

VAKOLAn tiedote

69/95



Esa Elonen Laura Alakukku Pauli Koskinen

Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimuslaitos

| | |
|---------------|---------------|
| Osoite | Puhelin |
| Vakolantie 55 | (90) 224 6211 |
| 03400 VIHTI | Telefax |
| | (90) 224 6210 |

Institute of Agricultural Engineering

| | |
|-----------------|------------------|
| Address | Telephone int. + |
| Vakolantie 55 | 358-0-224 6211 |
| FIN-03400 VIHTI | Telefax int. + |
| FINLAND | 358-0-224 6210 |

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | JOHDANTO | 4 |
| 2. | MÄÄRITELMIÄ | 4 |
| 2.1 | Luisto | 4 |
| 2.2 | Pintapaine | 4 |
| 2.3 | Rengaskoon merkinnät | 5 |
| 2.4 | Vierintävastus | 6 |
| 2.5 | Vetohyötysuhde | 7 |
| 3. | AJOALUSTAN OMINAISUUDET | 7 |
| 3.1 | Pidon muodostuminen | 7 |
| 3.2 | Maan leikkauslujuus | 7 |
| 4. | TRAKTORI | 8 |
| 4.1 | Traktorin vetotapa ja painon jakautuminen | 8 |
| 4.2 | Painonsiirto | 9 |
| 5. | RENKAAT | 9 |
| 5.1 | Renkaan rakenne | 9 |
| 5.2 | Kosketuspinnan kuvio | 11 |
| 5.3 | Renkaan koko | 11 |
| 5.4 | Rengaspaine | 12 |
| 6. | MITTAUKSET VAKOLASSA | 12 |
| 6.1 | Koalueet | 13 |
| 6.2 | Kokeissa olleet renkaat | 13 |
| 6.3 | Kosketuspinnan ala ja ajourien syvyys | 15 |
| 6.4 | Vetokokeet | 17 |
| 6.4.1 | Renkaiden vetovoima ja vetohyötysuhde | 18 |
| 6.4.2 | Rengaspaineen vaikutus veto-ominaisuuksiin | 22 |
| 6.5 | Tiivistyskokeet | 23 |
| 6.6 | Renkaiden ajettavuus | 25 |
| 7. | YHTEENVETO | 26 |

ESIPUHE

Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitoksessa (MTT VAKOLA) tutkittiin traktorin renkaiden veto- ja ajo-ominaisuuksia sekä niiden aiheuttamaa maan tiivistymistä kasvukaudella 1994.

Renkaiden maahantuojat ja valmistajat luovuttivat renkaat tutkimuksen käyttöön. Maan ominaisuudet mitattiin yhteistyössä Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusalan kanssa. TkT Jukka Ahokas Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitokselta suunnitteli veto- ja ajo-ominaisuuksien mittausrakenteet.

Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita hyvin sujuneesta yhteistyöstä.

Vihdissä, huhtikuussa 1995

Maatalouden tutkimuskeskus
Maatalousteknologian tutkimuslaitos

1. JOHDANTO

Suomalaisessa peltoviljelyssä traktori on tärkein voimakone. Yleensä sen moottoriteho muunnetaan renkaiden kautta vetotehoksi. Renkaan ominaisuuksia kehittämällä voidaan parantaa traktorin vetohyötysuhdetta, mikä puolestaan parantaa sen polttoainetaloutta, vähentää haitallisia päästöjä sekä lisää työsaavutusta.

Traktorin renkaista jää myös suurin osa peltoajossa syntyvistä urista. Viljelijät ovat jo pitkään ehkäisseet maan tiivistymistä suurentamalla traktorin rengastusta. Esimerkiksi paripyöriä käytetään yleisesti touko aikaan. Tiivistymisen ehkäisyyn markkinoidaan myös matalaprofiilirenkaita, joissa voidaan käyttää alhaisia rengaspaineita.

Renkaiden vaikutusta vetovoimaan, vierintävastukseen ja maan tiivistymiseen on selvitetty monissa tutkimuksissa. Niitä on kuitenkin harvoin tutkittu samassa kokeessa. Tämä vaikeuttaa kokonaiskuvan muodostamista renkaiden ominaisuuksista, koska koeolot ja tutkimuksen toteutus vaihtelevat. Tulokset ovat olleet myös osittain ristiriitaisia.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten erilaiset renkaat vaikuttavat traktorin vetotehoon ja maan tiivistymiseen. Mittaukset tehtiin hiesusavella ja multamaalla keväällä touko aikaan ja syksyllä kyntö aikaan. Näissä työvaiheissa tiivistymisriski ja vetovoiman tarve on yleensä suurin. Lisäksi testattiin renkaiden ajettavuutta tiellä esteen yli ajaen.

2. MÄÄRITELMIÄ

Ennen mittaustulosten esittämistä on paikallaan selittää, mitkä tekijät vaikuttavat traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen (luvut 2 - 5). Tämä helpottaa tulosten tulkintaa ja antaa pohjaa tapauskohtaiseen arviointiin.

2.1 Luisto

Luisto tarkoittaa renkaan ja ajoalustan välistä liukumista. Ilman sitä vetovoimaa ei pystytä tuottamaan. Luisto ilmoittaa prosentteina, kuinka paljon lyhyempi matka vedon aikana kuljetaan verrattuna ilman luistoa ajettuun matkaan. Esimerkiksi, jos traktori kulkee ilman luistoa 40 m:n matkan, luiston ollessa 20 % se etenee 32 m. Luisto on 100 %, kun pyörä on lukkiutuneena (jarrutus) tai pyörii paikallaan. Kun pyörä pyörii vapaasti, luisto on nolla.

Vetotapahtuman aikana maata tiivistää painon ohella myös luisto. Maa tiivistyy (puristuu) eniten luiston ollessa 15 - 20 %. Kun luisto kasvaa, kostea savinen maa tahtaantuu (polkeentuu) pyörän hiertäessä sitä. Kun tahtaantunut maa kuivuu, se kutistuu tiiviiksi ja kovaksi. Esimerkiksi kynnettäessä kosteaa maata vakopyörän luisto voi merkittävästi lisätä maan vaurioitumista. Jos halutaan välttää savimaiden tiivistämistä, luisto ei saisi ylittää 10 %. Nurmiviljelyssä yli 10 %:n luisto vaurioittaa kasveja.

2.2 Pintapaine

Pintapaine vallitsee renkaan ja maan välisessä kosketuspinnassa. Keskimääräinen pintapaine lasketaan jakamalla renkaan kantama paino sen ja maan välisen kosketuspinnan alalla

(kontaktialalla). Pintapaine voidaan arvioida myös rengaspaineen perusteella. Keskimääräinen pintapaine on rengaspaine, johon lisätään renkaan jäykkyudesta aiheutuva runkopaine. Se on maatalousrenkailla 0,1 - 0,5 bar (10 - 50 kPa). Jäykän renkaan runkopaine on suuri, joten vyörenkaan runkopaine on pienempi kuin ristikudosrenkaan. Keskimääräinen pintapaine on likimain yhtäsuuri kuin rengaspaine, kun joustavan renkaan rivat painuvat kokonaan pehmeähkөөn maahan. Yleensä pintapaine ei kuitenkaan jakaannu tasaisesti renkaan alla. Renkaasta voikin välittyä maahan painehuippuja, jotka ovat 2 - 3 kertaa suurempia kuin keskimääräinen pintapaine.

Renkaan uppoaminen pehmeään maahan riippuu pintapaineesta. Suurikaan paino ei uppoa maahan, jos sen kosketuspinta on tarpeeksi suuri. Kun rengas uppoaa maahan, sen vierintävastus kasvaa nopeasti.

Pintapaineesta riippuu myös se, kuinka suuri maata tiivistävä jännitys on. Tiivistymisen ehkäisemiseksi on annettu pintapainesuosituksia, jotka ovat samaa suuruusluokkaa kuin vastaavat rengaspainesuositukset. Kun maa on kosteaa, rengaspaine ei saa ylittää 0,4 - 0,8 bar. Mitä märempää maa on sitä pienempi pitää paineen olla. Kun maa on kuivaa ja kovaa, rengaspaine voidaan nostaa 2 bar:iin.

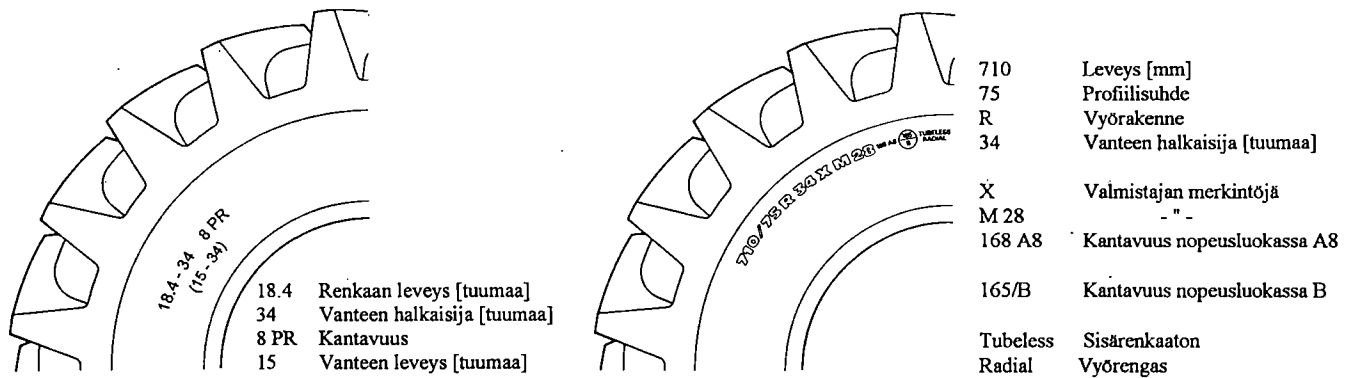
Pintapaineen ohella rengaskuorma vaikuttaa maan tiivistymiseen. Yleistäen voidaan sanoa, että pintapaineen alentaminen vähentää tiivistymisriskiä kyntökerroksessa ja jankon yläosassa. Rengaskuorma määrää kuitenkin sen, kuinka syvältä maa voi tiivistyä. Esimerkiksi, jos kahden renkaan pintapaine on sama, jännitys kulkeutuu maassa syvemmälle sen renkaan alla, jonka kuorma on suurempi. Pintapaineen ja rengaskuorman vaikutusta maan tiivistymiseen havainnollistaa ruotsalainen koe. Siinä käytettiin 8 tn akselipainoa ja rengaskokoa suurennettiin niin, että rengaspaine voitiin laskea 1,5 bar:sta 0,5 bar:iin. Paineen lasku ei lieventänyt kostean savimaan tiivistymistä enää 40 - 50 cm:n syvyydessä.

2.3 Rengaskoon merkinnät

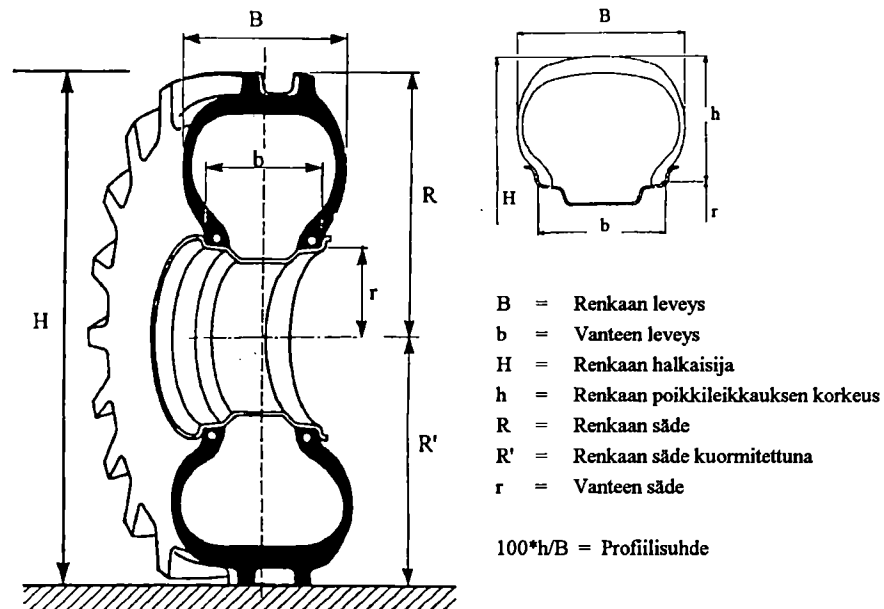
Ensimmäinen luku rengaskoon merkinnässä (kuva 1) ilmoittaa renkaan suurimman leveyden (B, kuva 2). Sen jälkeen matalaprofiilirenkaissa ilmoitetaan profiilisuhde (h/B). Viimeiseksi merkitään renkaaseen sopivan vanteen ulkohalkaisija ($2 \times r$) sekä kantavuus (PR-luku)- tai yhdistetty nopeus- ja kantavuusluokka (A numero).

Vyörenkaassa on leveys- tai profiilimerkinnän jälkeen kirjain R. Se tulee englannin kielen sanasta Radial ja tarkoittaa renkaan vyörakennetta. Usein merkinnöissä mainitaan muitakin renkaaseen liittyviä seikkoja (esim. sisärenkaattomuus). Kuvassa 2 esiintyvä R' on dynaaminen vierintäsäde, joka muuttuu kuormitus- ja ajotilanteen mukaan.

Profiilisuhde ilmoitetaan vielä harvoin traktorin renkaissa, mutta matalaprofiilirenkaiden yleistyessä se on yhä useammin mukana kokomerkinnässä. Profiilisuhde ilmoittaa prosentteina renkaan poikkileikkauksen korkeuden suhteen renkaan leveyteen. Perusprofiilisuhdetta ei ilmoiteta. Autonrenkaissa perusprofiilisuhde on 82, mutta traktorin- ja työkoneiden renkaissa se voi olla joku muukin. Matalaprofiilirenkaiden profiilisuhde ilmoitetaan aina, koska on olemassa useita profiilisuhteita.



Kuva 1. Renkaan kokomerkinnt.



Kuva 2. Renkaan kokomerkinntöjen ilmoittamat mitat.

2.4 Vierintävastus

Vierintävastuksella tarkoitetaan renkaan pyörimistä vastustavaa voimaa. Se muodostuu useista tekijöistä, joista tärkeimmät ovat:

- Renkaan muodonmuutoksesta aiheutuva vastus. Tämä aiheuttaa kovalla alustalla suurimman osan vierintävastuksesta.
- Alustan muodonmuutoksesta aiheutuva vastus. Liikuttaessa pehmeällä alustalla aiheuttaa tämä tekijä suurimman osan vierintävastuksesta.

Vierintävastus ilmoitetaan vierintävastuskertoimena. Se saadaan, kun jaetaan renkaan hinaamiseen tarvittu voima renkaan pystysuoralla kuormituksella. Tavallisesti ei eritellä yksittäisten renkaiden vierintävastuksia, vaan ilmoitetaan esim. koko traktorin vierintävastus.

2.5 Vetohyötysuhde

Hyötysuhde tarkoittaa koneesta saatavan energian suhdetta koneen kuluttamaan energiaan. Koneesta saadaan aina vähemmän energiaa kuin siihen viedään eli hyötysuhde on alle yhden. Vetohyötysuhteessa tarkastellaan energian sijasta tehoa. Saatua tehoa on traktorin vetoteho ja viety teho traktorin vetoakseliteho. Hyötysuhde kuvaa renkaan kykyä muuttaa saamansa voima traktorin vetovoimaksi.

3. AJOALUSTAN OMINAISUUDET

Peltoajossa maan ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi traktorin vetokykyyn, ajo-ominaisuuksiin sekä maan tiivistymisherkkyteen. Tärkein maan ominaisuus on kosteus. Kosteaa maata kantaa koneen huonosti ja tiivistyy herkästi. Näitä kosteuden aiheuttamia riskejä voidaan pienentää, kun ojitus pidetään kunnossa.

Ongelmallista on se, että maan ominaisuudet vaihtelevat paitsi kasvukauden aikana myös lohkon sisällä. Niihin ei myöskään ajon aikana pystytä vaikuttamaan. Tällöin traktorin vetokykyä voidaan parantaa ainoastaan sen ominaisuuksia tai rengastusta muuttamalla. Maan tiivistymiseen vaikuttaa edellisten tekijöiden ohella myös se, miten ajo jakaantuu lohkon sisällä.

3.1 Pidon muodostuminen

Renkaan ja alustan välinen voimansiirto jaetaan kahteen osaan: voima- ja muotovälitteisyyteen. Voimavälitteinen voimansiirto syntyy kitka-, adheesio- ja hystereesivoimista ja muotovälitteinen kosketusvoimista. Esimerkiksi hammaspyörät välittävät voimaa muotovälitteisesti.

Kun ajoalusta on kova (esim. asfaltti tai betoni) renkaan ja alustan välinen voimansiirto on pääasiassa voimavälitteistä. Tietyissä tapauksissa pitovoimaa on kuitenkin pakko lisätä muotovälitteisesti, vaikka ajoalusta onkin kova. Esimerkiksi jäällä ajettaessa renkaan pitoa voidaan lisätä ketjujen avulla.

Kun ajoalusta on pehmeä, renkaan pito muodostuu sekä voima- että muotovälitteisesti. Tavallisesti muotovälitteisyys on suurempi pidonmuodostaja. Voimavälitteisyyden osuus kokonaispidosta riippuu maan ominaisuuksista sekä renkaan pintakuvioinnista. Matalaripaisen renkaan muotovälitteisen voimansiirron osuus on pienempi ja rengas vetää huonommin kuin korkearipainen.

3.2 Maan leikkauslujuus

Muotovälitteisessä voimansiirrossa hyödynnetään maan leikkauslujuutta renkaan pintakuvioinnin avulla. Maan leikkauslujuus tarkoittaa sitä, miten hyvin se kestäää kuormitusta murtumatta. Maan murtumista vastustavat sen sisäinen kitka sekä koheesivoimat. Maalajit jaotellaan leikkauslujuusominaisuuksien mukaan kahteen pääryhmään: kitka- ja koheesioimain. Esimerkiksi hiekka on kitkamaa ja savi koheesioimaa.

Maan leikkauslujuus (τ) voidaan määrittää Mohr-Coulomb'in kaavasta:

$$\tau_1 = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

Edellisessä kaavassa

c = maan koheesiokerroin [N/m^2]

σ = normaalijännitys [N/m^2]

φ = maan sisäinen kitkakulma [$^\circ$]

$\tan \varphi$ = maan sisäinen kitkakerroin

Kun kaavan kummatkin puolet kerrotaan kosketuspinnan alalla (A , m^2) saadaan maan suurin leikkausvoima ($F_{1\text{max}}$):

$$F_{1\text{max}} = Ac + F_n \tan \varphi \quad (2)$$

F_n = normaalivoima [N]

Kaavan 2 perusteella akselipainon suurentaminen lisää leikkausvoimaa kitkamailla. Koheesiomailla leikkausvoima riippuu leikkauspinta-alan koosta. Käytännössä maalajit ovat kuitenkin näiden ääritapausten sekoituksia.

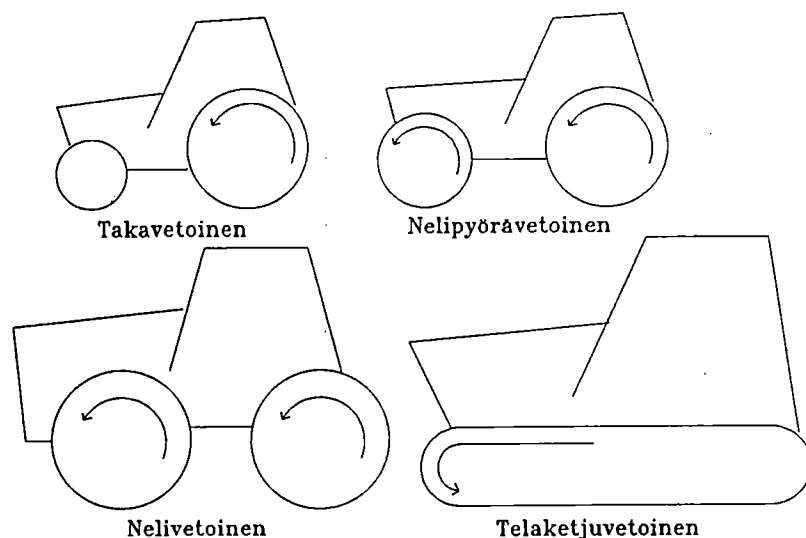
Myös tiivistymisalttius riippuu maan lujuudesta. Mitä lujempaa maa on sitä vaikeammin se tiivistyy. Kostuminen heikentää maan vastustuskykyä: kuiva maa on lujempaa kuin märkä. Toisin sanoen sama kuormitus tiivistää kuivaa maata vähemmän kuin kosteaa.

4. TRAKTORI

4.1 Traktorin vetotapa ja painon jakautuminen

Perinteisesti maataloustraktori on ollut nelipyöräinen, kaksiakselinen ja takapyörävetoinen. Tämä rakenne on yksinkertaisin ja halvin toteuttaa, mutta siinä on kuitenkin muutamia heikkouksia. Yleensä traktorin vetovoima suurenee, kun vetävän akselin kuormitusta lisätään. Takavetoisen traktorin painosta 25 - 40 % on kuitenkin etuakselilla eli sitä ei voida hyödyntää vedossa. Etuakselipainoa ei voida vähentää 20 %:sta traktorin ohjattavuuden kärsimättä. Lisäksi etupyörien vierintävastusvoima pienentää hyötykäyttöön saatavaa vetovoimaa.

Eurooppalainen nelivetotraktori on periaatteessa takavetoinen traktori, johon asennettu vetävä etuakseli (kuva 3). Amerikkalaiset kutsuvat sitä "etuvetoavusteiseksi" traktoriksi (mm. front wheel assist tractor). Meillä tutun nelivetotraktorin etupyörien halkaisija on 70 - 80 % takapyörien halkaisijasta ja noin 40 % traktorin painosta on etuakselilla. Takavetoiseen verrattuna nelivetotraktorin vetovoima on suurempi, koska nelivetoisen traktorin koko paino on vetävillä pyörillä. Amerikkalaisen nelivetotraktorin etu- ja takapyörät ovat yhtä suuret (kuva 3) ja paikallaan olevan traktorin painosta on yleensä 60 % etuakselilla.

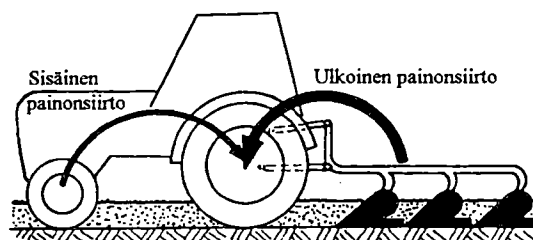


Kuva 3. Traktorityypit.

Suomen pelloilla telaketjutraktorit ovat harvinaisia. Traktorinvalmistajien mielenkiinto telaketjutraktoria kohtaan kasvaa kuitenkin jatkuvasti, koska sen vetokyky on hyvä ja keskimääräinen pintapaine on pieni. Muutamat valmistajat kehittävätkin kumiteloin varustettuja telatraktoreita.

4.2 Painonsiirto

Traktorin vetäessä siirtyy painoa taka-akselille (kuva 4), minkä vuoksi akselien kuormitukset vaihtelevat ajon aikana. Lisäpainoa saadaan esimerkiksi kannateltavalta työkoneelta. Traktorin painoa taas siirtyy etuakselilta taka-akselille momenttivaikutuksen ansiosta. Kun työkone on hinattava, pääosa painonsiirrosta on traktorin sisäistä.



Kuva 4. Painonsiirron periaate.

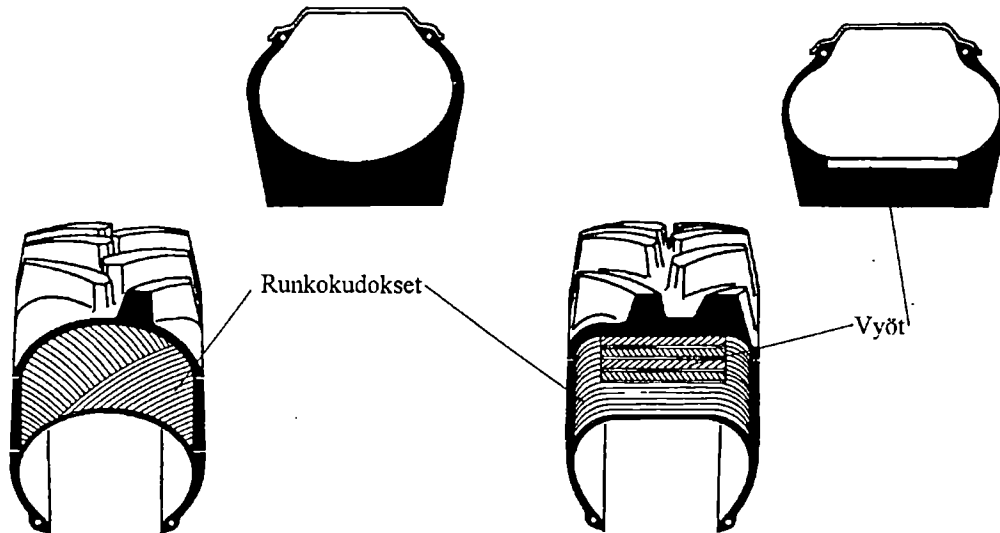
Takavetoinen traktori hyötyy selvästi sisäisestä painonsiirrosta, koska se lisää taka-akselin kuormitusta ja siten vetovoimaa. Painon siirtyminen pienentää etuakselipainoa, mikä puolestaan pienentää etupyörien vierintävastusvoimaa.

Akselipaino on tärkeä myös maan rakenteen kannalta. Määräähän akselipaino sen, kuinka syväälle maa tiivistyy. MTT:n kokeessa jo 5 tn:n akselipaino (rengaspaine 1,5 bar) tiivisti kostean savimaan kyntökerrosta syvemmälle. Tavoiteltaessa sitä, ettei kostea maa tiivisty 40 cm syvemmälle, akselipaino ei saa suositusten mukaan ylittää 6 tn ja teliakselipaino 8 tn.

5. RENKAAT

5.1 Renkaan rakenne

Traktorin ilmakumirenkaat voidaan jakaa rakenteen perusteella kahteen ryhmään: ristikudos- (cross-ply, diagonal) ja vyörenkaiisiin (radial). Ristikudosrenkaan runko rakentuu päällekkäisistä, ristikkäin ladotuista kudoksetkerroista (kuva 5). Kudoksetkerro muodostavat



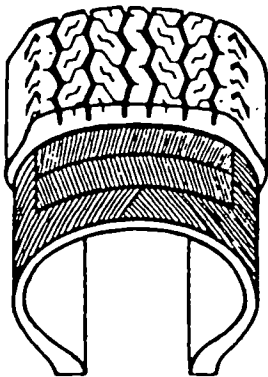
Kuva 5. Ristikudos- ja vyörenkaan rakenne.

renkaan keskilinjän kanssa kuduskulman, joka vaihtelee yleensä välillä $30^\circ - 40^\circ$. Kudokset vaikuttavat renkaan ilmanpaineen keston ja sitä kautta sen kantavuuteen.

Maatalouskäytössä ristikudosrenkaan hyviä puolia ovat kestävyys, kantavuus ja vakaat ajo-ominaisuudet. Lisäksi sen vahva rakenne kestää lähinnä metsäajossa runkoon kohdistuvia pistoja. Ristikudosrengas on kuitenkin jäykkä, mikä heikentää sen veto-ominaisuuksia. Jäykkä runko ei jousta edes rengaspainetta laskettaessa niin, että renkaan kosketuspinta myötäilisi alustaa tasaisesti. Niinpä pintapaine jakautuu epätasaisesti etenkin, kun rengaspaine on pieni. Pintapaine voi olla 2 - 3 kertaa suurempi renkaan kylkien alla kuin sen keskellä.

Vyörenkaan rungossa kuduskulma on yleensä 90° (kuva 5). Ko. kudusrunko joustaa liikaa vedossa ja jarrutuksessa. Vyörenkaan kudusrungon ja kulutuspinnan välissä onkin tukivöitä, jotka jäykistävät rengasta. Vyörenkaan hyvät puolet ovat usein samoja kuin ristikudosrenkaan huonot puolet. Vyörenkaan runko on joustava, mikä sallii tasaisen maakosketuksen. Vyörengas on myös pitkäikäinen, koska se kuluu tasaisesti. Renkaan jousto suurentaa yleensä sen kosketuspintaa, pienentää keskimääräistä pintapainetta sekä tasaa paineen jakautumista renkaan alla. Kun ajoalusta on pehmeä ja tarttuva, vyörengas

puhdistuu paremmin kuin ristikudosrengas, koska vyörengas "elää" joustavan runkonsa ansiosta. Lisäksi vyörenkaan vierintävastus on usein pienempi kuin ristikudosrenkaan, kun ajoalusta on pehmeä. Joustava runko on kuitenkin arka metsäajossa renkaan kylkiin kohdistuville pistoille.



Kuva 6. Puolivyörenkaan rakenne.

Kun ristikudos- ja vyörenkaan rakenteita yhdistetään, syntyy puolivyörengas (biasbelted, dia-belt, joskus myös cross-ply, kuva 6). Puolivyörenkaan runko muistuttaa ristikudosrenkaan runkoa. Sen kulutuspinnan alle on kuitenkin lisätty tukivöitä vyörenkaan tapaan. Puolivyörengas on melko jäykkä ja muistuttaaakin ominaisuuksiltaan ristikudosrengasta.

5.2 Kosketuspinnan kuvio

Kosketuspinnan kuvio on erittäin tärkeä ominaisuus, koska pito syntyy peltoajossa pääasiassa muotovälitteisesti. Kuviointi ratkaisee sen, miten maan leikkauslujuus pystytään hyödyntämään.

Traktorin vetävät renkaat ovat yleensä ripakuvioisia. Ripakulman vaikutus muotovälitteiseen pitoon on pieni. Kun ripojen välinen etäisyys kasvaa, rengas puhdistuu hyvin tarttuvalla maalla ajettaessa. Korkeat rivat puolestaan tunkeutuvat hyvin pehmeään savimaahan, mikä parantaa renkaan pitoa ja lisää sen vetovoimaa. Kovalla maalla ajettaessa korkeat rivat lisäävät kuitenkin renkaan vierintävastusta sekä aiheuttavat tärinää.

5.3 Renkaan koko

Kun traktorin rengaskokoa suurennetaan, renkaan ilmanpainetta voidaan yleensä laskea. Molemmat tekijät pienentävät keskimääräistä pintapainetta. Jos pintapaineen laskeminen estää renkaan liiallisen painumisen pehmeään maahan, renkaan vierintävastus pienenee ja vetohyötysuhde paranee.

Rengaskoon muutos heijastuu myös kosketuspinnan muotoon. Renkaan leventäminen kasvattaa kosketuspinnan leveyttä. Halkaisijan suurentaminen taas pidentää kosketuspintaa. Kosketuspinnan pidentäminen parantaa renkaan vetohyötysuhdetta. Kun kosketuspinta on lyhyt, saman voiman tuottaminen vaatii suuremman luiston kuin pinnan ollessa pitkä. Kosketuspinnan pituuden merkitys on suuri, kun luisto on pieni. Luiston kasvaessa sen merkitys vähenee ja suurin vetovoima onkin lähes riippumaton pinnan pituudesta, kunhan kosketuspinta-ala pidetään samana. Renkaan halkaisijan lisääminen pienentää myös vierintävastusta, kun rengas painuu maahan. Tämä parantaa osaltaan vetohyötysuhdetta. Vierintävastus on suuri huonosti kantavalla maalla. Kun renkaan halkaisija on suuri, se voi upota syvemmälle kuin halkaisijaltaan pieni rengas vierintävastuksen pysyessä samana.

Traktorin lokasuojat yms. rajoittavat usein renkaan halkaisijan suurentamista. Renkaan leventäminen lisää sen kantavuutta (ilmatilavuutta) tehokkaammin ja halvemmalla kuin halkaisijan suurentaminen. Renkaan leventäminen parantaa vetohyötysuhdetta, jos pintapaine saadaan niin pieneksi, että rengas ei painu maahan. Jos leveä rengas kuitenkin painuu maahan, vetohyötysuhde laskee nopeasti, koska leveän renkaan vierintävastusvoima on suuri (esim. puskuvastus) verrattuna kapean renkaan vastukseen.

Joskus renkaan on painuttava maahan, jotta traktori etenee pellolla. Syksyllä savimaan pinta on usein märkä ja pehmeä, mutta pinnan alla maa on usein kuivaa ja pitävää. Rengas vetää liukkaalla pinnalla huonosti, joten sen on tunkeuduttava alla olevaan lujaan maahan, josta se pystyy "ponnistamaan". Erityisen leveän renkaan kosketuspinta on suuri ja pintapaine alhainen. Rengas ei pysty tunkeutumaan kovaan maahan, vaan jää "kellumaan" pinnan ja pitävän pohjan välille. Lisäksi leveä rengas kerää vähänkin painuessaan eteensä "keula-aallon". Maa ei siirry leveän renkaan sivuille vaan kerääntyy sen eteen valliksi. Tämä puskuvastus vähentää entisestäänkin vetovoimaa, jolloin eteneminen saattaa loppua kokonaan.

Jos renkaan profiilisuhde pysyy samana, renkaan leventäminen suurentaa sen halkaisijaa tai pienentää vanteen halkaisijaa. Suuri sivukorkeus heikentää kuitenkin renkaan sivuttaisvakavuutta sekä tekee siitä vaurioalttiin. Kun rengasta halutaan leventää ilman, että sivukorkeus kasvaa kohtuuttomasti, voidaan profiilisuhdetta pienentää. Kun leveän matalaprofiilirenkaan ja vakiorenkaan halkaisija on sama, leveä rengas voidaan asentaa vakiorenkaan vanteelle. Tällainen matalaprofiilirengas on käyttökelpoinen vaikkapa nelipyörävetoisessa traktorissa, jonka etu- ja taka-akselin renkaiden kehänopeuksien suhde ei saa muuttua rengastusta vaihdettaessa. Tällöin etuakselille voidaan asentaa esimerkiksi takarenkaiden levyiset renkaat. Eturenkaat jättävät maahan takarenkaiden levyisen painuman, jossa maan leikkauslujuus on suurempi kuin koskemattomassa maassa. Leikkauslujuuden kasvaessa takarenkaiden pito paranee, mikä lisää traktorin vetovoimaa. Vetokykyä parantaa myös se, että eturenkaiden jättämä painuma pienentää takarenkaiden vierintävastusta.

5.4 Rengaspaine

Renkaan ilmanpaineen tehtävä on kuorman kantaminen. Renkaassa oleva ilmanpaine siis määrää renkaan kantavuuden. Kun kahden renkaan kuormitus on sama, suuri-ilmatilaisen renkaan ilmanpaine voi olla pienempi kuin pieni-ilmatilaisen. Osittain tähän perustuu matalaprofiilirenkaissa sallittu alhainen rengaspaine.

Paripyörien kantavuus on 1,76-kertainen yhden renkaan kantavuuteen verrattuna. Paripyöriä käytettäessä rengaspainetta voidaan ja pitääkin pienentää, jotta niiden käytöstä saadaan täysi hyöty irti.

Rengaspaineen muuttaminen on oikein tehtynä edullisin tapa parantaa renkaan ominaisuuksia. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että rengaspaine on lähellä oikeaa, kun kolme ripaa on yhtäaikaa maassa. Kun rengaspainetta pienennetään, renkaan kyljet joustavat. Paineen vähentäminen lisääkin kantavalla alustalla renkaan kosketuspinnan alaa, mikä pienentää keskimääräistä pintapainetta. Peltoajossa rengaspaineen pienentäminen lisää renkaan pitoa ja pienentää vierintävastusta parantaen näin renkaan veto-ominaisuuksia. Yleensä paineen alentaminen lieventää maan tiivistymistä.

Rengaspaine kannattaa aina huomioida verrattaessa rengaskokeiden tuloksia keskenään. Esimerkiksi ruotsalaisessa mittauksessa matalaprofiilirenkaalla (600/60-38, 0,8 bar) saavutettiin 35 % suurempi vetovoima kuin tavallisella vyörenkaalla (16.9R-38, 1,6 bar) luiston ollessa 15 % ja akselipainon 3000 kg. Vastaavasti suomalaisessa mittauksessa matalaprofiilirengas (600/55-38, 0,8 bar) saavutti 15 % pienemmän vetovoiman kuin tavallinen rengas (16.9-34, 0,8 bar), kun luisto oli 15 %.

6. MITTAUKSET VAKOLASSA

Keväällä ja syksyllä 1994 VAKOLAssa mitattiin neljän traktorinrenkaan veto- ja ajo-ominaisuuksia sekä niiden aiheuttama maan tiivistyminen. Veto-ominaisuudet ja tiivistyminen mitattiin pellolla. Ajo-ominaisuuksia tutkittiin tiellä esteen yli ajamalla.

6.1 Koealueet

Keväällä kokeet tehtiin touko-ajkaan. Tasausäestetyt hiesusaven pinta oli kuivahtanut ilma-kuivaksi, mutta pintakerroksen alapuolella maa oli kostea. Se äestettiin kertaalleen jousto-piikkiäkeellä juuri ennen vetomittauksia. Multamaa kuivui vasta kesäkuun puolella siinä määrin, että se kantoi koneet. Koealueen äestäminen vuorokautta ennen mittauksia nopeutti pinnan kuivumista. Mittausten jälkeen koealueet kylvömuokattiin ja kylvettiin ohralle.

Hiesusavikenttä oli puinnin jälkeen sänkenä lähes kuukauden, minkä aikana syysateet kastelivat maan n. 30 cm:n syvyyteen. Kostea savimaa olikin pinnasta pehmeää. Myöhään kylvetty multamaan kenttä puitiin päivää ennen syksyn mittauksia. Multamaa oli suhteellisen kuivaa 20 cm:n syvyyteen, minkä alapuolella maassa oli n. 10 cm:n kostea kerros. Multamaan kyntökerros oli syksyllä luja ja maa kantoi koneet hyvin.

6.2 Kokeissa olleet renkaat

Tutkimuksessa verrattiin neljää erilaista rengasta (kuva 7). Renkaiden tekniset tiedot ja hinnat esitetään taulukossa 1. Tauruksen rengasta ei testattu erikseen, vaan paripyöräasennuksena Michelin BIB'XM 18 kanssa. Vetotraktori oli Valmet 6400-4 (taulukko 2). Sen akselipainot pidettiin lisäpainojen avulla samoina kaikkia renkaita käytettäessä. Traktorin eturenkaiden ilmanpaine oli 0,7 bar ja etu- ja taka-akselien raideväli yhtäsuuri.

Vetotraktorin kokoisissa koneissa käytetään yleisesti 16.9R38-renkaita (Taurus AR1, Michelin BIB'XM 18). Michelin XM 108 ja Trelleborg Twin ovat matalaprofiilirenkaita. Niistä Michelin XM 108 on vyörengas, joka sopii traktorin vakio renkaiden vanteelle. Trelleborgin Twin on puolivyörengas, joka tarvitsee oman vanteen.

Paripyörien rengaspaine oli kokeissa 0,6 bar (60 kPa) ja muiden renkaiden 0,5 bar. Rengaspaine oli alhaisin paine, jonka renkaan maahantuojaja tai valmistaja salli renkaalle akselipainon ollessa 3100 kg ja kun renkaat joutuivat suuren vetokuormituksen alaisiksi. Maahantuojan mukaan Michelin XM 108:n paine olisi saanut olla 0,4 bar, mutta päädyimme käyttämään siinäkin 0,5 bar:n painetta. Vain tutkittaessa rengaspaineen vaikutusta veto-ominaisuuksiin em. renkaassa kokeiltiin 0,4 bar:n rengaspainetta.

Rengaspaineet olivat alhaisia. Trelleborg Twin sekä paripyörät olisivat kuitenkin kantaneet kyseisillä paineilla suuremman



| | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| PARIPYÖRÄ | | | |
| Taurus AR1 | Michelin BIB'XM 18 | Michelin XM 108 TL | Trelleborg Twin T414 |

Kuva 7. Kokeissa olleet renkaat

kuorman (taulukko 1), mutta valmistaja ei sallinut niille tämän alhaisempia paineita. Koska molemmat Michelinit toimivat yksittäin asennettuna lähempänä suurinta sallittua kuormitus-tansa, eivät niiden ilmanpaineet olleet täysin vertailukelpoisia Trelleborgin ja paripyörien kanssa.

Taulukko 1. Kokeissa olleiden renkaiden tekniset ominaisuudet.

| Ominaisuus | Kokeissa olleet renkaat | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|------|-----------------------|------|--------------------------|------|----------------------------------|------|
| | Michelin BIB'XM 18 | | Michelin XM 108 TL | | Trelleborg Twin T 414 | | Taurus AR1 | |
| Koko | 16.9 R-38 | | 540/65 R-38 | | 700/55-34 | | 16.9 R-38 | |
| Kudoskerros-/kanta- vuusluokka | 141 | | 142 | | 8PR | | 141 | |
| Rakenne | vyö | | vyö | | puolivyo | | vyö | |
| Sisären gas | tube type | | tubeless | | tubeless | | tube type | |
| Mitat, mm | | | | | | | | |
| Kokonaisleveys | 429 | | 530 | | 700 | | 429 | |
| Kuvion leveys | 390 | | 480 | | 700 | | 429 | |
| Ripakorkeus | 51 | | 46 | | 55 | | 51 | |
| Ripojen leveys | 35 | | 40 | | 50 | | 38/45 | |
| Vierintäsäde | 763 | | 759 | | 759 | | 746 | |
| Ripakulma, ° | 39-45-51 | | 38-48-56 | | 30-45-60 | | 35-50 | |
| Ripojen lkm | 42 | | 46 | | 38 | | 40 | |
| Suurin kantavuus, kg | 2355 | 2005 | 2650 | 2045 | 4145 | 2125 | 2380 | 1910 |
| Paine, bar | 1,4 | 0,5 | 1,4 | 0,5 | 1,1 | 0,5 | 1,4 | 0,6 |
| Nopeus, km/h | 40 | 10 | 40 | 10 | 10 | 40 | 40 | 10 |
| Hinta, mk^{a)} | 9565 | | 10019 | | 19115 | | Paripyörät 5000 +9565 (vakio) | |

a) Hinnat sisältävät renkaan (+sisärenkaan tarvittaessa), vanteen ja paripyörässä puolet levikepyöräsarjan (Raju) hinnasta.

Taulukko 2. Testitraktori Valmet 6400-4:n teknisiä tietoja.

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Moottorin teho, kW | 70 |
| Etuakselipaino, kg | 1900 |
| Taka-akselipaino, kg | 3100 |
| Kokonaispaino, kg | 5000 |
| Akseliväli, mm | 2330 |
| Vetopisteen korkeus maasta, mm | 500 |
| Eturenkaat Michelin BIB'XM 18 | 13.6 R-28 |

Kun viljelijä miettii koneensa rengas-paineita, hänen on tunnettava renkaita kulloinkin kuormittava akselipaino. Vedossa painoa siirtyy taka-akselille. Nostolaitteisiin kiinnitetty työkone lisää akselipainoa, kun se nostetaan ylös. Kuljetusajossa perävaunun aisa-paino kuormittaa traktoria. Rengas-

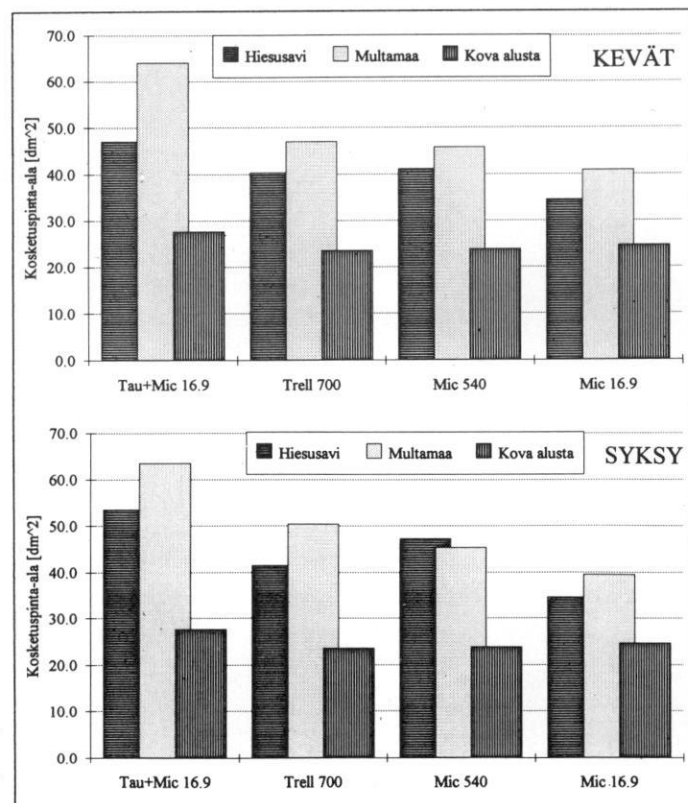
myyjiltä ja valmistajilta saa apua oikean rengaspaineen valinnassa. Heiltä on hyvä varmistaa, että ei käytetä liian alhaista rengaspainetta, koska se vaurioittaa rengasta. Toisaalta rengaspainetta ei kannata pitää liian korkeana.

6.3 Kosketuspinnan ala ja ajourien syvyys

Renkaan kosketuspinnan ala mitattiin sekä pellolla että kovalla alustalla. Pellolla renkaan ja alustan rajapintaan suihkutettiin spray-maalia. Tämän jälkeen traktori peruutettiin pois ja maalin ympäröimä alue piirrettiin muoville, josta ala mitattiin. Kovalla alustalla rengas nostettiin ylös ja sen ripoihin levitettiin väriainetta. Tämän jälkeen rengas laskettiin paperin päälle. Paperilta mitattiin ripojen muodostama ala, joka kuvasi sellaista kosketuspintaa, jossa rivat olisivat painuneet alustaan. Mittausmenetelmä oli karkea, mutta tulosten perusteella voitiin kuitenkin verrata renkaiden kosketuspintojen kokoa ja muotoa.

Renkaan kosketuspinta oli pellolla suurempi kuin kovalla alustalla (kuva 8), koska painuminen suurensi kosketuspintaa. Paripyörien kosketuspinta oli suurin. Pellolla se oli keskimäärin 52 % suurempi kuin Michelin 16.9 R-38:n ala. Matalaprofiilirenkaiden kosketuspintojen erot olivat pieniä. Niiden ala oli keskimäärin 20 % suurempi kuin Michelin 16.9 R-38:n ala.

Keskimääräinen pintapaine voidaan laskea jakamalla renkaan kuormitus sen kosketuspinnan alalla. Taulukossa 3 on esitetty kuvan 8 alojen perusteella lasketut pintapaineet. Ne ovat keskenään vertailukelpoisia mutta yksittäisinä lukuina todennäköisesti hieman liian pieniä pellolla mitattuna. Kovalla alustalla renkaan todellinen pintapaine on moninkertainen taulukossa esitettyyn, koska paino on ripojen päällä. Pellolla pintapaine oli pienempi kuin rengaspaine. Yksittäin asennettuna molemmat Michelinit joustivat paljon, mikä suurensi niiden kosketusalaa ja pienensi pintapainetta sekä pellolla että kovalla alustalla.



Kuva 8. Renkaiden kosketuspinnan ala pellolla ja kovalla alustalla.

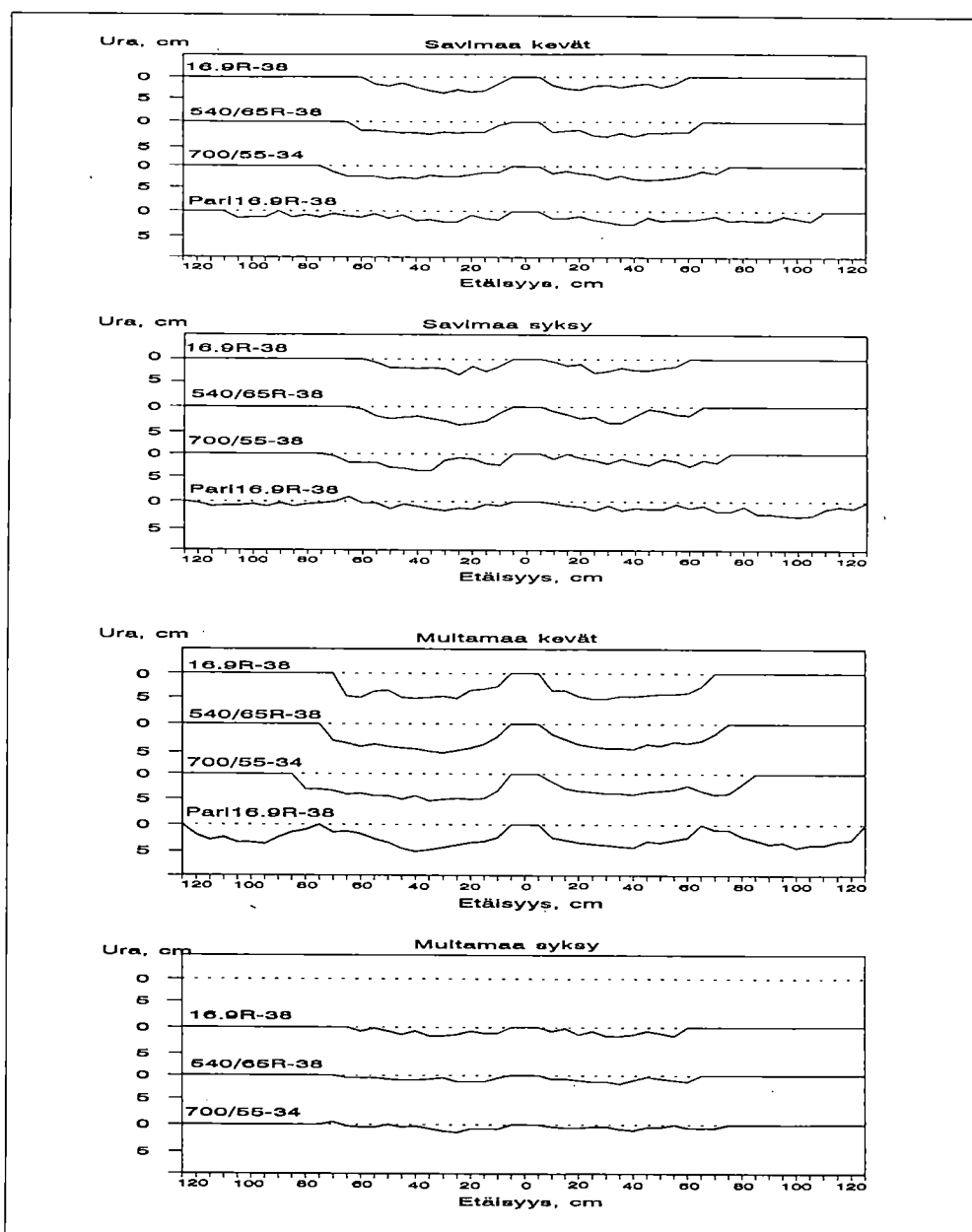
Taulukko 3. Keskimääräinen pintapaine pellolla kuvan 8 alojen perusteella laskettuna.

| Rengas | Keskimääräinen pintapaine (kPa) | | | | Kova alusta |
|----------------------|---------------------------------|-------|----------|-------|-------------|
| | Hiesusavi | | Multamaa | | |
| | Kevät | Syksy | Kevät | Syksy | |
| Michelin 16.9 R-38 | 44 | 44 | 37 | 38 | 62 |
| Michelin 540/65 R-38 | 37 | 32 | 33 | 33 | 64 |
| Trelleborg 700/55-34 | 38 | 37 | 32 | 30 | 63 |
| Paripyörät 16.9 R-38 | 32 | 28 | 24 | 24 | 54 |

Tiivistyskokeessa ajettiin kolmesti samassa urassa (ks. luku 6.5). Ajon jälkeen urien syvyys ja leveys mitattiin neulastolla, jossa oli kahden metrin matkalla 5 cm:n välein 60 cm pitkiä puikkoja. Neulasto painettiin maahan vakiosyvyydelle ja puikot vapautettiin. Sen jälkeen neulastosta otettiin valokuva, josta ajouran syvyys ja leveys mitattiin.

Multamaa oli keväällä löyhää ja ajourat olivat keskimäärin 3 - 4 cm syviä (kuva 9). Muilla kentillä ajourat olivat matalia. Paripyörien ura oli hieman muita renkaita matalampi, mutta renkaiden väliset erot olivat kuitenkin pieniä.

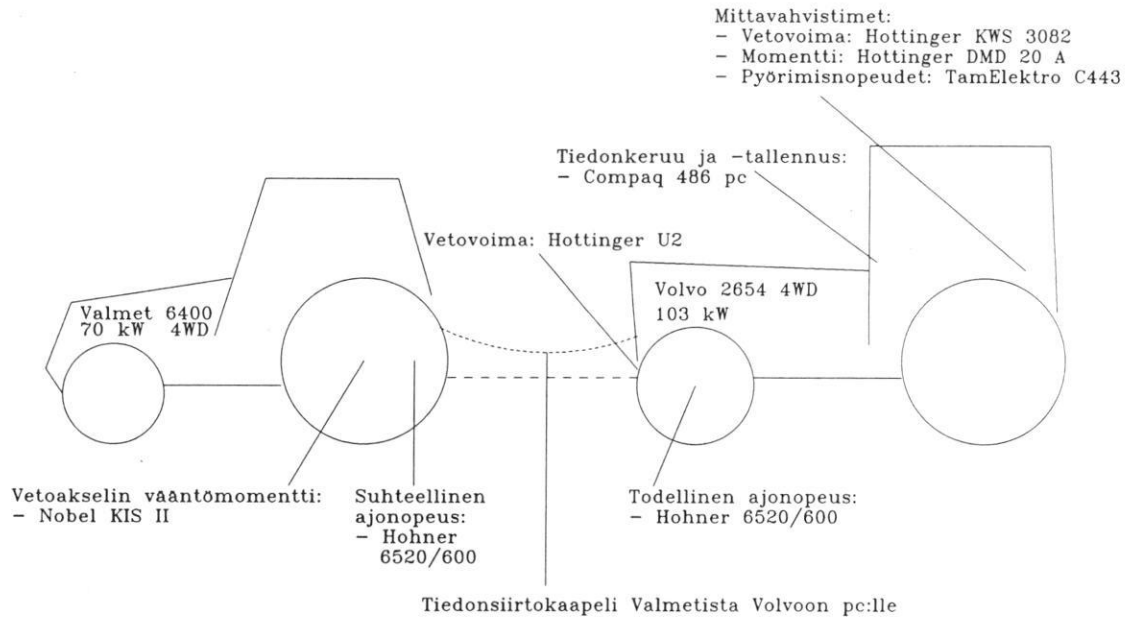
Eri renkaiden ajourien leveydessä oli selvät erot, kuten jo niiden kokoeroista voitiin päätellä. Michelin 16.9 R-38:een verrattuna paripyörien ajoura oli keskimäärin 98 %, Trelleborg 700/55-34:n 26 % ja Michelin 540/65 R-38:n 9 % leveämpi. Paripyörien uran pohja ei ollut tasainen: molemmat renkaat jättivät oman uran ja niiden välissä oli 'ajamaton-ta' maata (kuva 9).



Kuva 9. Renkaiden ajourien syvyys ja leveys kolmen ajokerran jälkeen.

6.4 Vetokokeet

Vetokokeiden mittauslaitteisto on esitetty kuvassa 10. Mittauksissa vetotraktori veti jarrutraktoria (kuva 11). Ajon aikana mitattiin traktorin vetovoima ja veto-ohyötysuhde luiston vaihdellessa. Lisäksi tutkittiin erikseen rengaspaineen vaikutusta veto-ominaisuuksiin. Traktorit olivat nelipyörävetoisia, mutta mittauksissa etupyöräveto oli kytketty pois.



Kuva 10. Vetokokeissa käytetty mittauslaitteisto.

Kunkin renkaan veto-ominaisuudet mitattiin vähintään kolmella 90 - 200 m pitkällä kaistalla. Kaistan alussa vetokoneen luisto oli pieni, mutta se kasvoi mittauksen aikana, kun vetokoneen kuormitusta lisättiin jarrutraktorista. Kaikkien renkaiden luisto oli enimmillään yli 40 %. Vetokone kävi koko ajan täydellä kaasulla ja sen vaihde valittiin niin, että ajonopeus moottorin nimellispyörimisnopeudella oli 6,5 km/h.

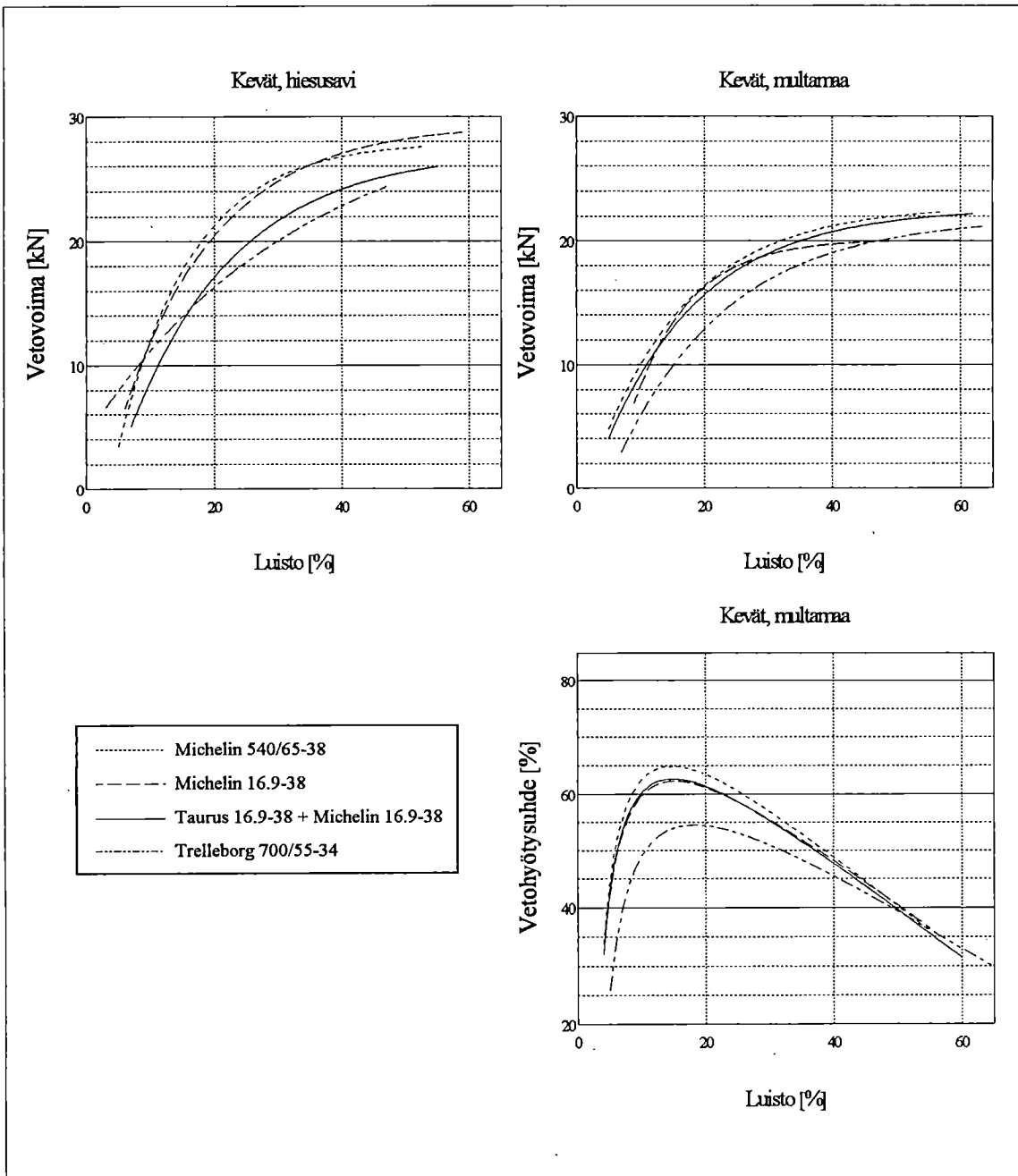


Kuva 11. Vetomittaus keväällä hiesusavikentällä.

6.4.1 Renkaiden vetovoima ja vetohyötysuhde

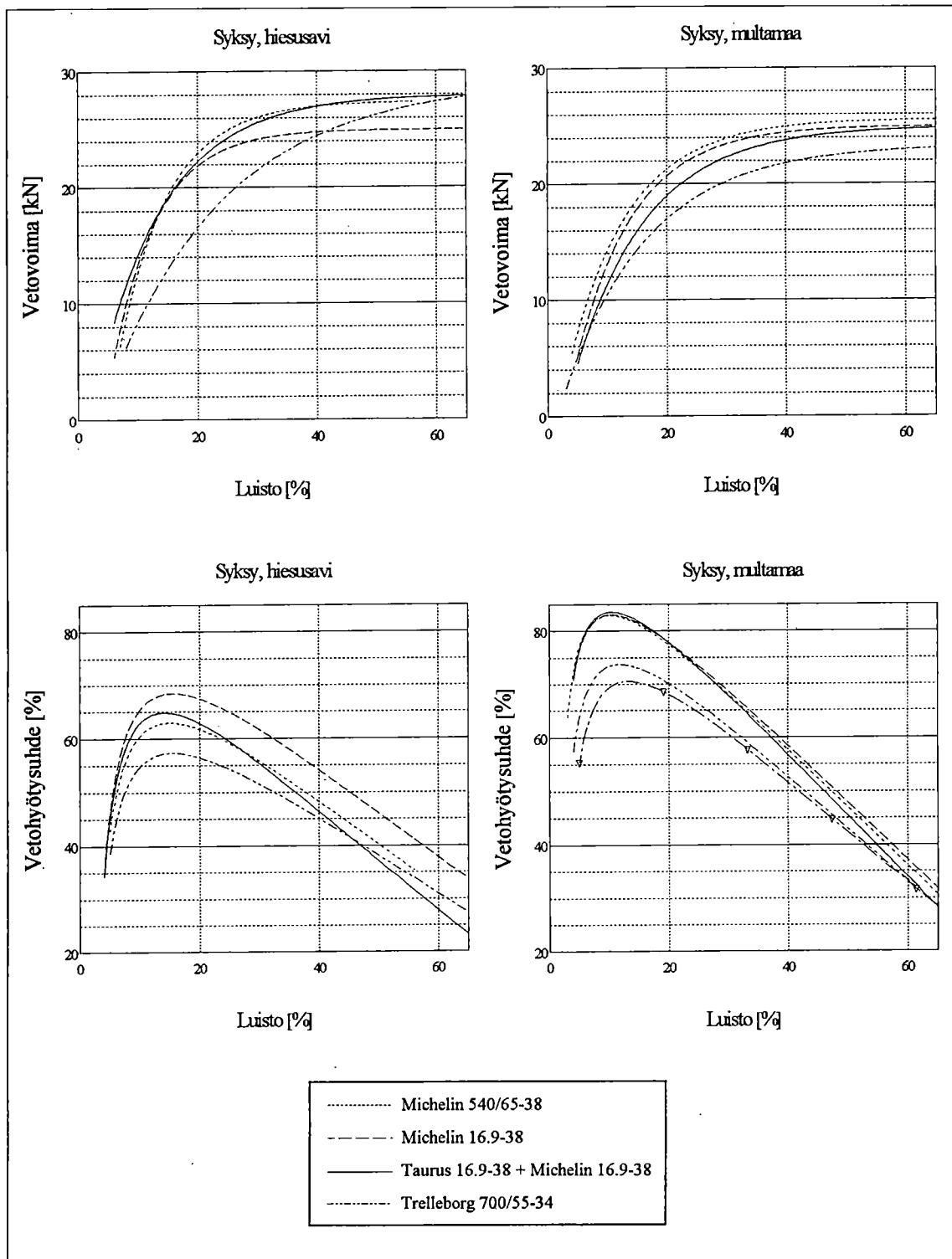
Kuvissa 12 ja 13 on esitetty vetokokeiden tulokset. Olosuhteet olivat kaikille renkaille samanlaiset, joten ne eivät vaikuttaneet renkaiden välisiin eroihin. Renkaat puhdistuivat kaikilla kentillä hyvin, joten sekään ei vaikuttanut renkaiden välisiin eroihin.

Normaaleissa pelto-oloissa vetovoimat, jotka savutetaan luiston ollessa alle 20 %, ovat merkittävimpiä. Turhan suuri luisto ei ole taloudellisesti eikä maan rakenteen kannalta järkevää. Asiaa voidaan ajatella vaikkapa seuraavasti: viiden tunnin työjakson aikana luiston ollessa 20 %, traktori pysyy periaatteessa paikallaan yhden tunnin, jolloin hyötykäyttöön saadaan vain neljä tuntia (tilanne luistotta).



Kuva 12. Renkaiden vetovoima ja vetohyötysuhde luiston vaihdellessa kertaalleen äestetyllä maalla.

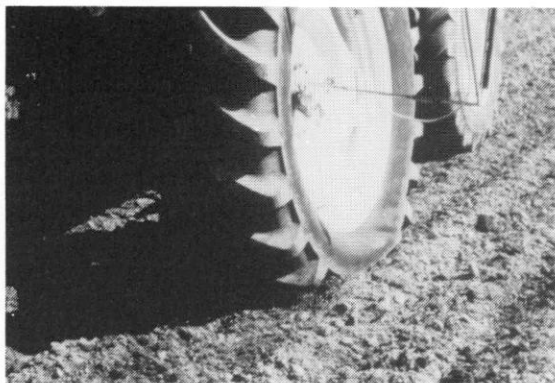
Kun luisto oli 20 %, yksittäisasennettujen vyörenkaiden vetovoima oli yleensä suurempi kuin muiden renkaiden (kuvat 12 ja 13). Niiden vetovoima oli n. 20 % suurempi kuin Trelleborg Twinin. Paripyörien tulos muihin renkaisiin verrattuna vaihteli kentittäin luiston ollessa 20 %, kuten kuvista 12 ja 13 nähdään. Kun luisto oli 20 %, vyörenkaiden vetovoima oli 70 - 80 % niiden suurimmasta vetovoimasta, paripyörien 65 - 80 % ja Twinin 65 - 75 %.



Kuva 13. Renkaiden vetovoima ja vetohyötysuhde luiston vaihdella sänkipellolla.

Kun luisto oli suuri, renkaiden väliset erot eivät olleet millään kentällä oleellisia. Kaikkien renkaiden suurin vetovoima olikin samaa suuruusluokkaa (kuvat 12 ja 13).

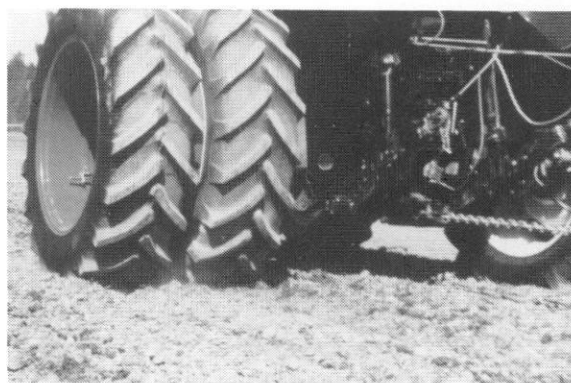
Paripyörän ja Twinin muita huonompaan vetotulokseen, kun luisto oli pieni, oli useita syitä. Keväällä hiesusavikentällä ne eivät todennäköisesti pystyneet tunkeutumaan noin 5 cm paksun äestyskerroksen läpi lujaan maahan (kuva 14). Luiston ollessa pieni nämä kosketuspinnaltaan lyhyet renkaat eivät pystyneet siirtämään irtonaista maakerrosta lujan maan päältä. Toinen ongelma lienee pintapaine. Paripyörien pintapaine oli muiden renkaiden pintapainetta alhaisempi (taulukko 3). Twinin pintapaine taas jakaantuu epätasaisesti kosketuspinnalle renkaan jäykästä runkorakenteesta johtuen. Kun pintapaine oli alhainen ja/tai epätasaisesti jakaantunut, rengas ei tunkeutunut huonosti pitävän maakerroksen läpi luiston ollessa pieni.



Michelin 540/65 R-38



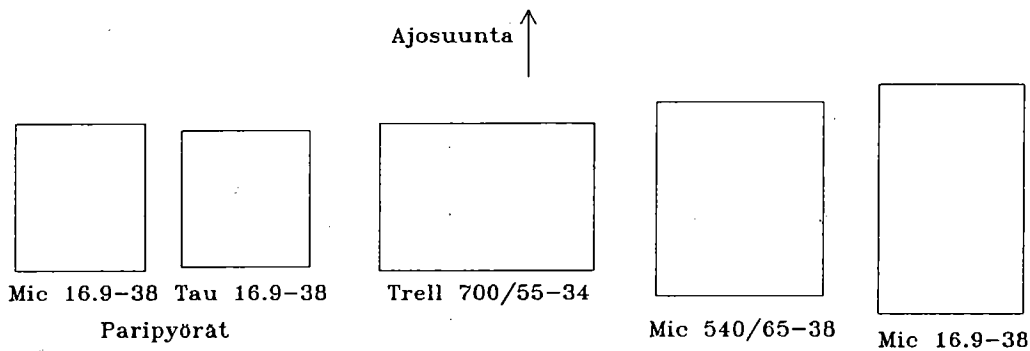
Trelleborg 700/55-34



Taurus 16.9 R-38, Michelin 16.9 R-38

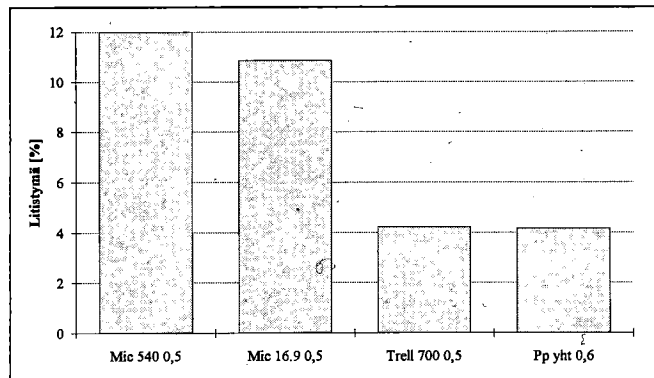
Kuva 14. Michelin 540/65 R-38, paripyörä ja Trelleborg 700/55-34 vetävät äestetyllä hiesusavella.

Muilla koekentillä Trelleborgin muita huonompaan vetovoimaan luiston ollessa 20 % lienee ollut syynä kosketuspinnan lyhyys (kuva 15) sekä epätäydellinen maakosketus. Jos pintapaine jakaantuu epätasaisesti, renkaan maakosketus on epätäydellinen, eikä vetovoima kehity tasaisesti renkaan ja maan välissä. Paripyörä ei kärsi aina kosketuspinnan lyhydestä. Sen kosketuspinta muodostuu kahden erillisen renkaan kosketuspinnasta, jotka ovat periaatteessa toisistaan riippumattomia. Paripyörän kosketuspintojen pituus/leveys-suhde on huomattavasti esimerkiksi Twiniä suurempi, jolloin sen ominaisuudet alkavat muistuttaa kapeaa rengasta. Paripyörän pintapaine on kuitenkin aina pienempi kuin samankokoisen yksittäispyörän, mikä heikentää paripyörän veto-ominaisuuksia tietyissä oloissa.



Kuva 15. Renkaan kosketuspinnan suhteellinen muoto kovalla alustalla.

Paripyörä ja Twin olisivat maahan-
tuojojen suosittelemilla rengaspaineilla
kantaneet huomattavasti suuremman-
kin kuorman. Paripyörän kantavuus-
deksi Taurus, kuten useat muutkin
valmistajat, antavat 1,76-kertaisen
kuorman yksittäispyörään verrattuna.
Twin kantaa vahvan runkonsa sekä
suuren ilmatilavuutensa vuoksi suu-
remman kuorman kuin normaalit



Kuva 16. Renkaan painuma kovalla alustalla.

vyörenkaat. Taulukossa 1 on esitetty muutamia koerenkaiden kantavuuksia. Vaikka paripyörä ja Twin kantavatkin suurempia kuormia kuin muut renkaat, ei valmistaja suosittele niille alhaisempia rengaspaineita kuin kokeissa käytetyt. Koska paripyörien ja Twinin kantavuus oli muita suurempi, niiden runko ei joutanut kovinkaan paljoa (kuva 16). Tämä vaikuttaa kosketuspinnan muotoutumiseen (tasaisuuteen) maata vasten ja myös renkaan puhdistuvuuteen huonoissa oloissa.

Vetohyötysuhteeseen (kuvat 12 ja 13) vaikuttavat luisto sekä vierintävastus- ja vetovoiman suhde. Vetohyötysuhteen suurin arvo saavutetaan normaalisti luistoalueella 5 - 20 %. Pelto-oloissa yli 70 %:n vetohyötysuhde on hyvä. Tähän päästiin syksyllä molemmilla kentillä.

Keväällä multamaalla vetohyötysuhteet jäivät alle 70 %:n (kuva 12). Maa oli hyvin pehmeää ja renkaat painuivat selvästi enemmän kuin muilla koelohkoilla (kuva 9), mikä lisäsi luonnollisesti renkaiden vierintävastusta. Twinin vetohyötysuhde oli huonompi kuin muiden renkaiden. Sen vetohyötysuhde kärsii ilmeisesti vetovoiman hitaasta kasvusta luiston lisääntyessä (kuva 12). Lisäksi Twinin vierintävastus oli luultavasti muita renkaita suurempi osittaisesta ristikudossrakenteesta johtuen.

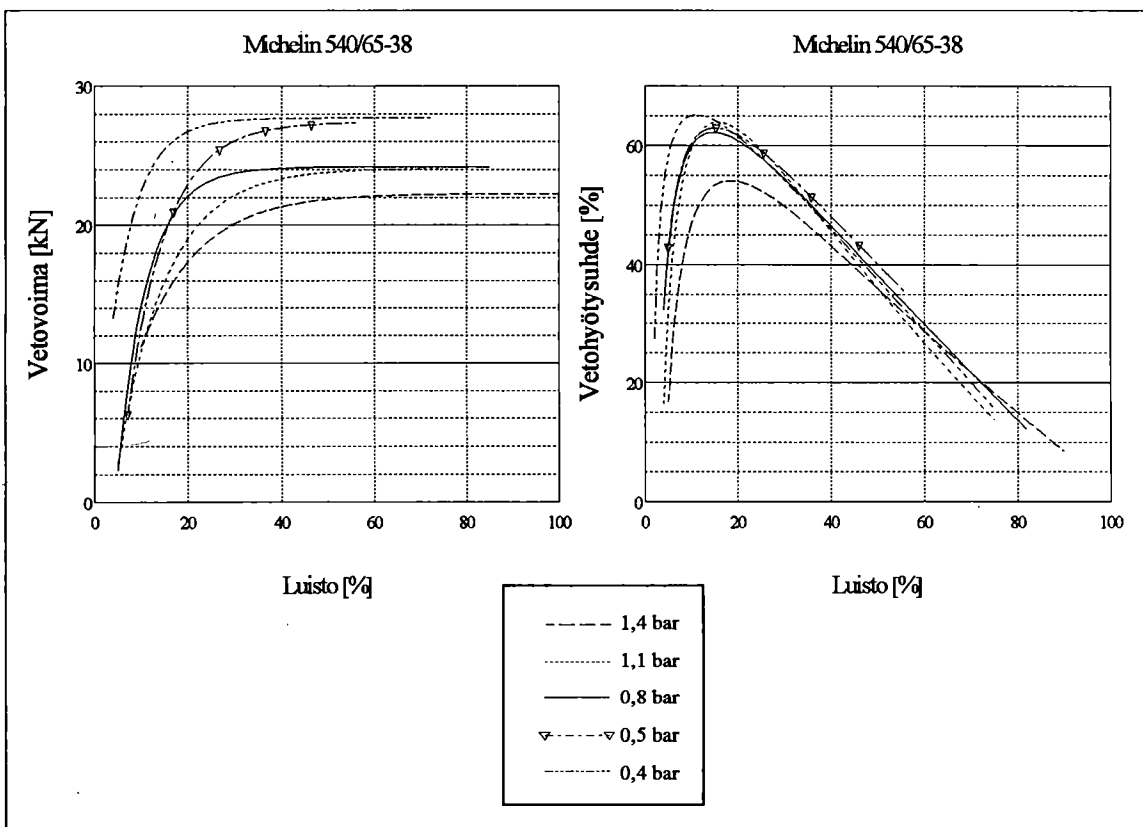
Hieman yllättävää oli, että Michelin 540/65 R-38:n vetohyötysuhde oli 10 % huonompi kuin Michelin 16.9 R-38:n hiesusavella syksyllä (kuva 13). Koska molempien renkaiden vetovoima kehittyi hyvin samanlaisesti, leveän Michelin 540/65 R-38 vierintävastuksen täytyi olla suurempi kuin kapean vakiorenkaan.

Syksyllä multamaalla saavutetut vetohyötysuhteet olivat lähes epäilyttävän hyviä (kuva 13). Renkaat kuitenkin painuivat kantavaan maahan erittäin vähän (kuva 9), mikä

pienensi niiden vierintävastusta. Lisäksi vetovoimat kasvoivat nopeasti luiston lisääntyessä. Kun vierintävastus on pieni, ja vetovoima kehittyy nopeasti luiston suhteen, vetohyötysuhde saa hyviä arvoja.

6.4.2 Rengaspaineen vaikutus veto-ominaisuuksiin

Syksyllä tutkittiin rengaspaineen vaikutusta renkaan veto-ominaisuuksiin hiesusavikentällä. Michelin 540/65 R-38 mittaustulokset esitetään kuvassa 17. Rengaspainetta alentamalla voidaan parantaa selvästi renkaan vetokykyä. Esimerkiksi, kun luisto oli 20 % ja Michelinin rengaspaine 0,4 bar, sen vetovoima oli 50 % suurempi kuin paineen ollessa 1,4 bar. Kun rengaspainetta alennettiin, myös suurin saavutettu vetovoima kasvoi (kuva 17). Kun rengaspainetta pienennettiin, rengas jousti ja sen kosketuspinta piteni (kuva 18), mikä lisäsi vetovoimaa luiston ollessa pieni.



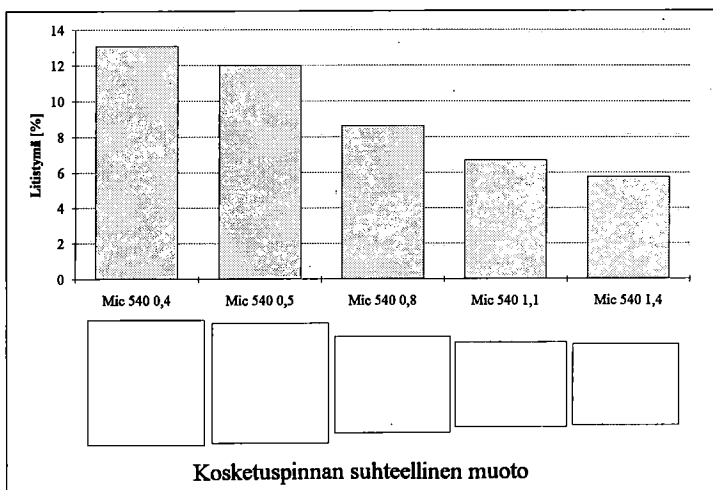
Kuva 17. Rengaspaineen vaikutus Michelin 540/65 R-38:n vetovoimaan ja -hyötysuhteeseen luiston vaihdelta. Mittaukset tehtiin hiesusavella syksyllä.

Rengaspaineen pienentäminen paransi myös Michelin 540/65 R-38:n vetohyötysuhdetta (kuva 17). Kun rengaspaine oli alhainen, rengas saavutti vetohyötysuhteen huipun pienemmällä luistolla kuin rengaspaineen ollessa korkea. Yllättävää oli, että kolmen välipaineen vetohyötysuhde oli lähes sama. Tähän oli syynä ilmeisesti veto- ja vierintävastuksen muutossuhteet.

Syksyllä mitattiin rengaspaineen alentamisen vaikutusta myös Trelleborg Twinin vetokykyyn hiesusavella. Twinin valmistajan sallima alin rengaspaine oli 0,5 bar. Koska rengas kantoi 1550 kg:n kuorman vaivatta ilman näkyvää joustoa ko. paineella, laskettiin paine

omavaltaisesti 0,25 bariin. Renkas ei silmävaraisen arvion perusteella kärsinyt näin alhaisesta paineesta. Kaikki renkaan vaurioitumiseen johtavat seikat eivät kuitenkaan näy päälle päin, joten rengaspainetta ei ole syytä alentaa alle valmistajan antamien rajojen. Rengaspaineen alentaminen lisäsi myös Twinin vetovoimaa selvästi, noin 30 %, luiston ollessa 20 %. Twinin vetohyötysuhteeseen rengaspaineen alentaminen ei vaikuttanut.

Kuva 18. Michelin 540/65 R-38:n kosketuspinnan suhteellinen muoto ja renkaan litistymä (% säteestä) rengaspaineen vaihdellessa kovalla alustalla.



6.5 Tiivistyskokeet

Tiivistyskokeessa traktorilla ajettiin kolme kertaa samassa ajourassa. Ajonopeus oli sama

kuin vetokokeissakin. Jokaisella renkaalla ajettiin neljässä ruudussa. Ajon jälkeen mitattiin maan mekaaninen vastus ajouraan nähden kohtisuoralta linjalta neljän metrin matkalta. Hiesusavella vastus mitattiin 5 cm:n (80 pistoa/ruutu) ja multamaalla 10 cm:n välein. Mekaaninen vastus mitattiin kartiokärkisellä penetrometrillä, joka mittasi kartion maahan painamiseen tarvittun voiman 37 cm:n syvyyteen 2,5 cm:n välein. Hiesusavikentällä käytettiin halkaisijaltaan 12,8 mm:n ja multamaalla 20,4 mm:n kartiokärkeä. Voima jaettiin kartion halkaisijan alalla, jolloin saatiin mekaaninen vastus MPa:na (1 MPa = 1000 kPa = 10 bar). Kun vastus oli 1 MPa, tarvittiin 13 kg:n paino (127 N:n voima), jotta 12,8 mm:n kärki meni maahan.

Maan mekaaninen vastus kuvaa maan lujuutta. Kostean maan vastus on pienempi kuin kuivan. Ennen tiivistämistä mitattiin maan kosteus ja mekaaninen vastus jokaisesta ruudusta. Mittausten mukaan olosuhteet eivät merkittävästi poikenneet renkaiden välillä.

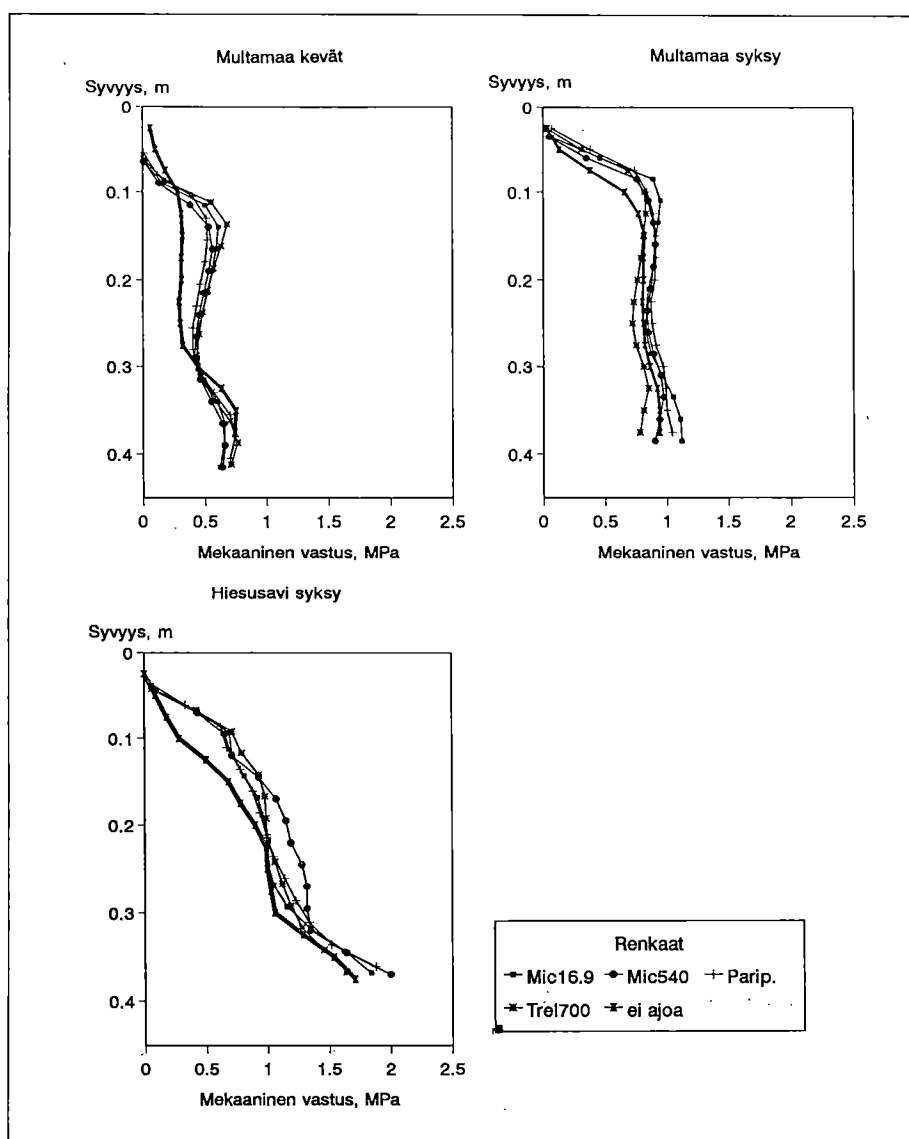
Kuvassa 19 on verrattu maan mekaanista vastusta ennen ajoa ja sen jälkeen. Ajon jälkeinen vastus laskettiin ajourista (kuva 9) mitattujen pistojen keskiarvona. Kaikki renkaat tiivistivät kyntökerrosta. Tiivistymä oli voimakkain 5 - 10 cm renkaan alapuolella. Syksyllä multamaa oli lujaa ja kantavaa, joten tiivistymä rajoittui 10 - 12 cm syvyyteen (kuva 19). Keväällä löyhä multamaa tiivistyi kyntökerroksessa. Kaiken kaikkiaan multamaan tiivistymä oli lievä, sillä sen mekaaninen vastus oli tiivistämisen jälkeenkin pieni.

Hiesusaven kyntökerros oli syksyllä kostea ja pinta pehmeä. Eri renkaiden ajouran tiiveydessä ei ollut merkittäviä eroja uran pinnasta 15 cm:n syvyyteen, mutta siitä kyntökerroksen pohjaan asti Michelin 540/65 R-38:n urissa mekaaninen vastus oli suurempi kuin muiden renkaiden urissa (kuva 19). Michelinien välinen ero johtui hyvin todennäköisesti siitä, että Michelin 540/65 R-38:n mittauspainoissa maa oli alun alkaen lujempaa kuin

Michelin 16.9 R-38:n mittauspaikeissa. Edellä todettiin, että ennen tiivistämistä tehtyjen mittausten mukaan ruutujen välillä ei ollut merkittäviä eroja. Tiivistymismittaukset tehtiin kuitenkin pieneltä alueelta (4 m:n matka/ruutu), jolloin maan vaihtelu mittauskohdittain korostui. Muiden renkaiden osalta lujuuseroa Michelin 540/65 R-38:een ei näiden mittausten pohjalta voitu yksilöidä.

Ajouran mekaanisessa vastuksessa (kuva 19) eri renkailla tehdyn tiivistyksen jälkeen ei ollut merkittäviä eroja. Tämä oli odotettua, sillä kaikkien renkaiden ilmanpaine ja keskimääräinen pintapaine (taulukko 3) olivat alhaisia. Rengaspaineet olivat sopivan alhaiset maan tiivistymisen ehkäisemiseksi. Suositusten mukaanhan rengaspaine ei saisi ylittää 0,4 - 0,8 baria, kun ajetaan herkästi tiivistyvällä maalla. Koekentistä multamaa oli keväällä ja hiesusaven kyntökerros syksyllä helposti tiivistyvää.

Renkaiden ominaisuudet olivat erilaiset siinä, kuinka suuren alan ne tiivistivät yhdellä ajokerralla (kuva 8). Leveä rengas tiivisti tietysti kerralla suuremman alan kuin kapea. Leveä tiivistysjälki on etu keväällä, jolloin suositellaan kynnöksen lievää tasaista tiivistymistä.



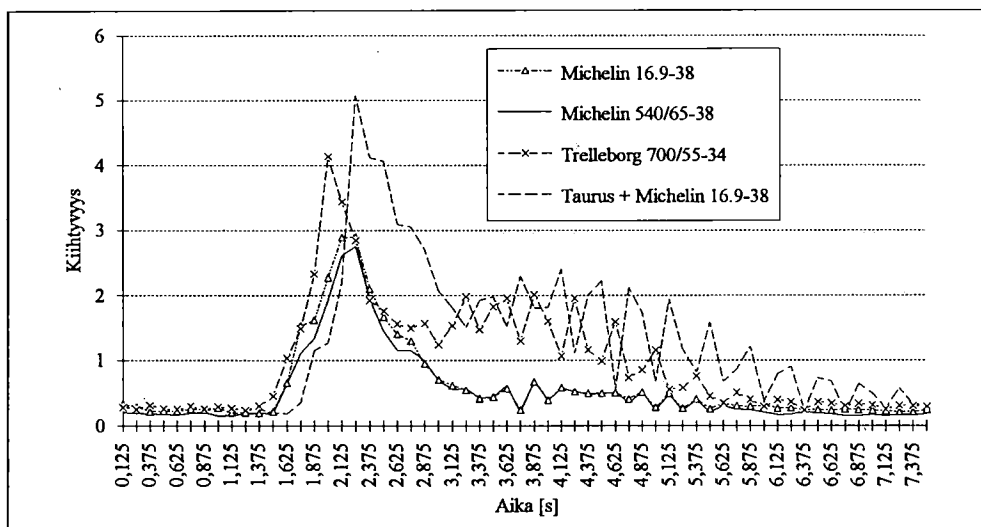
Kuva 19. Maan mekaaninen vastus ajourassa kolmen ajokerran jälkeen ja ennen ajoa.

6.6 Renkaiden ajettavuus

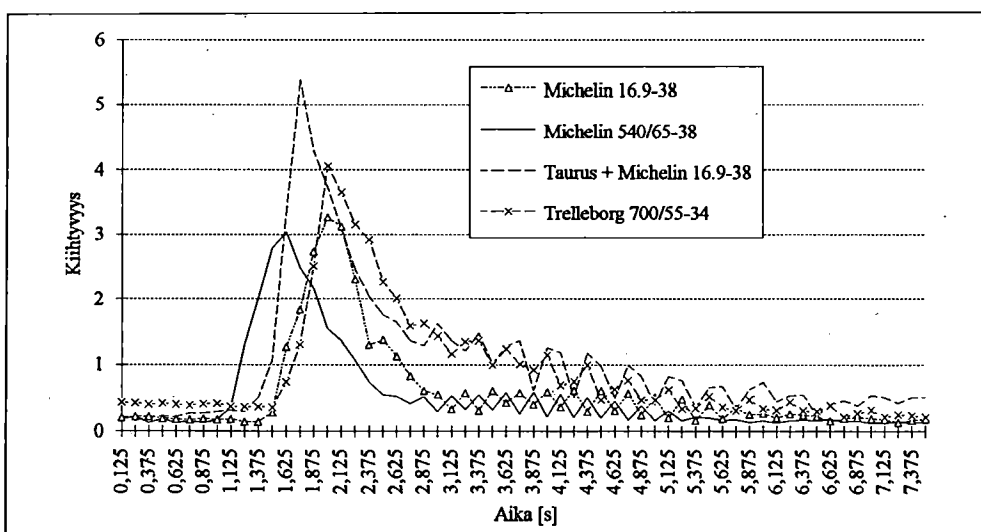
Ajettavuuskoe tehtiin suoralla asfaltoidulla tiellä esteen yli ajaen. Siinä tutkittiin yksittäisen esteen aiheuttamaa traktorin heiluntaa sekä renkaan kykyä vaimentaa alkanut heilunta. Tielle kiinnitettiin ajosuuntaan nähden poikittainen este, jonka korkeus oli 7,5 ja leveys 10 cm. Esteen yli ajettiin 21 km/h ja 30 km/h nopeuksilla.

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty ajan funktiona esteen aiheuttama kiihtyvyys, joka kohdistui traktorin runkoon. Renkaan jäykkyys vaikutti selvästi sen absorptiokykyyn. Paripyörän kantavuus oli verratuista renkaista suurin ja litistymä sama kuin Twinin eli joukon pienin (taulukko 1 ja kuva 16). Myös Twin olisi kantanut suuremman kuorman kuin kokeessa käytettiin. Yksittäisasennetut vyörenkaat toimivat kantavuussuosituksen ääripäässä kokeessa, jossa ajonopeus oli 30 km/h.

Paripyörä aiheutti traktoriin suurimman hetkellisen kiihtyvyyden (kuvat 20 ja 21). Twinin aiheuttama kiihtyvyys oli 20 % ja vyörenkaiden 40 % paripyörää pienempi.



Kuva 20. Esteen aiheuttama kiihtyvyys (m/s^2), kun ajonopeus oli 21 km/h.



Kuva 21. Esteen aiheuttama kiihtyvyys (m/s^2), kun ajonopeus oli 30 km/h.

Esteen aiheuttama jälkiheilunta on kuljettajan kannalta tärkeämpi kuin hetkellinen suurin kiihtyvyys, koska suurin kiihtyvyys on erittäin lyhytaikainen. Kun ajonopeus oli 21 km/h, paripyörän aiheuttama jälkiheilunta oli tuntuva (kuva 20). Myös Twin aiheutti suurehkon jälkiheilunnan, joka oli kuitenkin paripyörän aiheuttamaa lievempää ja tasoittui hieman sitä nopeammin. Yksittäisasennettujen vyörenkaiden aiheuttama jälkiheilunta oli tuntuvasti paripyörän ja Twinin aiheuttamaa heiluntaa vähäisempää. Kun ajonopeus oli 30 km/h, paripyörän aiheuttama jälkiheilunta oli selvästi pienempää kuin nopeuden ollessa 21 km/h (kuvat 20 ja 21). Ajonopeuden lisäys pienensi myös Twinin aiheuttamaa jälkiheiluntaa.

Rengas joutuu esteen kohdatessaan joko nostamaan traktoria ylöspäin tai muuttamaan muotoaan, jolloin este painuu renkaan sisään. Ajonopeuden lisääntyessä aika esteen ylittämiseen lyhenee. Renkaan energia ei riitä nostamaan traktoria kovin lyhyessä ajassa ylöspäin. Tällöin rengas joutuu "nielemään" esteen. Pehmeä rengas vastustaa muodonmuutosta vähemmän kuin jäykkä. Tämä selittää jälkiheilunnan erot käytettäessä eri ajonopeuksia ja renkaiden. Jos rengas pystyy nostamaan traktorin ylöspäin, traktorin putoaminen esteen jälkeen aiheuttaa sitä suuremman jälkiheilunnan mitä korkeammalle rengas kykenee traktorin nostamaan. Jos rengas ei muuta paljoa muotoaan, se vaimentaa alkaneen heilunnan hitaasti, jolloin traktori jää pomppimaan.

Tavallisessa tieajossa renkaiden vaikutusta traktorin ajettavuuteen arvioitiin kuljettajan tuntemusten perusteella. Kun alla oli paripyörät tai Trelleborg Twinit, traktori kulki tasaisesti ja oli 'tukevan' tuntuinen. Traktori kulki levottomasti, kun ajettiin Michelin 16.9 R-38:llä ja rengaspaine oli 0,5 bar. Michelin 540/65 R-38:llä ajettaessa traktorin nyökkimistäipumus ja sivuttaisheilunta kasvoivat Michelin 16.9 R-38:een verrattuna.

7. YHTEENVETO

Renkaan valinta ei ole koskaan täysin yksiselitteinen asia. Jokaisella renkaalla on hyviä sekä huonoja ominaisuuksia, eikä renkaiden valintaa voida asettaa paremmuusjärjestykseen pelkästään yhden tai kahden ominaisuuden perusteella. Oikea rengas onkin käytännössä aina kompromissi. Renkaan valinnassa tärkeimpiä asioita ovat käyttökohde ja -tarkoitus sekä hinta.

Renkaat eivät yksinään ratkaise esimerkiksi maan tiivistymistä tai traktorin vetokykyä. Niihin vaikuttavat merkittävästi myös olosuhteet ja renkaan käyttötapa. Vaikka rengaskoon suurentaminen (pintapaineen alentaminen) pienentää maan tiivistymisriskiä, se ei poista maan kosteuden vaikutusta tiivistymiseen. Märkä maa tiivistyy helposti ja jo pienikin paine voi rikkoa sen rakenteen. Käyttötavasta on hyvä esimerkki rengaspaineen alentaminen. Se parantaa yleensä traktorin vetokykyä, kuten mittaukset osoittivat.

Kokeisiin osallistuneet renkaat olivat rakenteeltaan erilaisia. Valitut merkit ovat vain otos markkinoilla olevista renkaista, eikä VAKOLA tutkinut merkkien välisiä eroja vaan nimenomaan tyyppien välisiä eroja. Rengaskoko valittiin traktorin, Valmet 6400-4, perusteella. Kokeissa verrattiin traktorin renkaiden, mutta myös muiden koneiden (leikkupuimuri, työkoneet, perävaunut) rengastukseen on kiinnitettävä huomiota.

Kokeissa ei ollut yhtään huonoa rengasta. Kaikki renkaat tiivistivät lievästi kyntökerrosta, kun paripyörien rengaspaine oli 0,6 bar ja muiden renkaiden 0,5 bar. Ero oli siinä, kuinka suuren osan pellostä ne ajokerran aikana tiivistivät: mitä leveämpi rengastus oli sitä suuremman alan se tiivisti. Seuraavassa yhteenveto rengastyypin muista ominaisuuksista.

Normaali vyörengas

Michelin BIB'XM 18 (koko 16.9R-38) edusti kokeissa normaalia vyörengasta. Renkaan valmistajan mukaan se soveltuu kaikkiin maataloustöihin. Ko. renkaan kosketuspinta oli kokeilluista renkaista kapein ja pisin. Tästä syystä renkaan vetohyötysuhde oli yleensä hyvä ja se kehitti hyvän vetovoiman luiston ollessa pieni. Vyörenkaan runko on ohut ja joustava, minkä vuoksi:

- pintapaine jakaantuu tasaisesti koko kosketuspinnalle
- rengas 'elää' ajon aikana, mikä parantaa sen puhdistuvuutta huonoissa oloissa
- renkaan maakosketus on tasainen, minkä vuoksi sen kulutuskestävyys on hyvä
- kuljetusajossa rengas on joustava
- renkaan kyljet ovat heikot. Metsätöissä vyörengasta voi käyttää vain valmistajan niin salliessa, sillä sen kyljet ovat arat pistokuormituksille.

Rengaspaineen muuttaminen vaikuttaa renkaan ominaisuuksiin. Kun paine on korkea, renkaan kantavuus lisääntyy ja sen kylkien kestävyys pistekuormia vastaan paranee hieman. Toisaalta muut edellä luetellut ominaisuudet heikkenevät. Sopivia käyttötarkoituksia renkaalle ovat esimerkiksi:

- vetovoimaa vaativat työt, joissa olosuhteet saattavat olla huonot, ja joissa renkaan leveydelle on olemassa rajoituksia (esim. kyntö)
- muut renkaan leveyttä rajoittavat työt (esim. kasvinsuojelu ja riviviljely)
- työt, joissa maan pintakerros ei saa rikkoutua (esim. nurmirehunkorjuu).

Matalaprofiilinen vyörengas

Michelin XM 108 (koko 540/65R-38) edusti matalaprofiilista vyörengasta. Renkaan valmistajan mukaan se on suunniteltu sopiviksi kaikkiin maataloustöihin. Renkaan ominaisuudet ovat hyvin samanlaiset kuin normaalin vyörenkaankin. Matalaprofiilisen vyörenkaan erot ovat:

- se on vakioirengasta leveämpi muiden mittojen (vanteen ja renkaan ulkohalkaisija) ollessa samoja. Tämän vuoksi renkaan ilmatilavuus on suurempi eli renkaan kantavuus on suurempi kuin vakioirengaan rengaspaineen ollessa sama. Renkaan ilmanpaine voi siis olla alhaisempi kuin vakioirengaan, kun akselipaino on sama
- renkaan kosketuspinnan profiili on kuormittamattomana usein vakioirengasta tasaisempi, mikä ainakin teoriassa pienentää renkaan vierintävastusta.

Käyttötarkoitukset matalaprofiilivyörenkaalle ovat esimerkiksi:

- vetovoimaa vaativat työt.
- nelivetotraktorin eturenkaat: etu- ja takarenkaat saadaan samanleveyisiksi. Huonoissa oloissa eturenkaat "tekevät tietä" takarenkaalle, mikä suurentaa taka-

renkaiden vetovoimaa sekä pienentää niiden vierintävastusta. Samalla saadaan hieman lisää kosketuspintaa sellaisen traktorin etuakselille, jossa ei voida käyttää paripyöriä.

- työt, joissa maan pintakerros ei saa rikkoontua (esim. nurmenviljely).

Matalaprofiilinen puolivyörengas

Trelleborg Twin T414 (koko 700/55-34) edusti matalaprofiilista puolivyörengasta. Valmistajan mukaan rengas sopii kaikkiin maataloustöihin, joissa tarvitaan vetovoimaa ja pitkää käyttöikää. Suuresta leveydestä ja vahvasta rungosta johtuen renkaan kantavuus on suuri. Se pystyisi kantamaan suuremman kuorman kuin kokeessa ollut 1550 kg (3100 kg akselipaino), kun rengaspaine oli 0,5 bar. Käytetyn kuorman alla se ei joustonut juuri lainkaan. Leveydestä johtuen renkaan kosketuspinta oli lyhyt ja leveä, minkä vuoksi renkaan kehittämä vetovoima ei ole kovin suuri luiston ollessa pieni. Kokeiden perusteella renkaan käyttötarkoituksia ovat esim:

- työt, joissa ei vaadita erittäin suurta vetovoimaa, kun luisto on pieni
- työt, joissa renkaan suuresta leveydestä ole haittaa
- renkaan kestävyyttä vaativat työt. Rengastyypin sopii metsäajoon paremmin kuin muut kokeissa olleet tyypit.

Paripyörät (vyörenkaat)

Paripyöraasennus, jota edustivat Taurus AR1 ja Michelin BIB'XM 18 (koko 16.9R-38), on tyyppinä vanha. Suomalaisessa peltoviljelyssä sitä on käytetty pääasiassa vain kevättöissä pintapaineen vähentämiseksi. Erittäin suurissa (esim. yli 10 tn) traktoreissa paripyöraasennusta on käytetty riittävän kantavuuden aikaansaamiseksi. Paripyöriä käytettäessä rengastusta voidaan helposti muuttaa leveästä kapeaksi ja päinvastoin. Paripyörien käyttö suurentaa kosketuspinta-alaa, mikä pienentää keskimääräistä pintapainetta. Paripyörien kosketuspinta koostuu kuitenkin kahden erillisen renkaan kosketuspinnoina. Jos välivanne on kapea, renkaat ovat lähellä toisiaan ja paripyörä käyttäytyy kuin yksi leveä rengas. Kosketuspintojen etäisyyden ollessa vähintään yhden renkaan leveyden verran paripyörä käyttäytyy kuin kaksi erillistä rengasta. Vaikka paripyörän kosketuspinta on lyhyt, sen erillisten pintojen pituus/leveys -suhde on huomattavasti suurempi kuin yhden leveän renkaan. Tämän vuoksi paripyörä ei ole täysin vertailukelpoinen leveän renkaan kanssa kosketuspinnan muotojen suhteen. Tauruksen valmistajan mukaan rengas soveltuu kaikkiin maataloustöihin ja vähäisessä määrin metsätöihin. Maatie- ja metsäajossa renkaan ilmanpainetta on lisättävä 0,3 bar. Paripyörien käyttökohteita ovat esim.:

- työt, jotka eivät rajoita renkaan leveyttä
- työt, joissa vaaditaan alhaista pintapainetta

Renkaan valinta ei ole aina helppoa ja yksinkertaista. Peruslähtökohta on, kuten jo aiemmin mainittiin, renkaan käyttötarkoitus ja -kohde sekä hinta. Valmistajat ja maahan-tuojat auttavat lopulliseen rengasvalintaan liittyvissä asioissa. Renkaan koko (mm. neliveto ja kantavuus) tulee varmistaa oikeaksi ja edustajat antavat neuvoja (mm. rengaspaine) myös nykyisten renkaiden käytöstä.

VAKOLAn tutkimuseloituksia

51. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1988. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset
52. PUUMALA, M., MANNI, J. & SARIN, H. 1988. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä
53. MATTILA, T. & VIROLAINEN, V. 1989. Hellävarainen perunankorjuu
54. MIKKOLA, H. 1989. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988
PITKÄNEN, J. 1989. Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen
55. Ei julkaisua
56. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1989. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa
57. SARIOLA, J., TUUNANEN, L., PAAVOLA, J. & AHOKAS, J. 1990. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö
58. MÄKELÄ, J. & LAUROLA, H. 1990. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa
59. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1990. Lietelantajärjestelmien toimivuus
60. SUOKANNAS, A. 1991. Heinän varastokuivaus
61. SARIOLA, J., TUUNANEN, L., ESKELINEN, T., LOUHELAINEN, K. & RIPATTI, T. 1992. Viljankuivauksen pölyhaitat
62. SUOKANNAS, A. 1991. Säilörehun siirto ja käsittely talvella
63. KAPUINEN, P. 1992. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset
64. KERVINEN, J. & SUOKANNAS, A. 1993. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu
65. SARIOLA, J. & LEPPÄLÄ, J. 1993. Hellävarainen perunan kauppakunnostus
66. KAPUINEN, P. 1993. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II
67. PUUMALA, M. & LEHTINIEMI, T. 1993. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
68. KAPUINEN, P. 1994. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen
69. AHOKAS, J. 1994. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough

VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 ALAKOMI, T., KAPUINEN, P., PUUMALA, M. & SARIN, H. 1994. Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo

VAKOLAn tiedotteita

- 53/93 MIKKOLA, H. 1993. Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
- 54/93 JANTUNEN, J. 1993. Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 SUOKANNAS, A. 1993. Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 JANTUNEN, J. 1993. Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 VIROLAINEN, V. 1993. Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 KAIJA, J. & KOSKIAHO, J. 1993. Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 HUOTELIN, R. 1993. Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 SALMINEN, K. & ALAKOMI, T. 1993. Tyhjiin maatilarakennusten uusi käyttö
- 61/94 MIKKOLA, H. 1994. Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 PUUMALA, M. 1994. Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 SARIOLA, J., PIETILÄ, J. & MÄKELÄ, O. 1994. Turvallinen puunpilkonta
- 64/94 KARHUNEN, J. 1994. Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 Lötjönen, T., Mäkelä, O. & Pietilä, J. 1994. Oksainen hake pienpolttimissa.
- 66/94 ELONEN, E. 1994. Pako- ja savukaasujen analysointi
- 67/94 MIKKOLA, H. 1994. Käyttökokemuksia jyrsäilylannoittimista
- 67/S95 MIKKOLA, H. 1995. Bruksfarenheter av vältkombisämaskiner
- 68/94 SCHÄFER, W., RAHKONEN, J. & SARIOLA, J. 1994. Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 ELONEN, E., ALAKUKKU, L. & KOSKINEN, P. 1995. Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen

