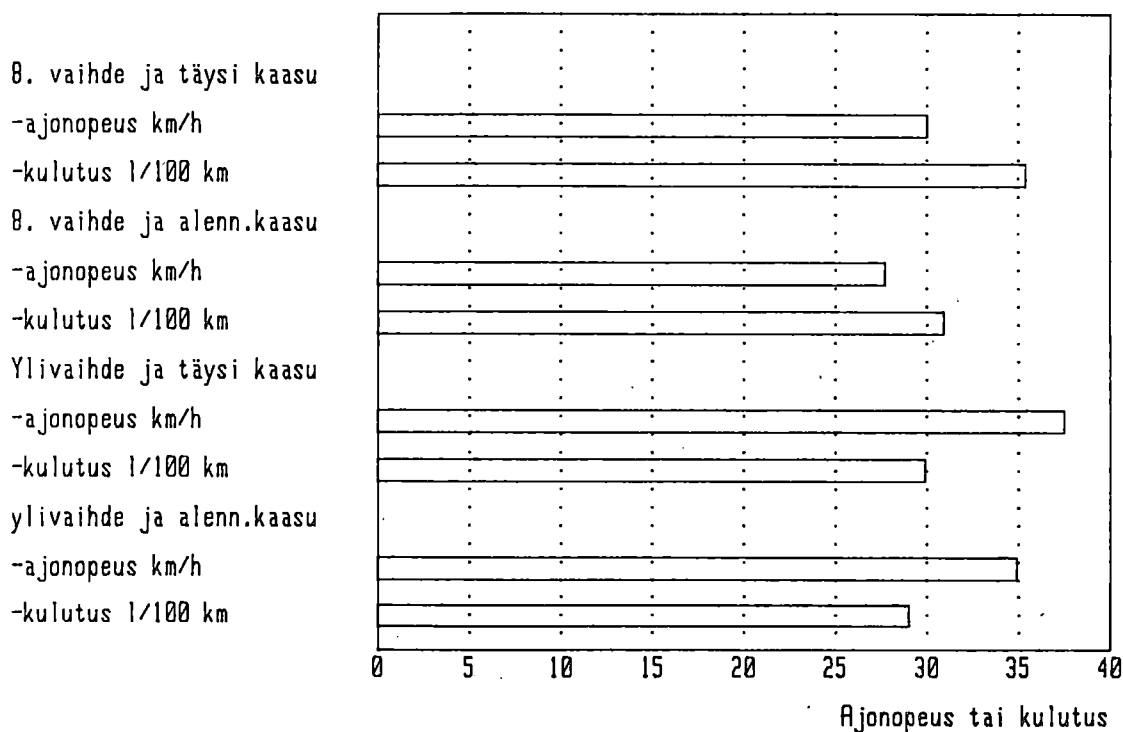
/30/

#### 4. KULJETUSAJOT

##### 4.1 Suurin ajonopeus ja moottorin pyörimisnopeus

Maatilatalouksissa kuljetusajoja on melko paljon. Valtaosassa näistä kuorma on pieni. Traktoreiden suurimmat nopeudet ovat alhaisia, jolloin kaasuvipu on kuljetusajoissa täysin auki. Moottori kuormittuu vähän ja se toimii epätaloudellisella alueella.

Kuvassa 58 on esitetty suurimman ajonopeuden vaikutusta polttoaineen kulutukseen tasaisella asfalttitiellä.

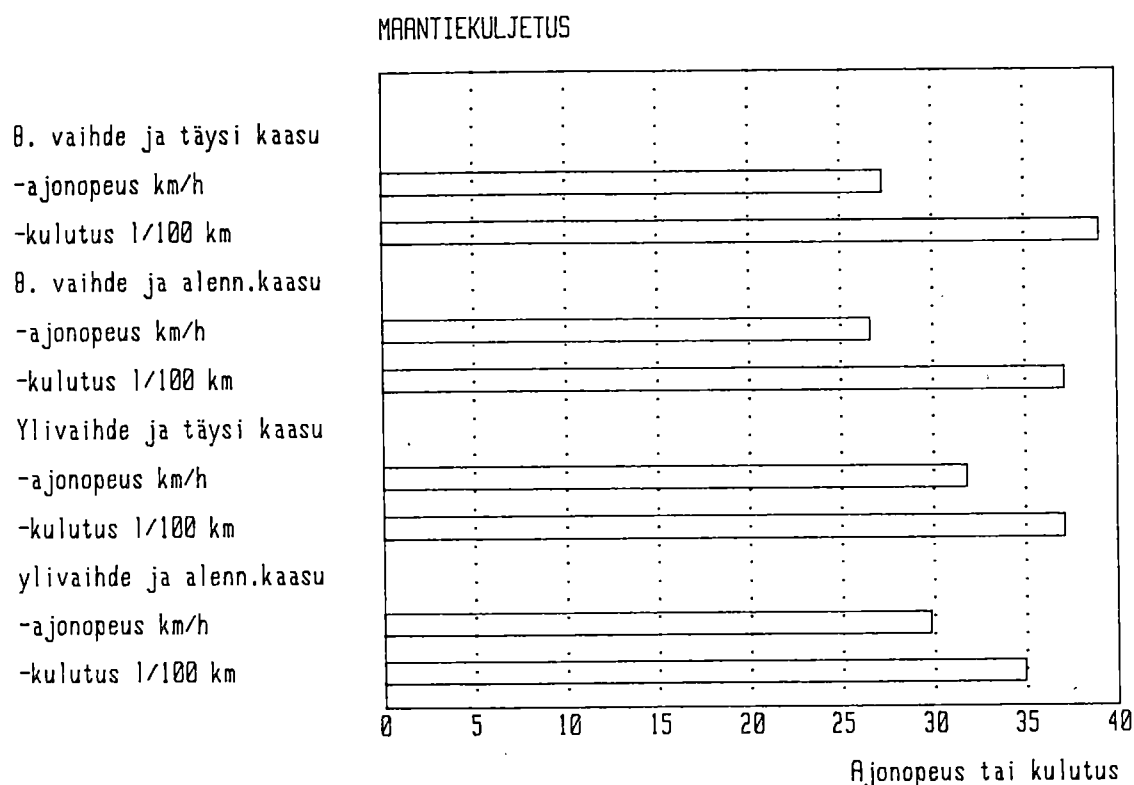


**Kuva 58.** Suurimman ajonopeuden ja moottorin pyörimisnopeuden vaikutus keskinopeuteen ja polttoaineen kulutukseen. Traktori Volvo BM Valmet 805-4 ja perävaunun paino 11500 kg.

Kun moottorin pyörimisnopeutta alennettiin 8. vaihteella 100-200 r/min, ajonopeus aleni n. 8 % ja polttoaineen kulutus n. 13 %. Ylivaihdetta käytettäessä alennettu pyörimisnopeus ei vaikuttanut enää merkittävästi kulutukseen. Perävau-

nunkuorma oli suurin sallittu kuorma. Kevyemmällä kuormalla pyörimisnopeuden pieni alentaminen vaikuttaisi todennäköisesti voimakkaammin kulutukseen. Ylivaihdetta käytettäessä ajonopeus on kasvanut n. 25 % ja polttoaineen kulutus on vähentynyt n. 16 % verrattaessa kaasua täysin auki tehtyjä kokeita.

Raskaalla, mäkisellä maantiellä tehdyt kokeet on esitetty kuvassa 59.



**Kuva 59.** Kuljetuskokeet raskaalla, mäkisellä maantiellä traktori ja perävaunu samat kuin kuvassa 58.

Polttainesäästöt olivat mäkisellä tiellä pienemmät, koska vastamäet kuormittavat hyvin traktorin moottorin. Ylivaihteen käyttö on parantanut ajonopeutta 12-16 % ja pienentänyt kulutusta 5-6 %. Moottorin pyörimisnopeuden alentaminen on pienentänyt ajonopeutta 2-3 % ja kulutusta 5-6 %.

#### 4.2 Perävaunun ja työkoneen renkaat

Perävaunun ja työkoneiden rengasvalintaan pätevät samat seikat kuin traktorin renkaisiin. Pääasiassa näiden valinnassa kannattaa pitää alhaisen rengaspaineen käyttömahdollisuutta. Se vähentää maan pinnan vaurioitumista ja samalla myös usein pienentää kulkuvastusta. Renkaan halkaisijan suurentaminen on usein leveyden lisäämistä edullisempää. Leveä rengas, jos se ei pysy pellon pinnalla, tallaa maata leveällä pinnalla, ja sen vierimisvastus on tällöin suuri. Renkaan halkaisijan suurentaminen lisää esim. perävaunujen korkeutta. Tämä vaikeuttaa kuormausta ja heikentää hieman stabiiliisuutta. Suurin osa kuormauksista tehdään konein, joten kuormauskorkeus ei ole nykyisin enää merkittävä.

#### Kuljetukset:

- Traktorin suurimman nopeuden pitäisi olla lähes 40 km/h. Tämä mahdollistaa n. 15 % polttoaineenkulutuksen vähennyksen siirtoajoissa.
- Kuljetusajoissa pieni kaasun vähentäminen pienentää 5-15 % polttoaineen kulutusta ilman, että ajonopeus vähenisi paljoakaan.
- Suuri ajovaihde ja alennettu moottorin nopeus vaikuttavat tasaisella tiellä. Mäkisellä tiellä niiden vaikutus on vähäisempi.
- Perävaunun ja työkoneiden renkaissa pitäisi suosia alhaisia käyttöpaineita. Tämä sekä vähentää pellon vaurioita että pienentää vierimisvastusta.

Kappaleen 4. Kuljetusajot -kirjallisuusviitteet

/15/



## 5. VOIMANOTTOAKSELIKÄYTTÖISET TYÖKONEET

Voimanottoakselikäyttöisten työkoneiden tehontarve voi vaihdella suuresti. Kuivan heinän korjuukoneet, niittokoneet, paalaimet ja pöyhimet sekä kasvinsuojeluruiskut ja vastaavat tarvitsevat hyvin vähän tehoa. Sen sijaan mm. jyrsimet, niittosilppurit ja hakkurit tarvitsevat suuren tehon. Työkoneiden yleisin voimantuloakselin pyörimisnopeus on 540 r/min. Standardoinnilla siirrettävä teho on rajattu 48 kW:iin. Tätä nopeutta käytetään kuitenkin jopa 70-80 kW:n tehoihin asti. Suuria tehoja käytettäessä pitäisi käyttää 1000 r/min nopeutta. Traktoreissa nopeus 540 r/min tai 1000 r/min saadaan tietyllä moottorin nopeudella, joka on usein 80-90 % moottorin nimellisnopeudesta, katso kuva 1 ja kuva 9.

Tällöin lähes koko moottorin teho on käytettävissä tarvittaessa. Pienitehoisia koneita käytettäessä tästä on haittansa, moottorin korkeasta pyörimisnopeudesta johtuen polttoaineen ominaiskulutus on suuri ja traktorin melu on myös jo usein häiritsevää. Parannukseksi tähän traktoreihin on rakennettu myös 750 r/min voimanottaja. Helpoiten asia kuitenkin korjattaisiin työkoneen puolella. Luopumalla standardin mukaisesta vaatimuksesta pelkästään 540 r/min käytöstä työkoneiden valmistajat voisivat suunnitella vähän tehoa tarvitsevat laitteensa alhaisempia nopeuksia varten. Esimerkiksi, jos 540 r/min sijasta käytettäisiin 450 r/min, traktori-moottoreiden nopeudet alenisivat 1800-1900 r/min:sta 1500-1600 r/min:iin. Tällöin työkoneiden pitäisi kylläkin sietää mahdolliset ylinopeudet.

## 6. SUOSITUKSET

### 6.1 Polttoaineen säästön taloudellisuus

Traktorimoottorien ominaiskulutukset vaihtelevat nykyisin 240-280 g/kWh rajoissa. Vanhemmissa traktorimalleissa ominaiskulutukset ovat 10-30 g/kWh suurempia kuin uusissa. Jos vanhan traktorin uusimisessa polttoaineen ominaiskulutus pienenee 20 g/kWh ja jos tämä saadaan kokonaisuudessaan säästönä, kulutus pienenee noin 8 %. Traktorin vuotuinen kulutus on 2000-3000 l, jolloin säästö merkitsisi 160-240 l polttoöljymäärää. Yksityistaloudessa tämä säästö ei ole merkittävä, etenkin jos otetaan huomioon myös verotus. Traktorin vaihtoa polttoaineen kulutuksen takia ei kannata tehdä. Traktoria uusittaessa kuitenkin polttoaineenkulutus kannattaa ottaa yhtenä valintaperusteena mukaan.

Traktorit ja maatalouskoneet kuluttavat kevyttä polttoöljyä vuosittain maassamme n. 350 milj. litraa. Esimerkiksi 8 % säästö merkitsisi 28 milj. litran säästöä. Polttoöljyn vähittäishinnalla laskettuna säästö olisi noin 50 milj. mk. Kansantaloudellisesti pienen polttoaineen ominaiskulutuksen suosiminen on perusteltua.

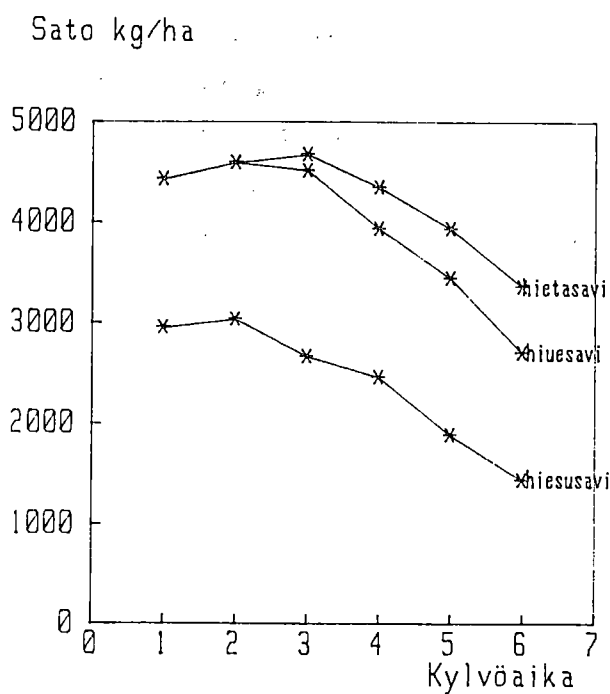
Renkaiden, nelipyörävedon tai polttoainetta säästävien työkonoiden ja varusteiden hankkiminen polttoainetalouden takia ei ole taloudellisesti kannattavaa. Niiden hankinta työn nopeutumisen, maan tiivistymisen tai yleensä työn onnistumisen takia voi olla täysin perusteltua.

Suurimmat polttoainesäästöt saadaan kuitenkin oikealla työnteolla, sopivilla koneilla ja oikeilla koneiden säädöillä.

## 6.2 Traktorikoon ja työkoneen koon valinta

Traktorin ja työkoneen kokoa valittaessa perustana voi olla töiden ajallisuus, vetovoiman tarve ja/tai tehon tarve.

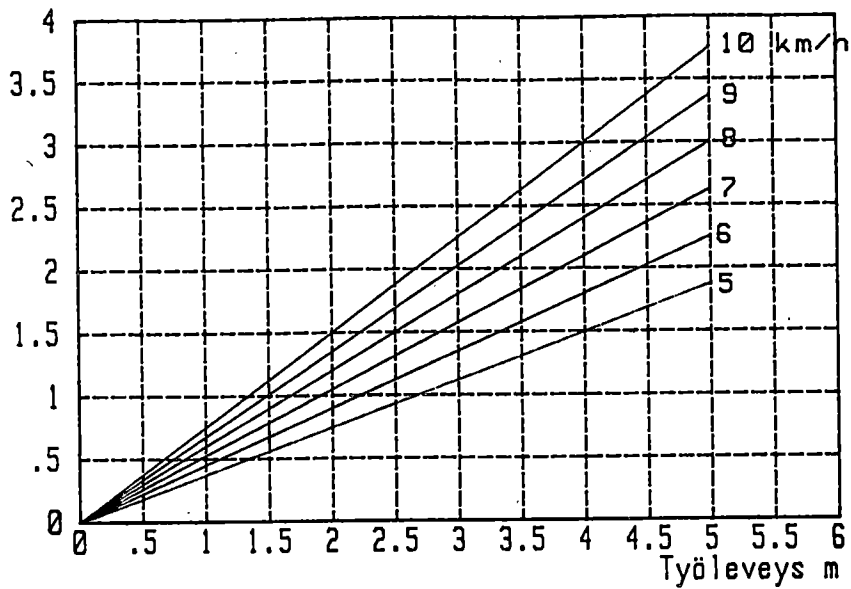
Töiden ajallisuus vaikuttaa kokoon lähinnä kevättöissä. Jos niitä ei ehditä tehdä ajoissa, satotaso alenee. Tämä tuntuu etenkin savi- ja hiesumaille, kuva 60.



**Kuva 60.** Kylvöajan vaikutus satoon, kylvöaikojen väli noin 4 vrk, kevätvehnä /14/.

Kuvan 60 perusteella, jos pyritään pitämään satotaso 10 % rajoissa kylvöjen pitäisi tapahtua kahden viikon sisällä. Kuvassa 61 on työsaavutus eri ajonopeuksilla, kun päällekkäin ajot ja täyttö- ja taukoajot aiheuttavat 25 % vähennyksen teoreettiseen saavutukseen.

Työsaavutus ha/h



**Kuva 61.** Työsaavutus, kun tehollinen saavutus on 75 % teoreettisesta.

Äestyksessä ja kynnössä tehollinen työaika on 75-90 % teoreettisesta ja kylvössä 60-80 %. Kuvan 63 avulla voidaan arvioida työsaavutus ja tarvittava työleveys. Tämän jälkeen traktorin koko voidaan valita työkoneiden mukaisesti.

Jos traktoria tarvitaan raskaaseen vetoon, kuten nostokoneiden käyttöön tai metsätyössä, tällöin traktori on valittava vetovoiman avulla. Tämä tietää lähes aina nelipyörävetoisen traktorin hankintaa.

Traktorilla voidaan käyttää suuria tehoja vaativia voimanottoakselikäyttöisiä työkoneita, kuten jyrsimiä, niittosilppureita ja hakkureita. Tällöin traktorin koko valitaan näiden tarvitseman tehon mukaan.

Työkoneen koon pitäisi olla traktoriin sopiva. Jos työkone on traktoriin nähden selvästi liian pieni, traktori ei kuormitu kunnolla ja polttoaineen ominaiskulutus jää suureksi. Liian suuri työkone aiheuttaa takapyörävetoisessa traktorissa suuren pyörien luiston ja tätä kautta tehohukan. Nelipyörävetoinen traktori ei ole arka tälle, ainoastaan joudutaan käyttämään alhaisempaa ajovaihdetta.

Kuvassa 62 on taulukkona yleisimpien raskaiden työkoneiden vetovoiman ja tehontarpeita. Ne ovat keskimääräisiä lukuja ja käytännön arvot voivat vaihdella huomattavastikin esim. maan kosteuden ja maalajien muuttuessa ja työkoneen säädön mukaan.

**Kuva 62.** Työkoneiden vetovoiman ja moottoritehon tarpeita

Työ	Vetovoiman tarve poikkipinta-alaa tai leveyttä kohti	Moottoritehon tarve työleveyden 1 m kohti
Kyntö		
kevyt maa	alle 450 N/dm <sup>2</sup>	alle 45 kW/m
keskijäykkä maa	450-650 "	45-65 "
raskas maa	yli 650 "	yli 65 "
S-piikkiäes		
kevyt maa	1,5-2 kN/m	10-14 kW/m
raskas maa	2-2,5 "	14-18 "
Lapiorullaäes	1,5-2 "	10-14 "
Kultivaattori	2-7 kN/m	10-35 kW/m
Jyrsin		
kevyt maa	-	16-27 kW/m
keskijäykkä maa	-	27-38 "
raskas maa	-	38-45 "
Kelasilppuri		20-30 kW/m

## 7. POLTTOAINEEN SÄÄSTÖN OHJEET

### Traktorin moottorin ominaisuudet

- Suosi traktoria valittaessa pientä polttoaineen ominaiskulutusta ja hyvää sitkeyttä

### Työkoneiden koko

- Liian pienet työkoneet eivät pysty hyödyntämään traktorin tehoa
- Liian suuret työkoneet johtavat etenkin takapyörävetoisella traktorilla suuriin luistohäviöihin

### Työkoneiden käyttö

- Valitse työsyvyys kasvun tarpeiden mukaan. Liian syvä muokkaus ja äestys lisää vastusta jopa useita kymmeniä prosentteja ja voi alentaa satoa
- Valitse työnopeus työn mukaan. Liian suuri nopeus lisää vastusta.
- Pidä työkoneet ja etenkin kyntöaurat kunnossa, kuluneet terät poistavat painonsiirron kynnöllä

### Työkoneiden säätö

- Säädä työkoneet siten, että työn jälki on hyvä
- Väärät säädöt esim. kynnöllä lisäävät vastusta jopa 10-30 %

### Traktorin ajotapa

- Jos työkone ei täysin kuormita traktoria, älä aja kaasua täysillä. Löysää hieman kaasua ja mahdollisesti käytä suurempaa vaihdetta ja alhaisempaa moottorin nopeutta.

### Traktorin lisäpainot

- Jos pyörien luisto on ongelmana, lisäpainoilla sitä voidaan pienentää ja samalla työsaavutus paranee
- Vältä lisäpainoja ei-vetävillä pyörillä

### Traktorin renkaat

- Älä käytä kuluneita renkaita kynnöllä ja äestyksessä. Ripakorkeuden pitäisi olla vähintään 2 cm.
- Renkaita valitessasi suosi hyvää pitoa.
- Vyörenkaiden pito on yleensä ristikudosrenkaita parempi, varmista kuitenkin kattaako takuu metsäkäytön.
- Parirenkaat ovat suositeltavat äestyksessä, koska kuljettajan heilunta ja pyörien luisto vähenevät.
- Käytä oikeita rengaspaineita, peltotöissä 0,8-1,1 bar ja raskaita perävaunuja käytettäessä 1,5-2 bar.

### Nelipyöräveto

- Nelipyöräveto vähentää luistohäviöitä ja varmistaa kulun.
- Nelipyöräveto ei ole arka hieman ylisuurille työkoneille
- Nelipyörävedon moottoriteho voi olla takapyörävedon tehoa hieman alhaisempi työsaavutuksen ollessa likimain saman
- Nelipyöräveto soveltuu hyvin pehmeille pelloille, etukuormaajakäyttöön, nostokoneiden vetoon ja metsätöihin

### Traktorin käyttö

- Opettele nostolaitteen käyttö
- Märällä pellolla kynnettäessä tasauspyörästäön lukkoa kannattaa käyttää lähes aina

### Kuljetukset

- Suosi perävaunuissa ja työkoneissa renkaita, jotka sallivat alhaisen rengaspaineen
- Traktorin suurimman vaihteen nopeus saisi olla 35-40 km/h



## KIRJALLISUUSVIITTEET

1. BERNACK, H., HAMAN, J., Grundlagen der Bodenbearbeitung und Pflugbaum VEB Verlag Technik, Berlin.
2. SÖHNE, W., Agricultural Engineering and Terramechanics. Journal of Terramechanics, Vol, n:o 1969.
3. ASAE R 313.1, Agricultural Engineers Yearbook, 1977.
4. Predicting tractor field performance from test data, OECD paper, AGR/TS (84) 9.
5. BILLER, R. H., Richting Montage von Frontrieb- reifen hilft sparen ohne Zugkraft einzubüssen, DLZ 11, 1983.
6. HÅKANSSON, J., Jordpackning. Forskning och praktik, Statens Lantbruksinformation 4, 1984.
7. CHRIS PLACKETT, The Tricky Problem of Tyre Ground Pressures, Power Farming, July 1983.
8. GEE-CLOUCH, D., PEERSON, G., McALLISTER, M., Ballas- ting Wheeled Tractors to Achieve Maximum Power output in Frictional Cohesive Soils, Journal of Agricultural Engineering Research, Vol 27, 1982.
9. KURJENLUOMA, J., Vetävällä etuakselistolla varuste- tun traktorin käyttöominaisuudet maataloude- sa, Laudaturtyö, Helsingin Yliopiston maata- lousteknologian laitos, 1983.

10. FRANKHAUSER, J., STADLER, E., KRAMER, E., AMINAN, M., Der Allradartrieb im Vergleich zum Hinterradtrieb, Blätter für Landtechnik n:o 239, 1983, Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik.
11. PERÄLÄ, J., Maataloustraktorien kunto, Laudaturtyö, Helsingin Yliopiston maatalousteknologian laitos, 1985.
12. JUVONEN, H., Traktorin nostolaite kynnöllä, julkaisematon selvitys, VAKOLA 1985.
13. Delburen plog Kverneland typ BB8, Statens Maskinprovningar, Meddelande 2895, Uppsala.
14. KIVISAARI, SIMO., Oikea kylvöaika - onko sitä. KM 4/83.
15. JAAKONMÄKI, S., Traktorin ajotavan, varusteiden ja ominaisuuksien vaikutus polttoaineenkulutukseen, Laudaturtyö, Helsingin Yliopiston maatalousteknologian laitos, 1985.
16. KARVONEN, J., Traktorin vääntömomenttiominaisuuksien vaikutus käytännön työsaavutuksiin, diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, 1986.
17. LILJENDAHL, J.B., CARLETON, TURNQVIST, P.K., SMITH, D.W., Tractors and their power units, John Wiley & Sons, 1979.
18. PESOLA, T. Rengasvarustuksen vaikutus traktorin veto-voimaan ja luistoon. Laudaturtyö, Helsingin Yliopiston maatalousteknologian laitos.

19. ANON. 1978. S-piikkien ryhmäkoetus. VAKOLAn koetus-  
selostus 963.
20. ANON. 1982. Potila 290 S-piikkiäes. VAKOLAn koetus-  
selostus 1071.
21. ANON. 1983. Maatalouskoneet. S-joustopiikki. Mitoitus  
ja laatuvaatimukset. SFS-standardi 2781.
22. KOOLEN, A.J. & KUIPERS, H. 1983. Agricultural Soil  
mechanics. Advanced series in Agric. Sci. 13.
23. MÄKINEN, A. 1985. Joustopiikkiäkeen vetotehon tarve  
ja siihen vaikuttavat tekijät. Helsingin Yli-  
opisto, Maatalousteknologian laitos. 84 s., 22  
liit. Laudaturtyö.
24. MÖLLER, R. 1959. Zugkraftbedarf und Arbeitserfolg  
Starrer und federnder Grubberzinken.  
Grundlagen der Landtechnik. Heft 11.
25. O'CALLAGHAN, J.R. & McCULLEN, P.J. 1965. Cleavage  
of Soil by Inclined and Wedge-Shaped Tines. J.  
agric Engin. Res. 10.
26. PAYNE, P.C.J. & TANNER, P.W. 1959. The Relationship  
between Rake Angle and the Performance of  
Simple Cultivation Implements. J. agric.  
Engin. Res. 4.
27. ROPILO, M. 1985. Äkeiden vetovastus ja työtulos.  
Helsingin Yliopisto, Maatalousteknologian  
laitos. 108 s., 13 liit. Pro gradu -työ.
28. STAFFORD, J.V. & TANNER, D.W. 1983. Effect of rate  
on soil shear strength and soil-metal  
friction. I. Shear Strength. II. Soil-metal  
friction. Soil & Tillage Res.3.

29. VERMA, B.P. 1971. Oscillating Soil Tools - A Review.  
Trans. ASAE 71.
30. NIITTYMAA, V., Kyntöauran säätöjen ja kunnan vaikutuksista auran veto- ja kyntövastukseen, Helsingin Yliopiston maatalousteknologian laitos, laudaturtyö, 1985.

