



# VAKOLA

PPA 1  
03400 VIHTI  
(90)224 6211

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

**JUKKA MÄKELÄ - HANNU LAUROLA**

## **LEIKKUUPUIMURIN KULKUKYKY VAIKEISSA OLOSUHTEISSA**

**COMBINE HARVESTER MOBILITY IN MUDDY CONDITIONS**

**TUTKIMUSSELOSTUS 58**

VIHTI 1990

**JUKKA MÄKELÄ - HANNU LAUROLA**

**LEIKKUUPUIMURIN KULKUKYKY  
VAIKEISSA OLOSUHTEISSA**

**COMBINE HARVESTER MOBILITY IN MUDDY CONDITIONS**

**TUTKIMUSSELOSTUS 58**

**VIHTI 1990**

4.4.1990

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Jukka Mäkelä Hannu Laurola		Tutkimusselostus	
		Toimeksiantaja	
		VAKOLA	
		Toimielimen asettamispvm	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)			
Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa puintioloissa			
Julkaisun osat			
Tiivistelmä			
<p>Vaikeissa puintioloissa leikkuupuimurin hyvä kulkukyky on sadonkorjuun onnistumisen perusedellytys. Tavoitteena on renkaan kosketuspinnan kohtuullinen leveys ja suuri pituus, jolloin pintapaine on alhainen. Jos rengas kuitenkin uppoaa pehmeällä pellolla, niin maan muodonmuutoksista aiheutuva kulkuvastuksen osa jää pieneksi, koska maata ei siirry tarpeettoman leveältä alueelta. Alhainen ilmanpaine lisää renkaiden joustoa, joka suurentaa kosketuspinta-alaa ja parantaa renkaan puhdistuvuutta.</p> <p>Savimailla pehmeän pintakerroksen alla on kantava pohjamaa, jonka leikkauslujuus on selvästi suurempi kuin pehmeän pintamaan. Tällaisella alustalla liikkuminen edellyttää renkaan tunkeutumista pehmeän pintamaan läpi kovaan pohjamaahan. Renkaiden suuri halkaisija ja kohtuullisen suuri leveys pienentävät pintapainetta riittävästi, jotta renkaiden uppouma pysyisi kohtuullisena. Liian leveitä renkaita käytettäessä esiintyy ns. puskuvastusta, joka suurentaa kulkuvastusta jyrkästi. Upottavilla suomilla pintapaine ratkaisee puimurin kulkukyvyn. Puimurin kulkua voidaan tällöin parantaa myös levikepyörien tai leveiden renkaiden avulla. Painopisteen tulee olla mahdollisimman edessä vetävillä pyörillä ja puimurin rakenteen mahdollisimman kevyt.</p> <p>Kovapohjaisilla savimailla on hyödyllistä, jos takapyörät kulkevat etupyörien polanteessa. Upottavilla suomilla tästä on lievää haittaa. Leikkuupuimurin kulkukykyä voidaan parantaa selvimmän asentamalla leveälle taka-akselille halkaisijaltaan mahdollisimman suuret pyörät, jotka ovat ripakuvioiset. Taka-akseliltaan painavan leikkuupuimurin kulkukykyä voidaan parantaa huomattavasti hydrostaattisen takavedon avulla.</p>			
Avalnsanat (asiasanat)			
Leikkuupuimurit, kulkukyky, renkaat			
Muut tiedot			
Saatavissa Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (VAKOLA) puh. (90) 224 6211, telekopio (90) 224 6210			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Vakolan tutkimusselostus n:o 58		0782-0054	
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
86	Suomi, tiiv. engl, ruotsi	25 mk	
Jakoja		Kustantaja	

## ESISANAT

Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa puintioloissa -tutkimus on osa laajempaa Maatilatalouden kehittämisrahaston rahoittamaa ja Työtehoseuran tekemää Käytännön puintityön kehittämisen -tutkimusta. Tutkimustuloksia on jo aikaisemmin julkaistu Työtehoseuran ja VAKOLAN julkaisusarjoissa.

Kiitän ylitarkastaja Jaakko Kiviniemeä ja prof. Aarne Pehkos-ta useista hyödyllisistä neuvoista ja kommenteista sekä dipl.ins. Jukka Ahokasta saamistani neuvoista ja korvaamattomasta avusta koelaitteiston rakentamisessa sekä mittausohjelmien ohjelmoinnista.

Lisäksi haluan kiittää Rosenlew Oy:tä koepuimurin lainaamisesta ja Partek Oy/Sisu Hydraulicsiä hydrostaattisesta takavoimansiirrosta, Kesko Oy:tä, Nokia Oy:tä, Rengas Steiner Oy:tä ja Suomen Michelin Oy:tä koerenkaiden lainaamisesta.

Jukka Mäkelä

## YDIN

Vaikeissa puintioloissa leikkuupuimurin hyvä kulkukyky on sadonkorjuun onnistumisen perusedellytys. Kulkukyky määräytyy kulkuolosuhteiden, leikkuupuimurin rakenteen ja rengasvarustusten mukaan.

Upottavilla suomailla pintapaine ratkaisee puimurin kulkukyvyn. Puimurin painopisteen tulee olla mahdollisimman edessä vetävillä pyörillä ja rakenteen mahdollisimman kevyt. Renkaiden suuri halkaisija ja kohtuullisen suuri leveys pienentävät pintapainetta riittävästi, jotta renkaiden uppouma pysyisi kohtuullisena. Liian leveitä renkaita käytettäessä esiintyy ns. puskuvastusta, joka suurentaa kulkuvastuskerrointa jyrkästi.

Savimailloilla pehmeän pintakerroksen alla on kantava pohjamaa, jonka leikkauslujuus on selvästi suurempi kuin pehmeän pintamaan. Tällaisella alustalla liikkuminen edellyttää renkaan tunkeutumista pehmeän pintamaan läpi kovaan pohjamaahan. Savimailloilla leikkuupuimurin massa ei haittaa liikkumista niin selvästi kuin turvemailloilla. Painava kone vaurioittaa kuitenkin aina maan rakennetta.

Alhainen ilmanpaine lisää renkaiden joustoa, joka pienentää kulkuvastusta ja parantaa renkaan puhdistuvuutta. Vyörenkaan kosketuspinta on muodoltaan pidempi ja kapeampi kuin vastaavan ristikudosrenkaan kosketuspinta. Vyörenkaan kosketuspinnan muoto on kulkuvastuksen kannalta edullisempi kuin ristikudosrenkaan kosketuspinnan muoto.

Kovapohjaisilla savimailloilla on hyödyllistä, jos takapyörät kulkevat etupyörien polanteessa. Upottavilla turvemailloilla tästä on lievää haittaa. Leikkuupuimurin kulkukykyä voidaan parantaa selvimmin asentamalla leveälle taka-akselille halkaisijaltaan mahdollisimman suuret pyörät, jotka ovat ripakuvioiset. Painavan leikkuupuimurin kulkukykyä voidaan parantaa huomattavasti hydrostaattisen takavedon avulla. Takaveto on tarpeellinen kuitenkin vain eräissä erikoistapauksissa, sillä olosuhteisiin sopivat eturenkaat ja taka-akseliston parannukset varmentavat puimurin kulkua usein riittävästi.

## SUMMARY

As far as successful harvesting is concerned, good mobility of the combine harvester is one of the most important things. The mobility is based on the harvesting conditions, the construction of the combine and the tire properties.

In soft peat soil the ground pressure of the tires is the most dominating factor of mobility. The total weight of the combine and the rear axle load in comparison with the front axle load should be low. Large diameter and relatively wide tires decrease ground pressure enough in order to reduce sinkage of the wheels. When using too wide tires there is a possibility of bulldozing effect. Bulldozing effect can increase motion resistance radically.

On clay fields there is a firm soil layer with high shear strength under the soft top soil. The mobility on this kind of soil structure depends on the penetration through the soft top soil to the firm bottom layer. On clay fields the weight of the combine does not affect the mobility as strongly as it does on peat soil. A heavy vehicle does always damage soil structure, though.

Low inflation pressure increases the flexibility of the tires which decreases motion resistance and improves the cleaning ability of the tires. The contact area of radial tires is longer and narrower in comparison with cross-ply tires. The oblong shape of the contact area is advantageous as far as the motion resistance is concerned.

On clay soils it is beneficial for the rear wheels to follow strictly the wheel tracks of the front wheels. On peat soil this is slightly disadvantageous. The most obvious improvements of the mobility can be made by installing large diameter V-tread tires to the rear axle. Hydrostatic rear wheel drive can offer a significant improvement in mobility in the case of heavy combine. Rear wheel drive is, however, necessary only in certain conditions, because the most significant improvements can be made by using suitable tires and equal track width of the front and rear axle.

## SAMMANFATTNING

### SKÖRDETRÖSKANS RÖRELSEFÖRMÅGA I SVÅRA SKÖRDEFÖRHÅLLANDEN

I svåra förhållanden med mjuk mark är god framdrivningsförmåga hos skördetröskan grundförutsättningen för att få skörden bärgad. Framdrivningsförmågan bestäms av markförhållandena, tröskans konstruktion och däckutrustningen.

På mjuka torvjordar avgör däckens marktryck skördetröskans framdrivningsförmåga. Tröskans tyngdpunkt bör vara så långt fram nära drivhjulen som möjligt och dess totalvikt så liten som möjligt. Stor diameter och relativt stor bredd på däcken minskar marktrycket tillräckligt för att däckens nedsjunkning skall hållas rimlig. Alltför breda däck åter ökar rullningsmotståndet radikalt genom att det anhopas en jordvall framför däcken.

På lerjordar finns det under ett uppblött ytskikt ett bärande bottenskikt, vars skjuvhållfasthet är klart större än det mjuka ytskiktets. På ett sådant underlag förutsätter god framdrivning att däcket tränger igenom ytskiktet till det hårda bottenskiktet. På lerjordar är tröskans massa inte lika tydligt till förfång för framdrivningsförmågan som på torvjordar. En tung maskin skadar dock alltid jordstrukturen.

Lågt lufttryck i däcken ökar deras flexibilitet, vilket minskar rullmotståndet och gör att jord inte fastnar lika lätt på dem. Radialdäcks kontaktyta mot marken är längre och smalare än motsvarande diagonaldäcks. Kontaktytans form är med tanke på rullmotståndet bättre på radialdäck än på diagonaldäck.

På lerjordar med bärande bottenskikt är det fördelaktigt, om bakhjulen går i framhjulens spår. På mjuka torvjordar är detta däremot aningen menligt. Tröskans framdrivningsförmåga kan bäst förbättras genom att montera bakhjul med V-ribbmönster och så stor diameter som möjligt, och så att de går i framhjulens spår. En tung tröskas framdrivningsförmåga kan förbättras märkbart med hydrostatisk bakhjulsdrift. Bakhjulsdrift är dock nödvändig bara i vissa specialfall, ty lämpliga däck och lika spårvidd fram och bak förbättrar ofta tröskans framdrivningsförmåga tillräckligt.

## SISÄLLYS

### ESISANAT

### YDIN

### SUMMARY

### SAMMANFATTNING

1. Johdanto.....	1
2. Käsitteet.....	2
3. Pyöräajoneuvon kulkukykyyn vaikuttavat tekijät.....	3
3.1. Olosuhteiden vaikutus kulkukykyyn.....	3
3.2. Kehävoima ja siihen vaikuttavat tekijät.....	4
3.3. Pyöräajoneuvon kulkua vastustavat voimat.....	5
3.4. Kulkuvastuksen ennustemallit.....	7
3.5. Leikkuupuimurin renkaiden vaikutus kulkukykyyn.....	9
3.5.1. Renkaiden leveyden ja halkaisijan vaikutus kulkukykyyn.....	9
3.5.2. Renkaan ilmanpaineen vaikutus kulkukykyyn.....	11
3.5.3. Renkaan jouston vaikutus kulkukykyyn.....	12
3.5.4. Renkaan aiheuttama pintapaine ja sen vaikutus kulkukykyyn..	13
3.6. Takapyörien raidelevyyden vaikutus kulkukykyyn.....	15
3.7. Hydrostaattisen takavedon vaikutus kulkukykyyn.....	15
3.8. Yhteenvedo kirjallisuusosasta.....	17
4. Tutkimuksen kokeellinen osa.....	18
4.1. Tutkimusmenetelmät.....	18
4.2. Koelaitteisto.....	19
4.2.1. Mittaustekniikka syksyllä 1985.....	19
4.2.2. Mittaustekniikka syksyllä 1986.....	22
4.3. Koeolosuhteiden tarkkailu.....	27
4.4. Koejäsenet ja koealueet.....	28
4.4.1. Syksyn 1985 koejäsenet.....	30
4.4.2. Syksyn 1986 koejäsenet.....	32

5. Ajokokeiden tulokset.....	35
5.1. Eturengaskokeiden tulokset.....	35
5.1.1. Rengastyyppien vertailu tasaisella savimaalla.....	35
5.1.2. Rengastyyppien vertailu rinnepellolla.....	38
5.1.3. Rengastyyppien vertailu eloperäisellä maalla.....	43
5.2. Taka-akseliston vaikutus leikkuupuimurin kulkukykyyn.....	46
5.2.1. Takapyörien raidevälin vaikutus kulkuvastuskertoimeen.....	46
5.2.2. Takapyörien koon vaikutus kulkuvastuskertoimeen.....	48
5.2.3. Hydrostaattisen takavedon vaikutus leikkuupuimurin kulkukykyyn.....	50
5.2.3.1. Takavedon vaikutus kokonaiskulkuvastukseen.....	50
5.2.3.2. Takavedon vaikutus kulkukykyyn rinnepellolla.....	52
5.2.3.3. Takavedon vaikutus kulkukykyyn tasaisella savimaalla.....	56
5.2.3.4. Takavedon vaikutus kulkukykyyn suomaalla.....	57
5.3. Leikkuupuimurin painonsiirto.....	59
5.3.1. Taka-akselin työntövoiman vaikutus painonsiirtoon.....	59
6. Tulosten tarkastelu.....	61
6.1. Mittaustekniikka.....	61
6.2. Ajokokeiden tulosten tarkastelu.....	63
6.3. Leikkuupuimurin ohjattavuus.....	67
6.3.1. Takapyörien raidevälin ja renkaiden koon vaikutus ohjattavuuteen.....	67
6.3.2. Hydrostaattinen takavedon vaikutus ohjattavuuteen.....	68
6.4. Leikkuupuimurin kulkukyvyn parantaminen.....	68
6.5. Yhteenveto tulosten tarkastelusta.....	69
7. Tiivistelmä.....	71
8. Lähteet.....	73
Liitteet.....	74

## 1. JOHDANTO

Suomen ilmastossa sateet haittaavat usein sadonkorjuutöitä. Satoa korjataan sateiden välisinä lyhyinä poutakausina, jotka ovat usein vain päivän mittaisia tai jopa lyhyempiä. Viljakasvusto kuivuu suotuisissa olosuhteissa puintikuivaksi jopa muutamassa tunnissa. Sateen jäljiltä pahoin pehmennyt pelto sitä vastoin vaatii kuivuakseen useita perättäisiä poutapäiviä, joita syksyllä ei useinkaan ole. Pellon kuivumista hidastavat entisestään haihduttavan kasvuston puuttuminen ja syksyn viileää. Sateiden jälkeiset lyhyet poutajaksot on käytettävä hyväksi, tai muutoin korjattavan sadon arvo saattaa laskea huomattavasti kasvuston ränsistymisen vuoksi. Varsinkin leipäviljojen optimaalinen puintiaika on lyhyt.

Leikkuupuimurin kulkukyky tarkoittaa leikkuupuimurin kykyä liikkua syyspellolla ja kuljettajan mahdollisuuksia vaikuttaa puimurin kulkuun puintityön aikana. Kun kulkukyky on hyvä, huonotkaan kulkuolosuhteet eivät vaikeuta puintityötä merkittävästi. Huono kulkukyky puolestaan vaatii kohtuuttoman paljon kuljettajan huomiota, jolloin puintitulokset huononee tai puinti kokonaan keskeytyy. Leikkuupuimurin kulkukyky voi olla vaikeana korjuusyksynä koko viljanviljelyn avaintekijä. Pahimmillaan kaikki satoa varten käytetyt tuotantopanokset ovat turhia, jos sato jää kokonaan korjaamatta.

Tutkimuksen päätavoitteena oli sadonkorjuuvarmuuden parantaminen suomalaisissa pelto-olosuhteissa. Tutkimuksessa selvitettiin leikkuupuimurin kulkukykyyn vaikuttavia tekijöitä ja kuinka kulkuominaisuuksia voitaisiin parantaa erilaisten rengasvarustusten ja apuvoimansiirron avulla. Tutkimus liittyy Maatilatalouden kehittämisrahaston rahoittamaan tutkimuskokonaisuuteen "Käytännön puintityön kehittäminen puintioppaan laatimiseksi".

Tutkimuksen tavoitteeseen pyrittiin etsimällä kirjallisuudesta tietoa kulkuominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä sekä kokeellisen osan kenttäkokeiden avulla. Tutkimusaihe on hyvin käytännönläheinen. Tämän vuoksi tutkimus painottuu kokeelliseen osaan.

## 2. KÄSITTEET

Kulkukyky voidaan määritellä lyhyesti ajoneuvon kulkuteknisten ominaisuuksien ja kulkuolosuhteiden väliseksi suhteeksi, jota voidaan mitata useiden eri muuttujien, esimerkiksi pyörien kulkuvastuskertoimen, luiston sekä subjektiivisten muuttujien, kuten ohjattavuuden avulla. Leikkuupuimurin liikkumista tarkasteltaessa joudutaan käyttämään käsitteitä, jotka voidaan määritellä yksinkertaisilla matemaattisilla lausekkeilla.

Kehävoimakerroin on kitkakertoimen luonteinen kerroin. Se määrytyy maanpinnan laadun, luiston ja renkaiden perusteella:

$$\mu_0 = \frac{F_n}{R_n} \quad (1)$$

Luisto määritellään seuraavasti:

$$s = \frac{n-n_0}{n} \cdot 100, \quad s = \frac{v-v_0}{v} \cdot 100 \quad (2)$$

tai kuljetun matkan avulla:

$$s = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad (3)$$

Vierimisvastusvoima, -kerroin:

$$F_v = \frac{k}{r} \cdot R_n, \quad f = \frac{k}{r} \quad (4)$$

Pintapaine:

$$P_i = \frac{R}{A}, \quad A = r \times b \quad (5)$$

Lauseke 5 on voimassa, kun pyörä on uponnut tai litistynyt 15 % säteestään.

### 3. PYÖRÄAJONEUVON KULKUKYKYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

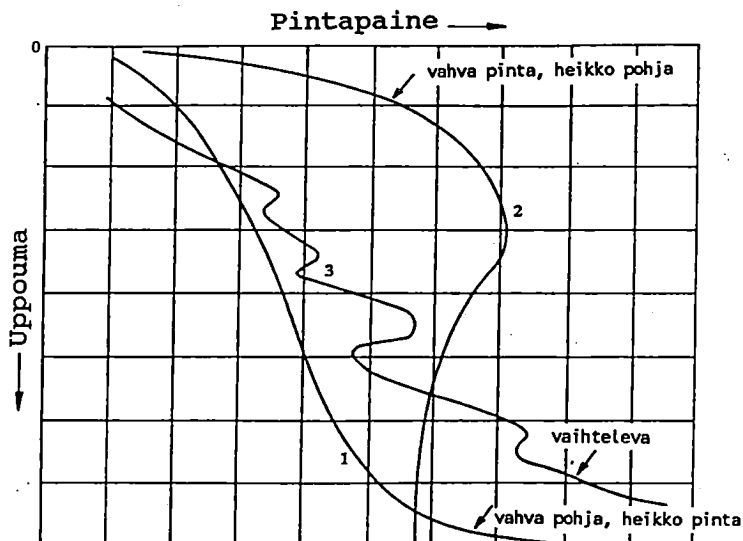
#### 3.1. Olosuhteiden vaikutus kulkukykyyn

Maan kosteuden lisäksi maalaji ja kerrostuneisuus vaikuttavat ratkaisevasti, millaisia liikkumisongelmat ovat märällä pellolla ja miten puimurin liikkumista voidaan helpottaa (kuvio 1):

Savi- ja hiesumaille (kuvio 1, käyrä 1) muodostuu kosteissa oloissa maan pintaan n. 5-10 cm:n paksuinen hyvin pehmeä ja liukas kerros. Sen alapuolella on kova ja usein myös melko kuiva pohjamaa. Jos maassa on riittävästi humusta, niin pehmeä kerros voi ulottua aina kyntöanturaan asti. Kulkua haittaa pääasiassa renkaiden ripavälien tukkeutuminen ja suuri luisto sekä maan nouseminen renkaiden mukana haittaamaan puimurin toimintaa.

Eloperäisten maiden (kuvio 1, käyrä 2) pinnassa on melko ohut kasvien juurien sitoma kantava maakerros. Pintakerroksen alapuolella on vettynyt pohjamaakerros, jonka leikkauslujuus ja kuormankantokyky ovat lähes olemattomat. Puimurilla ei voi ajaa toistuvasti samasta kohtaa, ja se saattaa pahimmassa tapauksessa upota peltoon akseleitaan myöten.

Hienot hietamaat (kuvio 1, käyrä 3) ovat ominaisuuksiltaan edellisten ryhmien välimuoto. Saves- ja humuspitoisuus määräävät, kumman ryhmän ominaisuudet tulevat selvimmän esille.



Kuvio 1. Pintapaineen vaikutus neliönmuotoisen testilevyn uppoumaan erityyppisillä mailla (BEKKER 1969, s. 50).

### 3.2. Kehävoima ja siihen vaikuttavat tekijät

Maan leikkauslujuus määrää vetävän pyörän suurimman mahdollisen kehävoiman arvon. Maksimikehävoima ( $F_{\max}$ ) voidaan laskea, kun tiedetään maan koheesiovakio ( $c$ ), sisäinen kitkakulma ( $\varnothing$ ) sekä kosketuspinta-ala ja pintapaine. Couloumbin kaava saa muodon (INNS ja KILGOUR Ref. DANFORS 1980, s. 13):

$$F_{\max} = A \tau_{\max} = Ac + A\vartheta \tan \varnothing \quad (6)$$

Etuakselikuorman aiheuttama normaalijännitys kirjoitetaan muotoon:

$$\vartheta = \frac{R_n}{A} \quad (7)$$

Maksimikehävoiman yhtälö saa muodon:

$$F_{\max} = Ac + R_n \tan \varnothing \quad (8)$$

Hyvin kantavilla kitkallisilla mailla kehävoimakerroin pysyy kuormasta riippumatta lähes vakiona. Hyvin kantavilla koheesio- mailla, esim. savimailla, kehävoimakerroin kasvaa kuormituksen kasvaessa (KLIEFOTH Ref. AHOKAS 1974, s. 64-65). Kuormituksen vaikutus voidaan selittää seuraavan yhtälön avulla:

$$\mu_o = \frac{F_n}{R_n} = \frac{A}{R_n} \cdot c + \tan \varnothing \quad (9)$$

Kitkamaalla yhtälön hallitsevana osana on termi  $\tan \varnothing$ , jolloin yhtälön alkuosa ei vaikuta kehävoimaan paljontaan. Koheesio- mailla  $\tan \varnothing$  arvo on pieni ja kerroin  $c$  on hallitseva. Tällai- silla mailla vetävän pyörän kuorman lisääminen suurentaa kehä- voimakerrointa. Huonosti kantavilla mailla  $c$  ja  $\tan \varnothing$  ovat molemmat vaikuttavia tekijöitä. Kuormituksen kasvaessa  $R_n$  kasvaa nopeammin kuin  $A$ , ja tämän seurauksena  $\mu_o$  pienenee. Kehävoima- kertoimen pieneminen kuormanlisäyksen seurauksena ei kuiten- kaan välttämättä johda kehävoiman pienentymiseen (lauseke 8). Vetävän pyörän kehävoimaa  $F_n$  ei kokonaisuudessaan saada vetovoi- maksi  $F_a$ , sillä renkaan liikettä vastustavat kulkuvastusvoimat  $F_v$  pienentävät käytettävissä olevaa vetovoimaa  $F_a$ :

$$F_a = F_n - F_v \quad (10)$$

Vetovoimakerroin määritellään seuraavasti:

$$\mu = \frac{F_a}{R_n} = \mu_0 - f \quad (11)$$

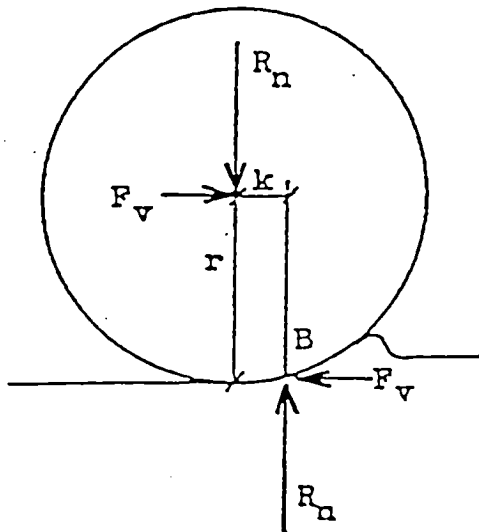
Huonosti kantavilla mailla vetovoimakerroin pienenee kuorman kasvaessa, koska kuorman lisäys suurentaa uppoumaa ja edelleen kulkuvastusvoimia nopeammin kuin kehävoimaa.

Peltomailla leikkauslujuuteen vaikuttavat sekä maan koheesio että sisäinen kitkakulma. Kosteissa oloissa pellon pinnan ollessa liettynyt pohjamaan leikkauslujuus ratkaisee kulkukyvyn suurelta osin. Savimaiden adheesio-ominaisuudet aiheuttavat usein ongelmia märissä olosuhteissa. Renkaiden ripojen välin umpeen muurautuminen vaikeuttaa pellolla liikkumista, koska rengas ei pysty käyttämään hyväkseen syvempien maakerrosten suurempaa leikkauslujuutta.

### 3.3. Pyöräajoneuvon kulkua vastustavat voimat

Pyöräajoneuvon kulkua vastustavat voimat aiheutuvat renkaan ja maan muodonmuutoksista. Muodonmuutoksista aiheutuvia voimia kutsutaan vierimisvastusvoimiksi. Upottavissa olosuhteissa puskuvastuksella ja renkaiden sivujen aiheuttamalla hankausvastuksella on myös merkitystä. Nämä esitetään yleensä yhdessä vierimisvastuskertoimen osana, koska niiden erikseen mittaaminen on hankalaa. Selvyiden vuoksi kulkua vastustavia voimia kutsutaan jatkossa kulkuvastusvoimiksi. Kulkuvastuskerroin  $f$  saadaan jakamalla kulkuvastus  $F_v$  renkaan kuormituksella  $R_n$  (kuva 1).

$$f = \frac{F_v}{R_n} \quad (12)$$



$$R_n \cdot k = F_v \cdot r$$

$$F_v = \frac{k}{r} \cdot R_n ; f = \frac{k}{r}$$

B = renkaaseen kohdistuvan voiman resultanttipiste

Kuva 1. Jäykkä hinattu pyörä ja siihen pehmeällä alustalla vaikuttavat voimat (MÖLLER 1980, s. 6 ja 12).

Kulkuvastusvoima suurenee renkaan kuormituksen kasvaessa. Koval- la maalla kuorman lisääminen kasvattaa renkaan sisäistä kulku- vastusta eli hystereesi-häviötä. Pehmeällä maalla puolestaan renkaan uppouma maahan kasvaa. Vapaasti pyörivän renkaan kulku- vastus muodostuu osakulkuvastuksista seuraavasti (kuvio 2):

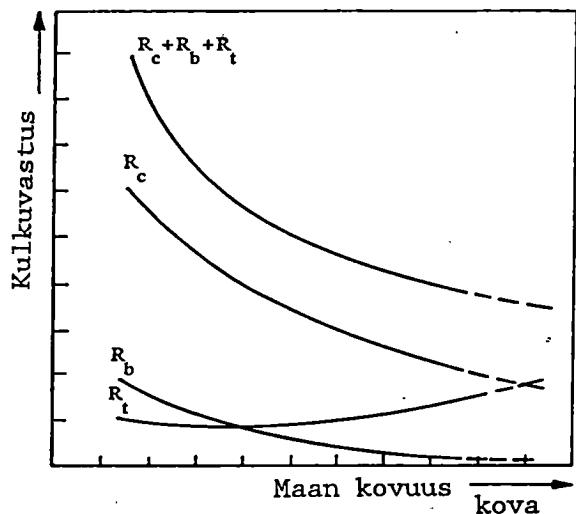
$$R = R_c + R_b + R_t , \text{ jossa}$$

$R$  = kokonaiskulkuvastus

$R_c$  = vertikaalista maan muodon-  
muutoksesta aiheutuva  
kulkuvastus

$R_b$  = horisontaalista maan  
muodonmuutoksesta tai  
puskuvastuksesta aiheutuva  
kulkuvastus

$R_t$  = renkaan hystereesi-häviö



Kuvio 2. Kulkuvastuksen komponentit maan kovuuden funktiona (BEKKER ja SEMONIN Ref SIÖLAND 1986, s. 7)

### 3.4. Kulkuvastuksen ennustemallit

Ilmakumirenkaan ja kovan pyörän kulkuvastuksesta on yritetty muodostaa matemaattisia malleja, joiden avulla kulkuvastus voitaisiin määrittää mitattujen maaparametrien avulla. Tällaisia ennustemalleja on käytetty erityisesti sotilasajoneuvotekniikassa, josta ne myöhemmin ovat levinneet siviilikäyttöön.

Renkaan vetovoiman ja kulkuvastuksen ennustamiseen käytetään yleisimmin kartioindeksiä eli ns. cone-indeksiä. Kartioindeksin ja renkaan mittojen avulla voidaan määrittää ns. liikkuvuusluku, joka korreloi varsin hyvin renkaan kulkuvastuksen ja vetovoiman kanssa. FREITAG (Ref. PLACKET 1985, s. 12) muodosti renkaan liikkuvuusluvun lausekkeen savimaalla:

$$M = \frac{Cbd}{W} \left[ \begin{array}{c} \sigma \\ - \\ h \end{array} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ jossa } \begin{array}{l} \sigma = \text{renkaan painuma} \\ h = \text{renkaan poikki-} \\ \text{leikkauskorkeus} \\ C = \text{cone-arvo (kPa)} \\ W = \text{pyöräkuorma (N)} \end{array} \quad (13)$$

TURNAGE (Ref. GUPTA 1982, s. 12) kehitti Freitagin lauseketta ja lisäsi siihen termin kuvaamaan ilmakumirenkaan leveyden ja halkaisijan suhdetta, jolloin lauseke saa muodon:

$$M = \frac{Cbd}{W} \left[ \begin{array}{c} \sigma \\ - \\ h \end{array} \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \begin{array}{c} 1 \\ \hline 1 + b/2d \end{array} \right] \quad (14)$$

Turnagen liikkuvuusluvun määritelmä kuvaa tarkemmin renkaan jousto-ominaisuuksia ja renkaiden ilmanpaineen vaikutusta kuin Freitagin aikaisempi malli. WISMER ja LUTH (Ref. PLACKETT 1985, s. 12-13) käyttivät Freitagin lauseketta määrittäessään kulkuvastuksen lausekkeen. He tosin jättivät termin  $(\sigma/h)^{\frac{1}{2}}$  pois, jolloin lauseke sai yksinkertaisemman muodon, eli  $M = Cbd/W$ . Vastaavasti he muodostivat vapaasti pyörivän pyörän kulkuvastuksen lausekkeen:

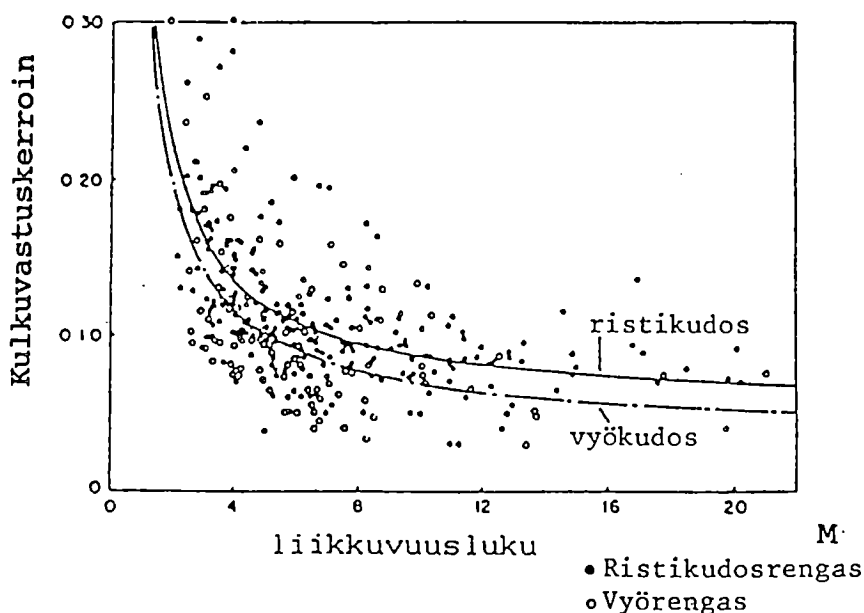
$$C_{rr} = (1.2/M) + 0.04 \quad (15)$$

McALLISTER (1983, s. 132-133) käytti Turnagen liikkuvuuslukulauseketta määrittäessään ristikudosrenkaiden (1.) ja vyörenkaiden (2.) kulkuvastuskerroinmallit.

$$1. C_{RR} = (0.323/M) + 0.054 \quad (16)$$

$$2. C_{RR} = (0.321/M) + 0.037 \quad (17)$$

McAllister kokeili mallin soveltuvuutta menestyksekkäästi laajojen kenttäkokeiden avulla (kuvio 3). Molemmat lausekkeet sopivat aineistoon merkitsevästi, kun luottamusväli on 99.9 %.



Kuvio 3. Vapaasti pyörivän ilmakumirenkaan kulkuvastuskerroin/liikkuvuusluku

Kun olosuhteet vaikeutuvat, niin kulkukyvyn ennustettavuus huononee. Tämä heikentää ennustemallien käyttökelpoisuutta käytännön oloissa. Ajoneuvon kulkukelpoisuutta voidaankin parantaa varmimmin ottamalla huomioon eri tekijöiden vaikutussuunnat kulkukelpoisuutta parhaiten kuvaavaan muuttujaan nähden. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi renkaiden leveys/halkaisija, joustavuus, pyöräkuorma ja renkaiden ilmanpaine. Kulkuvastuskerroin puolestaan kuvaa parhaiten ajoneuvon kulkukykyä käytännön oloissa.

### 3.5. Leikkuupuimurin renkaiden vaikutus kulkukykyyn

#### 3.5.1. Renkaiden leveyden ja halkaisijan vaikutus kulkukykyyn

Hyvissä ja vielä vaikeahkoissakin oloissa voidaan renkaan leveyttä suurentamalla parantaa leikkuupuimurin kulkukykyä. Koska pintapaine pienenee kasvaneen kosketuspinta-alan vuoksi, niin uppouma ja kulkuvastus pienenevät.

Sitä vastoin äärimmäisen vaikeissa pelto-oloissa löysä maa-aines siirtyy paikaltaan melko alhaisenkin pintapaineen ansiosta. Renkaan leventämisestä huolimatta pintapainetta ei saada niin pieneksi, että uppouma pienenesi pehmeällä pinnalla. Kosketuspinnan muodolla on ratkaiseva vaikutus kulkuvastukseen. Mitä suurempi renkaan kosketuspinnan leveys on, sitä suurempi on luonnollisesti siirtyvä maamäärä sekä siirtymään tarvittava voima. Upottavilla kitkamailta horisontaalinen maakerrosten muodonmuutos aiheuttaa maakerrosten kasaantumista renkaan eteen puskuvastukseksi. Koheesiomailla maan horisontaalinen muodonmuutos aiheuttaa puolestaan maakerrosten siirtymistä pääasiassa renkaan sivuille ns. uravalliksi. Koska kosketuspinnan leveydellä on selvä vaikutus siirtyvän maakerroksen määrään, niin renkaan leveys vaikuttaa korostuneesti kulkuvastuksen syntyyn upottavilla mailla (kuva 2). Kulkuvastuksen syntymekanismit poikkeavat kuitenkin toisistaan koheesio- ja kitkamailta (GEE-GLOUGH 1985, s. 282).



Kuva 2. Leveille renkaille ominainen puskuvastusilmiö pehmeissä olosuhteissa.

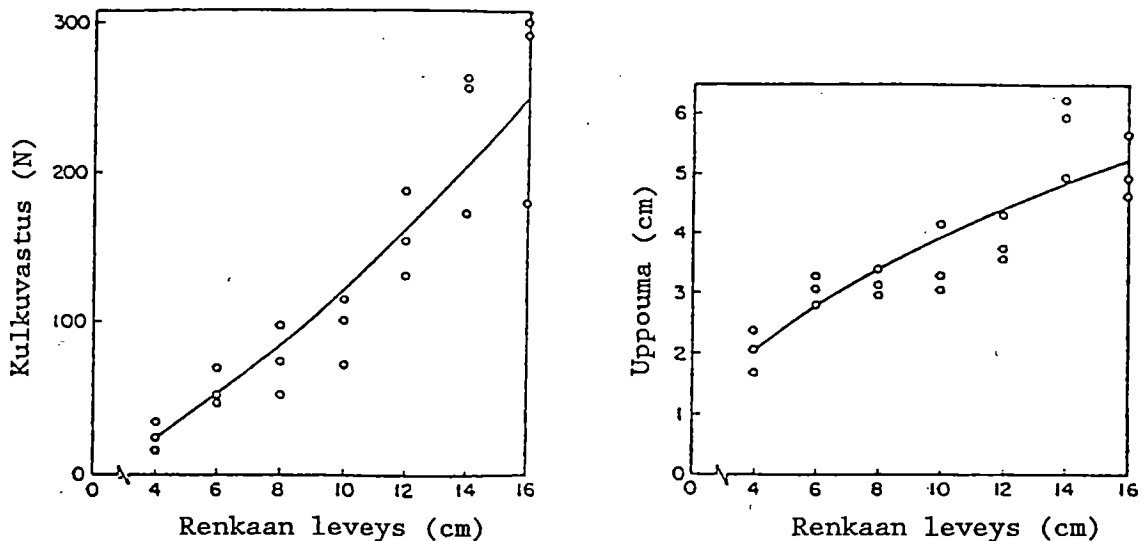
Yleensä renkaan leveydestä on hyötyä, jos uppoaminen voidaan välttää sen avulla. Jos uppoamista ei voida kuitenkaan välttää, niin kosketuspinnan leveydestä on haittaa, koska kulkuvastus kasvaa tällöin renkaan leveyden suhteessa (BEKKER 1969, s. 458).

$$F_v = \frac{b \cdot kz^{n+1}}{n + 1} \quad (18)$$

GEE-GLOUGHin (1985, s. 283) mukaan kulkuvastuskerroin voidaan laskea upottavilla koheesiomailla riittävän tarkasti kaavasta:

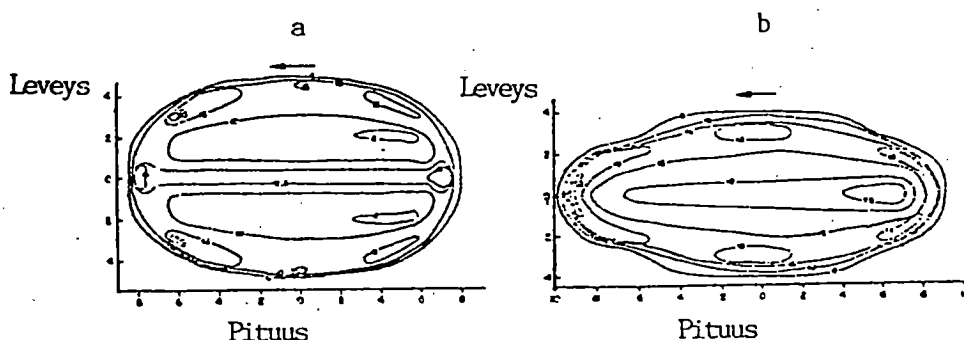
$$f = \left[ \frac{z_0}{d} \right]^{\frac{1}{2}} (0.63 + 0.34 \cdot b/d) \quad (19)$$

Pelkästään renkaan leveyttä lisäämällä ei kulkuvastusta voida pitää riittävän alhaisena vaikeissa oloissa, koska kulkuvastuskerroin ja renkaan uppouma kasvavat kuorman lisäyksen vuoksi, vaikka pintapaine pysyisikin ennallaan (kuvio 4).



Kuvio 4. Renkaan leveyden vaikutus kulkuvastuskertoimeen ja uppoumaan kostealla savimaalla (GUPTA Ref. GEE-GLOUGH 1985, s. 281). Pyöräkuorma on vakio 39 N/cm renkaan leveysyksikköä kohden.

McALLISTERin (1983, s. 137) mukaan renkaan leveyttä tulee lisätä huonoissa olosuhteissa pintapaineen alentamiseksi. Puskuvastusta ei kuitenkaan saa esiintyä. Gee-Gloughin tapaan McAllister piti halkaisijan suurentamista parempana keinona kulkuvastuksen pienentämiseksi kuin renkaan leventämistä. BEKKERin (1956, s. 214) mukaan renkaan kosketuspinnan tulee olla pitkä ja kapea. Nykyisten vyörenkaiden kosketuspinnan muoto on Bekkerin esittämän mallin kaltainen (kuva 3).



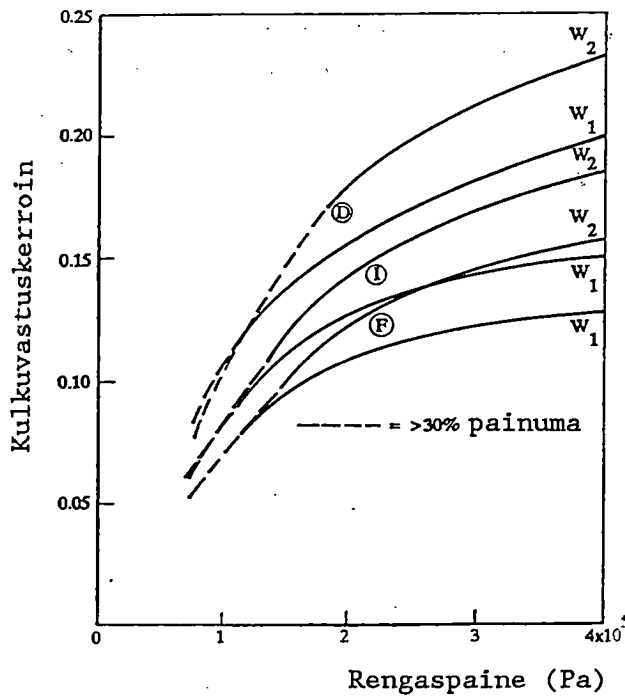
- a) ristikudosrengas (1.0 bar)  
b) vyörengas (1.0 bar)

Kuva 3. Renkaan kosketuspinnan muoto

Halkaisijaltaan pienehköjen renkaiden korvaaminen suuremmilla mahdollistaa renkaiden ilmanpaineiden alentamisen, josta varsinkin huonoissa olosuhteissa seuraa alhaisempi kulkuvastuskerroin ja pienempi renkaan uppouma (McALLISTER 1983, s. 134-135).

### 3.5.2. Renkaan ilmanpaineen vaikutus kulkukykyyn

Renkaan ilmanpaineen alentaminen suurentaa kulkuvastusta kovalla maalla ja pienentää pehmeällä maalla. Kovalla maalla kulkuvastuksen suureneminen johtuu renkaan sisäisten kitkatekijöiden eli hystereesi-häviöiden suurenemisesta. Pehmeällä maalla kosketuspinta-alan kasvu pienentää uppoumaa ja sitä kautta kulkuvastusta. Renkaan ilmanpaineen vaikutus kulkuvastukseen vaihtelee rengaskoon ja pyöräkuorman mukaan (kuvio 5).



Renkaat

D (13-16)

I (20-22.5)

F (12-38)

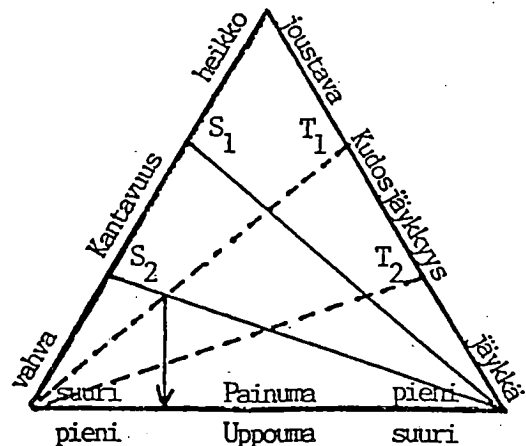
Kuormat

W<sub>1</sub> (15 kN)W<sub>2</sub> (25 kN)

Kuvio 5. Renkaan ilmanpaineen vaikutus kulkuvastukseen (PERDOK 1978, s. 382).

### 3.5.3. Renkaan jouston vaikutus kulkukykyyn

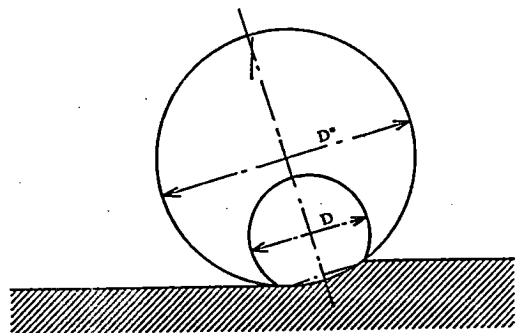
Kudoksen jäykkyys vaikuttaa renkaan käyttäytymiseen. Kun ilmanpaine on korkea ja kudosisjäykkyys on korkea, renkaan ominaisuudet lähenevät jäykän pyörän ominaisuuksia (PERDOK 1978, s. 375). PLACKETTIN (1985, s. 4) mukaan renkaan kudosisjäykkyyttä (T) ja maan kovuutta (S) vastaava renkaan uppouman ja jouston suuruus noudattavat kolmiota, jonka sivut ovat ominaisuuksien akseleina, kuva 4. Painuma- ja uppouma-asteikon kohta määrätään piirtämällä kohtisuora viiva S ja T arvojen leikkauspisteestä.



Kuva 4. Periaatepiirros renkaan kudosisjäykkyyden (T), maan kantavuuden (S), uppouman ja renkaan painuman välisistä suhteista.

Renkaan jäykkien sivujen vuoksi pintapaine keskittyy kulutus-  
pinnan reunoille. Pehmeissä oloissa maa ei ole riittävän kovaa,  
jotta rengas joustaisi kosketuspinnan etuosasta. Tämän vuoksi  
rengas alkaa käyttäytyä jäykän pyörän lailla (PLACKETT, 1985, s.  
4).

Joustavaa rengasta vastaava kova pyörä voidaan määrittää ns.  
muovautumisvakion  $c$  avulla. Muovautumisvakion määrittäminen  
voidaan tehdä joko kokeellisesti vertaamalla ilmakumirenkaan ja  
samankokoisen kiinteän pyörän kulkuvastuksia toi-  
siinsa tai laskennallisesti. Menetelmän perusoletus on,  
että joustava rengas käyt-  
täytyy samalla tavalla kuin  
kova rengas, jolla on suu-  
rempi halkaisija (kuva 5).



Kuva 5. Joustava ilmakumirengas ja  
vastaava kiinteä pyörä.

Halkaisija  $D^*$  riippuu renkaan nimellishalkaisijasta  $D$  ja renkaan  
muovautumisesta, johon vaikuttavat renkaan rungon jäykkyys,  
pyörän kuormitus, ilmanpaine ja maaperän kantavuus. Näiden teki-  
jöiden yhteisvaikutusta kuvaa kerroin  $c$ , jolloin:

$$D^* = c \cdot D \quad (20)$$

#### 3.5.4. Renkaan aiheuttama pintapaine ja sen vaikutus kulkukykyyn

Turve- ja multamailla, joissa maan kantavuus on huono, renkaalta  
vaaditaan kelluntaominaisuutta. Pintapaine vaikuttaa ratkaise-  
vasti leikkuupuimurin liikkumiseen, sillä pinnan alaista kovaa  
kantavaa maakerrosta ei ole. Kosketuspinta-alan tulee olla  
mahdollisimman suuri, koska maasta renkaaseen kohdistuva vasta-  
paine on pieni maan huonon kantavuuden takia. Tämän vuoksi  
renkaan ilmanpaineen tulee olla alhaisempi kuin kovalla alus-  
talla (PLACKETT 1985, s. 4).

Tarkkaa kaavaa renkaan maahan aiheuttaman pintapaineen laskemiseksi ei ole. Renkaan rakenteen ja ilmanpaineen lisäksi maan kimmoisuus vaikuttaa pintapaineeseen. Tämän vuoksi joudutaan käyttämään eri tilanteisiin soveltuvia likimääräiskaavoja.

SÖHNEN (1969, s. 11) mukaan renkaan kosketuspinta-ala kovalla pinnalla voidaan laskea seuraavasti:

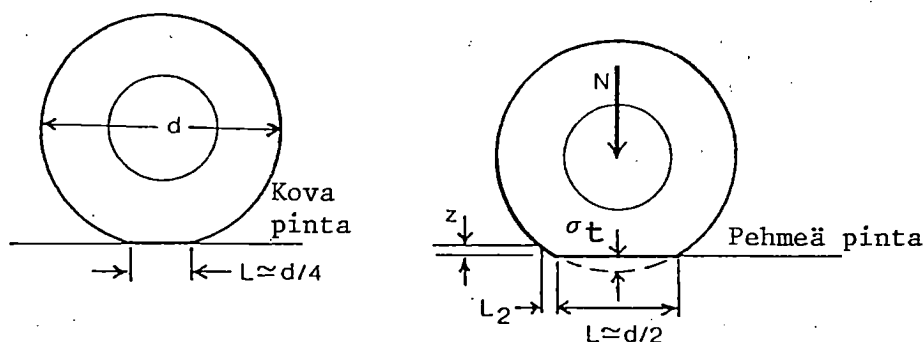
$$A = 2B \sqrt{Df} \quad , \quad \text{jossa} \quad \begin{array}{l} A = \text{kosketuspinta-ala} \\ B = \text{kulutuspinnan leveys} \\ D = \text{halkaisija} \\ f = \text{renkaan painuma} \end{array} \quad (21)$$

HERMANSSONIN (1974, s. 52) mukaan renkaan kosketuspinta-ala lasketaan kaavalla:

$$A = R \cdot B \quad , \quad \text{jossa} \quad \begin{array}{l} A = \text{kosketuspinta-ala} \\ R = \text{kuormittamaton renkaan säde} \\ B = \text{renkaan leveys} \end{array} \quad (22)$$

Kaavaa voidaan käyttää, kun renkaan uppouma on n. 15 % renkaan säteestä (kuva 6). Kovalla pinnalla kaava saa muodon:

$$A = \frac{1}{2} \cdot R \cdot B \quad (23)$$



Kuva 6. Renkaan kosketuspituuden määrittäminen kovalla ja pehmeällä pinnalla

BEKKERIN ja WONGIN (Ref. ANON. 1985, s. 135) mukaan renkaan kosketuspinnan pituus pehmeällä alustalla voidaan laskea seuraavasti:

$$L = 2(d\sigma_t - \sigma_t^2)^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

Pyörän kuorma ei jakaannu tasaisesti koko kosketuspinnan alalle. Renkaan leveys, ilmanpaine ja kudoksen jäykkyys vaikuttavat kuormituksen jakautumiseen kosketuspinnalla (APEELS 1982, s. 91). PLACKETTin (1983, s. 43) mukaan nykyisten maatalousrenkaiden runkopaineet ovat 0.1-0.5 bar. Vyörenkaan runkopaine on yleensä ristikudosrenkaan painetta alhaisempi. Runkopaine vaikuttaa renkaan pintapaineeseen ja erityisesti pintapaineen jakaumaan kosketuspinnalla. Käytännössä keskimääräisestä pintapaineesta voidaan muodostaa lauseke (BEKKER 1969, s. 443).

$$P \approx P_i + P_C, \text{ jossa } \begin{array}{l} P = \text{pintapaine} \\ P_i = \text{renkaan ilmanpaine} \\ P_C = \text{runkopaine} \end{array} \quad (25)$$

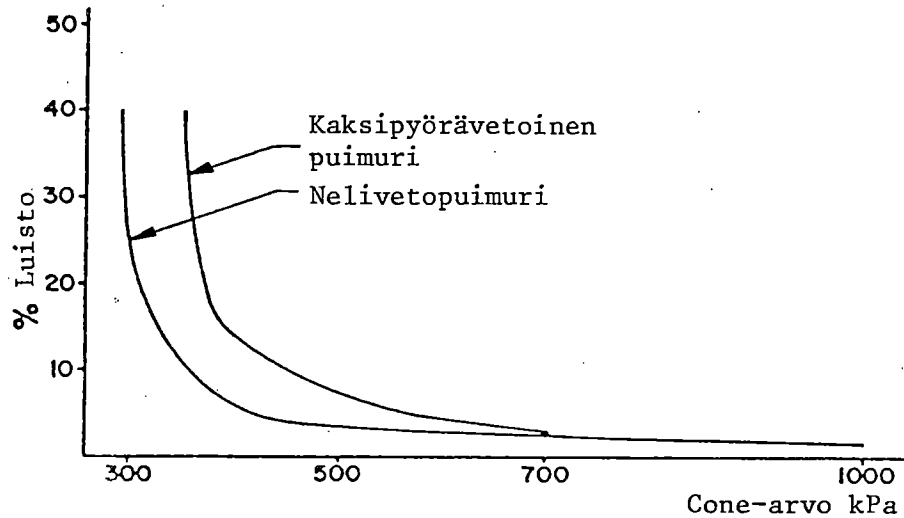
Joustavien rengastyyppeiden kuten terra-renkaiden ja vyörenkaiden aiheuttama keskimääräinen pintapaine on lähes yhtä suuri kuin renkaan ilmanpaine.

### 3.6. Takapyörrien raidelevyyden vaikutus kulkukykyyyn

Leikkuupuimurin taka-akselilla käytetään yleisimmin kahdenlaista raidelevyyttä. Etu- ja takapyörät kulkevat samassa ajourassa, polanteessa, tai molemmat takapyörät kulkevat etupyörrien raidelevyyden sisäpuolella. Polaantumisella tarkoitetaan pyörrien alla tapahtuvaa maan tiivistymistä, eli polanteen muodostumista. Yleensä polanteessa liikkuminen on helppoa, jos pehmeän pinnan alla on kova pohja, kuten liejusavilla ja yleensä savimailla (SONNEN Ref. AHOKAS 1974, s. 43, McALLISTER 1983, s. 133). Jos vetävä pyörä kulkee polanteessa, sen kehävoimakerroin on suurempi kuin pehmeällä koskemattomalla alustalla (TAYLOR ym 1982, s. 1229). Leikkuupuimurin takapyörrien raidelevyyden suurentaminen etuakseliston raidelevyyden suuruiseksi mahdollistaa myös halkaisijaltaan suurten takapyörrien käytön.

### 3.7. Hydrostaattisen takavedon vaikutus kulkukykyyyn

Kulkukykyyä voidaan parantaa merkittävästi asentamalla veto puimurin takapyöriin (kuvio 6). Leikkuupuimurikäytössä takaveto on yleensä hydrostaattinen, tosin muutamia mekaanisia vetojakin on rakennettu kokeilunomaisesti.



Kuvio 6. Vetävän taka-akselin vaikutus etupyörien luistoon (VOGELAAR ym. 1977, s. 8).

Hydrostaattinen takavetojärjestelmä toteutetaan joko avoimen tai suljetun hydraulipiirin periaatteella. Avoin painekompensoitu järjestelmä säätää tilavuusvirtaa automaattisesti siten, että työpaine pysyy likipitään vakiona olosuhteiden tai ajonopeuden muutoksista huolimatta. Tämän vuoksi kehävoima on kulkuolosuhteiden ja nopeuden vaihteluista huolimatta lähes vakio. Leikkupuimureihin mekaanisen päävoimansiirron yhteyteen asennettu apuvoimansiirto on yleensä ns. painekompensoitu hydrostaattinen avoin järjestelmä.

Puimureihin, joissa on suljettu hydrostaattinen päävoimansiirtojärjestelmä, takaveto voidaan periaatteessa asentaa kytkemällä takapyörien hydraulimoottorit rinnan etupyörien hydraulimoottoreiden kanssa. Suljetussa järjestelmässä käyttäjä säätää tilavuusvirtaa ja järjestelmän työpaine määräytyy kehävoimavaatimuksen mukaan. Lopullinen takapyörien työntövoima määräytyy kulku-alustan pidon ja luiston mukaan.

### 3.8. Yhteenveto kirjallisuudesta

Kostealle peltomaalle on ominaista maan lujuusominaisuuksien suuri ja nopea vaihtelu. Peltomaa on usein lisäksi voimakkaasti kerrostunut pystysuuntaisiin lujuusvyöhykkeisiin, jotka vaikuttavat ratkaisevasti käytettävään kulkutekniikkaan. Käytännössä on olemassa kaksi eri kulkumenetelmää. Ensimmäisessä pintapainetta yritetään pienentää mahdollisimman paljon, jotta pysyttäisiin ylimmän maakerroksen pinnalla. Toinen vaihtoehto on tunkeutua pehmeän pintakerroksen läpi kovaan pohjakerrokseen, jossa leikkauslujuus on suurempi kuin pintakerroksessa. Tällöin joudutaan usein hyväksymään kohtuullinen uppouma. Varsinkin kovapohjaisilla savimailla polanteessa liikkuvan pyörän kulkuvastus on pienempi kuin koskemattomalla maalla.

Kulkuvastuskertoimen suuruuteen voidaan käytännössä vaikuttaa renkaan leveyttä, halkaisijaa ja joustoa muuttamalla. Savimailla tavoitteena on kapeahko, mutta mahdollisimman pitkä kosketuspinta, jolloin maan muodonmuutoksesta aiheutuva kulkuvastuksen osa on mahdollisimman pieni. Eloperäisillä maalajeilla kosketuspinnan tulee olla myös leveä, koska pintapaine ratkaisee kulkukyvyn.

Renkaan suuri jousto pienentää kulkuvastuserrointa upottavissa oloissa, koska suuren jouston vuoksi kosketuspinta ja eteenkin kosketuspituus kasvavat. Halkaisijaltaan pienen joustavan pyörän kosketuspinta voi olla yhtä suuri kuin halkaisijaltaan suuren jäykän pyörän (ks. kuva 5. s. 13). Lisäksi renkaan puhdistuvuus paranee samanaikaisesti kun jousto kasvaa. Renkaan tulee olla sitä joustavampi mitä pehmeämpi kulkualusta on.

#### 4. TUTKIMUKSEN KOKEELLINEN OSA

Kenttäkokeiden tavoitteena oli kerätä mahdollisimman vertailukelpoinen mittausaineisto leikkuupuimurin kulkukyvyyhin vaikuttavista tekijöistä suomalaisissa pelto-olosuhteissa. Tutkimus kohdistui pääasiallisesti eri koejäsenten käyttäytymiseroihin samankaltaisissa oloissa. Koeajot ajettiin Valtion maatalousteknologian laitoksen VAKOLAN koekentillä syksyjen 1985 ja 1986 aikana. Ensimmäisen koejakson aikana oli tarkoitus selvittää pääpiirteittäin erilaisten leikkuupuimurin rengas- ja taka-akselivaihtoehtojen soveltuvuus maalajeittain. Syksyllä 1986 koeohjelmaan sisällytettiin myös puimuri, jossa oli hydrostaattinen takaveto. Lisäksi ensimmäisen koeajosyksen kokeita täydennettiin osittain, kun haluttiin tarkempia tuloksia.

##### 4.1. Tutkimusmenetelmät

Leikkuupuimurin kulkukyvyn tutkiminen perustuu pääasiallisesti renkaiden luistojen ja kulkuvastusten vertailuun käytännön oloissa. Etupyöriä kokeiltiin kolmella erityyppisellä maalla: savimaalla, rinnemaalla ja eloperäisellä maalla. Lisäksi taka-akselikoe on oma erillinen kokeensa. Takapyörien kokeissa vertailu perustuu taka-akselin työntö- ja kulkuvastusvoiman sekä kulkuvastuskertoimen tarkasteluun. Muutamissa kokeissa on myös esitetty taka-akselin työntövoiman vaikutus etupyörien luistoon. Painonsiirron avulla tarkastellaan leikkuupuimurin sisäistä voimadynamiikkaa eri ajotilanteissa. Olosuhdemuuttujana on maan kovuutta ilmaiseva cone-arvo, jonka luotettavuus puimurin kulkuolosuhteiden kuvaajana vaihtelee eri kokeissa. Erityisesti rinnekokeissa cone-arvo ei kuvaa riittävän hyvin kulkuolosuhteita, sillä myös rinteiden kaltevuus vaikuttaa leikkuupuimurin kulkuun. Koska rinteiden kaltevuutta ei pystytty mittaamaan luotettavasti, niin olosuhdemuuttujat jätettiin rinnekokeissa pois aineistosta. Eturenkaiden luistoja ja taka-akselin työntövoimaa vertaillaan kulloisenkin ajokaistan sisällä, jonka kulkuolosuhteet oletetaan vakioiksi.

Tulokset esitetään pylväsdiagrammien ja käyrästäjien avulla. Tilastollinen tarkastelu on liitetty tulosten esittelyyn yhtey-

teen. Käytetyt tilastolliset menetelmät ovat yksi- ja kaksisuuntainen varianssianalyysi sekä Student-Neuman-Keuls -testi. Aineistolle on ominaista vertailtavien menetelmien varianssien erisuuruus. Tämä huonontaa tilastollisen käsittelyn luotettavuutta, koska analyysimenetelmien perusolettamukset eivät täysin toteudu. Mahdollinen virhe on eliminoitu ilmoittamalla merkitsevyyserot 5 % riskillä, 1 % tai 0.1 % riskin sijaan.

## 4.2. Koelaitteisto

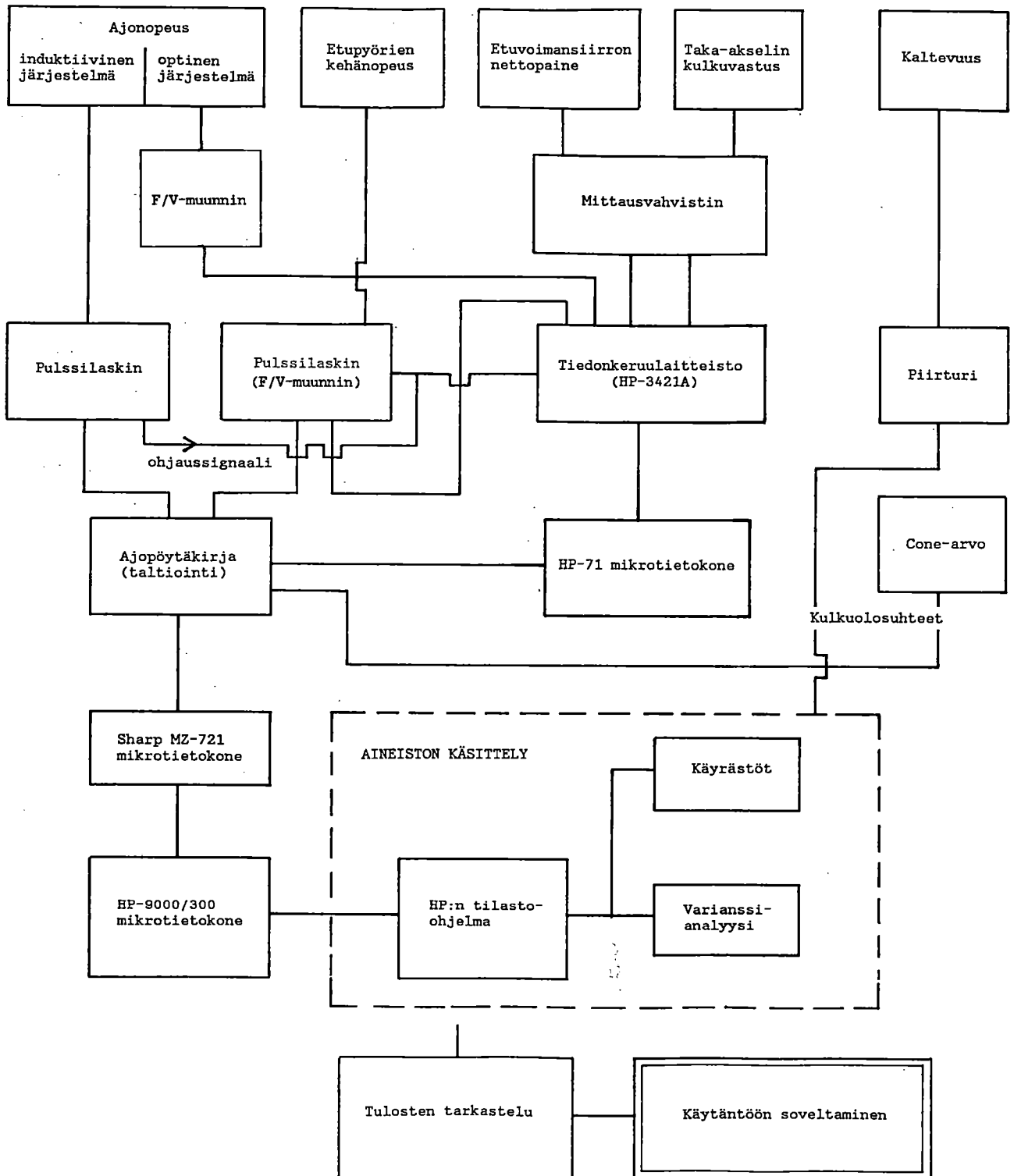
### 4.2.1. Mittaustekniikka syksyllä 1985

Koepuimurina oli Sampo Rosenlew 460 -leikkuupuimuri, jossa oli hydrostaattinen voimansiirto. Mittauslaitteiston (kuva 7) avulla määritettiin koeajokohtaisesti seuraavien muuttujien keskimääräiset mittausarvot (taulukko 1).

Taulukko 1. Mittausaineiston muuttujat

Muuttuja	Mittaustapa	Mittauspiste
1. Ajonopeus	Induktiivinen pulssianturi	Seuraaajapyörä
1. Ajonopeus	Optinen pulssianturi	- " -
2. Etupyörien kehänopeus	Induktiivinen pulssianturi	Vaihdelaatikko
3. Etuvoimansiirron tilavuusvirta	Induktiivinen pulssianturi	- " -
4. Etuvoimansiirron nettopaine	Venymäliuskapaineanturi	Pumpun painelinja
5. Taka-akselin kulkuvastus	Venymäliuska-anturi	Taka-akselisto
6. Kaltevuus	Heiluri - potentiometri-anturi	Ohjaamo
7. Cone-arvo	Cone-index -penetrometri	-

Ajonopeus optisella menetelmällä, etuvoimansiirron tilavuusvirta ja nettopaine sekä taka-akselin kulkuvastus mitattiin automaattisen tiedonkeruulaitteiston avulla. Mittausohjelman mittauskierroksen taajuus oli n. 2.5 kertaa/sekunti.



Kuva 7. Tiedon keruu- ja käsittelykaavio (1985)

Jokaisen koeajon päätyttyä taulukon 1 muuttujien keskimääräiset arvot kirjattiin muistiin lomakkeille. Aineiston laskentavaiheessa muuttujien arvot syötettiin Sharp MZ-721 -mikrotietoko-

neeseen. Koeajokohtaisia kulkualustan kaltevuuden mittaussarvoja ei voitu liittää mittaussaineistoon mittaussvaikeuksien vuoksi. Kaltevuuden mittaustulokset ovat vain viitteellisiä.

Sharp MZ-721 -mikrotietokoneen laskentaohjelma laski mittaussaineistosta edelleen lisämuuttujia, joista muodostettiin lopullinen havaintoaineisto tilastollista käsittelyä varten. Havaintoaineisto siirrettiin edelleen manuaalisesti HP-9000/300 tietokoneelle. Aineiston käsittelyä jatkettiin HP:n tilasto-ohjelmiston ja Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksella kehitetyn kuvanpiirto-ohjelmiston avulla.

Ajonopeuden mittaaminen perustui ns. seuraajapyörän kulkemaan matkaan aikayksikköä kohden. Seuraajapyörä oli asennettu puimurin taakse siten, että se kulki takapyörrien raidevälin keskellä ja pääsi kääntymään puimuriin nähden sekä sivu- että pystysuunnassa. Ajonopeus mitattiin induktiivisen anturin avulla, joka laski pyörän pinnoja. Ajonopeus saatiin seuraavan kaavan mukaisesti:

$$V_0 = \frac{k}{8.4 \cdot t}$$

jossa k = seuraajapyörältä tullut pulssien määrä mittausaikana  
 t = mittausaika (s)  
 vakio 8.4 = seuraajapyörän lähettämä pulssimäärä/metri

Seuraajapyörä kalibroitiin koeoloissa ajamalla toistuvasti 50 metrin mittamatka, jolla matkalla se lähetti keskimäärin 420 pulssia eli 8.4 pulssia/metri. Kalibrointimatka oli mitattu mittanauhalla. Optinen mittaussjärjestelmä mittasi ajonopeuden hajontaa. Seuraajapyörän luiston vaikutus mittaustuloksiin eliminoiduu osittain kalibroinnissa, koska luisto vaikuttaa osaltaan pulssivakion suuruuteen. Nopeista olosuhteiden muutoksista johtuva seuraajapyörän luiston vaihtelu ei puolestaan eliminoidu, koska vastaavia olosuhdevaihteluja ei sisälly kalibrointimatkaan. Tällaisia tekijöitä voivat olla esimerkiksi suurehkot maakokkareet, olkikasat, vesilätäköt, poikittaiset vesivaot tai muut vastaavat pellon epätasaisuudet. Koeolot valittiin kuitenkin siten, että kalibrointiajojen ja koeajojen olosuhteet olisivat mahdollisimman samankaltaiset.

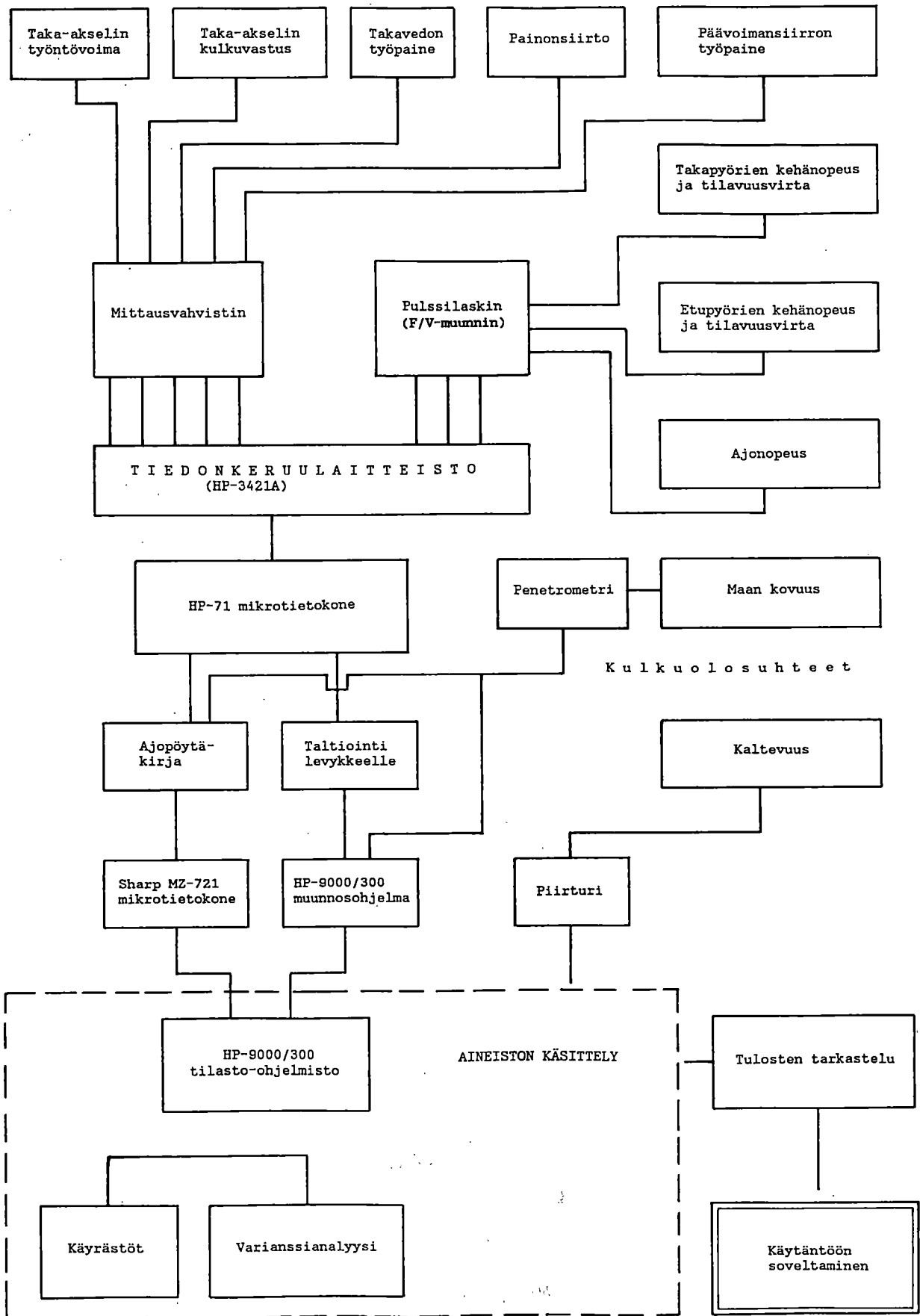
Taka-akselin kulkuvastus mitattiin puimurin takimmaisena runkokorvakkeen ja keinuakselin välistä. Voima-anturin nollakohdat ja kalibrointi-arvot oli määrätty rasituspenkissä, jossa anturia voitiin kuormittaa tunnetulla voimalla. Anturi osoittautui lämpötilaherkäksi, jonka vuoksi se jouduttiin toistuvasti kalibroimaan koeajojen aikana. Mittausvahvistimen syöttöjännite pidettiin kytkettynä ympäri vuorokauden. Tällä tavoin anturin toiminta vakaantui jonkin verran. Taka-akselin runkokorvakkeet, voimanmittausanturi ja keinuakseli oli puristettu yhteen n. 5000 N voimalla. Esijännityksen tarkoituksena oli parantaa anturin toimintaa. Esijännitys nopeutti kuitenkin vastinpintojen kulumista. Määräajoin toistuvat kalibroinnit olivat tarpeellisia. Lukitustappi ja vastinpinnat voideltiin päivittäin voiteluravalla. Anturin lukema nollattiin sileällä asfaltilla ajamalla puimuria vuoroin eteen- ja vuoroin taaksepäin. Mittausvahvistimen näytön lukeman tuli olla itseisarvoltaan yhtä suuri ajosuunnasta riippumatta. Tyypillinen lukemapari oli eteenpäin ajettaessa -700 N ja taaksepäin ajettaessa 700 N. Kun puimurin annettiin pysähtyä asfaltilla vapaasti rullaten, näytön tuli olla  $\pm 100$  N.

#### 4.2.2. Mittaustekniikka syksyllä 1986

Koeajopuimurina oli sama Sampo Rosenlew 460 leikkuupuimuri kuin syksyllä 1985. Puimurissa oli erilliset hydrostaattiset voimansiirtojärjestelmät sekä etupyörille että takapyörille. Etupyörien päävoimansiirtojärjestelmä muodostuu muuttuvatilavuusisesta aksiaalimäntäpumpusta, johon on kytketty kiinteätilavuuksinen aksiaalimäntämoottori. Aksiaalimäntämoottori on kytketty kolminopeuksisen vaihdelaatikon kytkinakselille. Puimurin ajonopeutta muutetaan suoraan pumpun tuottoa säätämällä. Työpaine määräytyy kehävoimavaatimuksen mukaan. Apuvoimansiirron pumppu on toimintaperiaatteltaan ns. painekompensoitu muuttuvatilavuuksinen aksiaalimäntäpumppu, joka saa ensiövedon etuvoimansiirron tapaan suoraan moottorin kampiakselilta. Pumpun tuotto säätyy automaattisesti siten, että järjestelmän työpaine on ajonopeudesta riippumatta ajon aikana vakio. Kolmiasentoinen (on-off-on) sähköisellä esiohjauksella oleva suunnanvaihtovent-

tiili on kytketty pumppuun, jolloin virtauksen suuntaa ja samalla takapyörrien pyörimissuuntaa voidaan muuttaa ilman, että pumpun läpi kulkevan tilavuusvirran suuntaa muutetaan. Venttiili saattoi olla myös off-asennossa, jolloin takapyörät pyörivät vapaasti. Suunnanvaihtoventtiilin sähköinen ohjaussignaali saatiin päävoimansiirron suunnanvaihtovivun rajakytkimeltä. Takavoimansiirron nestemootorit olivat säteismäntämootoreita, jotka oli rakennettu pyörän keskiöihin ilman mekaanista alennusvaihdetta, eli ne olivat ns. napamootoreita. Työpainetta voitiin säätää 3.5-20.0 MPa pelto-olosuhteiden mukaan ajon aikana puimurin ohjaamosta käsin. Tämä oli välttämätöntä leikkuupuimurin kokonaiskulkuvastuksen minimoimiseksi.

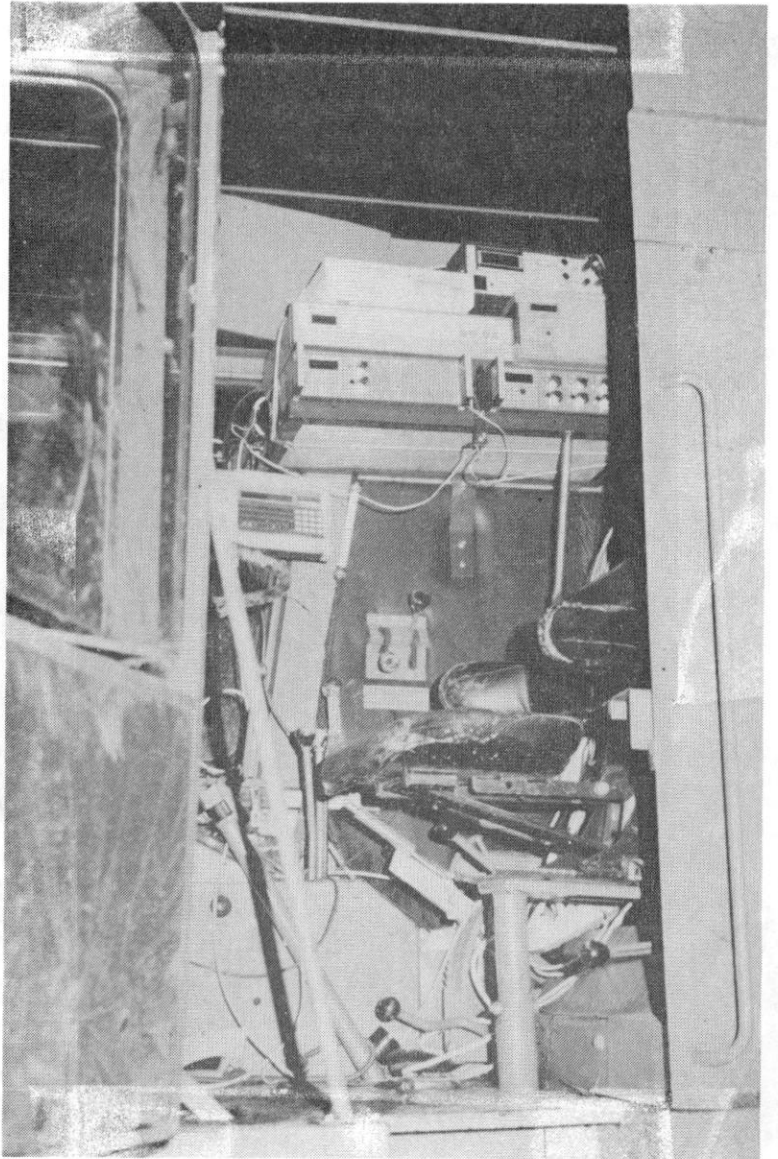
Mittauslaitteistoa oli parannettu syksyn 1985 kokemusten pohjalta. Mittauskanavia oli myös lisätty edellisestä vuodesta, koska puimurissa oli hydrostaattinen takaveto. Tiedonkeruulaitteiston mittauskierroksen taajuus oli n. 1.2 kertaa/sekunti. Tiedonkeruuhjelman mittausmatriisin kooksi oli määritetty 100 havaintoa · 10 muuttujaa. Tämän vuoksi jokaisesta koeajosta saatiin mittausarvot 0.83 sekunnin välein korkeintaan 83 sekunnin ajan. Koeajon päätyttyä mikrotietokone antoi jokaisen mittauskanavan keskimääräiset ajonaikaiset mittausarvot ja niiden hajonnat. Keskiarvot kirjattiin muistiin lomakkeelle. Maan kovuus eli cone-arvot liitettiin mittausaineistoon. Tämän lisäksi mittausjärjestelmä taltioi hetkelliset mittausarvot levykkeille, joilta ne myöhemmin purettiin tulosten käsittelyä varten (kuva 8).



Kuva 8. Tiedon keruu- ja käsittelykaavio (1986)

Kahden rinnakkaisen taltiointimenetelmän tarkoituksena oli varmentaa ja kontrolloida mittausjärjestelmän toimintaa (kuva 9). Ilman muistiinkirjaamista mahdollinen toimintahäiriö olisi ilmennyt vasta mittaustietojen purkuvaiheessa.

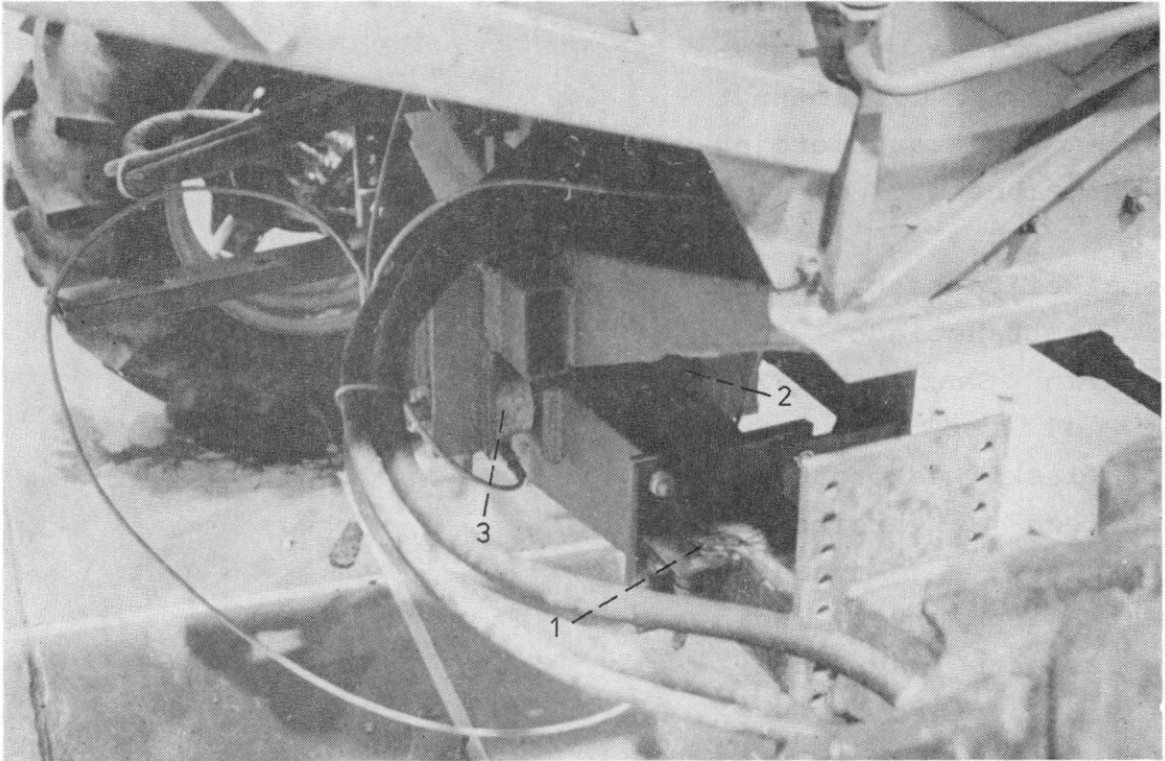
Lomakkeilta keskimääräiset mittaustiedot syötettiin Sharp MZ-721-mikrotietokoneeseen, joka laski keskiarvoista edelleen varsinaiset kulkukykyä kuvaavien muuttujien arvot. Näin muodostettu havaintoaineisto syötettiin Hewlett-Packard -mikrotietokoneeseen, jossa se edelleen taltiointiin levykkeelle.



Kuva 9. Mittauslaitteisto leikkupuimuriin asennettuna

Taka-akselin työntövoima- ja kulkuvastusanturit oli asennettu taka-akselistoon runkokorvakkeiden ja keinuakselin väliin (kuva 10). Työntövoimaa mittaava anturi oli asennettu keinuakselin etupuolelle ja kulkuvastusta mittaava anturi vastaavasti keinuakselin takapuolelle. Lukitusakseli oli pintakromattu, ja keinuakseliin oli asennettu öljykyllästetyt pronssiholkit. Laakeripinnoille oli järjestetty rasvavoitelu. Keinuakselin ja runkokorvakkeiden vastinpinnat oli lisäksi hiottu lukitusakselin suhteen suoraan tasoon. Runkokorvakkeiden ja antureiden välissä oli ohjainholkit, jotka olivat vastinpinnoiltaan yhdensuuntaiset

keinuakselin vastinpintojen kanssa. Voima-anturit olivat venymäliuska-antureita, jotka kalibroitiin rasituspenkissä. Koetilanteessa antureita kuormitettiin n. 1000-1500 N voimalla, jolloin keinuakseli liikkui herkemmin lukitusakselilla kuin ilman esijännitystä. Koeajojen aikana antureiden nollakohdat tarkistettiin vapauttamalla esijännitys ja säätämällä mittausvahvistimen näyttämä nollassi.



Kuva 10. Taka-akselin (1) painonsiirto-, (2) työntö- ja (3) kulkuvastusvoima-anturit

Tulosten laskentavaiheessa työntövoima-anturin voima-arvosta vähennettiin kulkuvastusanturin voima-arvo, jolloin saatu erotus oli taka-akseliin vaikuttava lopullinen voima. Koska esijännitys vaikutti molempiin antureihin tasaisesti, sen muutoskaan ei vaikuta voimien erotukseen.

Painonsiirtoanturi oli valmistettu liimaamalla venymäliuskoja keinuakselin ylä- ja alapinnalle. Anturin paikka määrättiin kokeilemalla pyrkien välttämään kotelorakenteen sisäisiä jännityshuippuja (kuva 10). Venymäliuskat mittasivat akselipalkin (100mm·100mm·5mm) taipumaa. Kalibrointivaiheessa määritettiin anturin epäherkkyys puimurin kulkusuuntaisille vääntymille sekä akselipalkin kiertojännitykselle. Mittaustarkkuuden rajoissa (10 N) anturi todettiin vakaaksi häiritseviltä voimakomponenteilta.

Painonsiirtoanturi kalibrointiin seuraavasti. Leikkuupuimurin takapyörät ajettiin autovaa'alle, jonka luentatarkkuus on 10 kg. Mittausvahvistimen näyttö nollattiin. Puimurin kohlinkammion päälle taka-akselin kohdalle nostettiin n. 600 kg. Taka-akseliin kohdistuva lisämassa luettiin autovaa'an näytöstä. Tämän jälkeen mittausvahvistimen vahvistuskerroin asetettiin niin, että vahvistimen näytön lukema oli yhtä suuri kuin punnittu lisäkuorma. Tämän jälkeen nollaus tarkistettiin nostamalla lisäpaino ylös kohlinkammion päältä. Korjausten jälkeen tehtiin tarkistuspunnituksia eri suuruisilla painoilla (400 kg, 200 kg), kunnes nollaus ja punnitut asetusarvot pysyivät paikoillaan.

#### 4.3. Koeolosuhteiden tarkkailu

Koeolosuhteet määritettiin ns. cone-arvon avulla. Cone-arvo on se keskimääräinen paine, joka tarvitaan kun teräväkärkinen kartio ( $30^\circ$ ), jonka halkaisija on 2 cm, työnnetään vakionopeudella (3 cm/s) maahan 10 cm syvyyteen (ASAE S313.1). Jokaisen painalluksen jälkeen kierrejousen avulla toimiva cone-penetrometri näytti painamiseen tarvittun suurimman voiman. Tämä maksimivoima jaettiin kahdella, jolloin saatiin painamiseen tarvittu keskimääräinen voima. Keskimääräisen voiman määrittäminen maksimivoiman avulla ei täysin vastaa standardia. Standardin mukainen mittaus olisi edellyttänyt tiedonkeruulaitteistolla varustetun mekaanisen cone-penetrometrin käyttöä, jolloin keskimääräinen voima määritetään eri syvyyksiltä saatujen lukuisten voimalukemien keskiarvona. Syksyn 1985 ajokokeissa maan kovuus määritettiin ennen jokaista koeajoa 10:stä eri kohdasta koeajomatkalta (kuva 11).



Kuva 11. Maan kovuuden mittaukseen käytetty cone-index-penetrometri

Syksyn 1985 koeajojen aikana koealueiden kosteusolot määritettiin ottamalla alueelta keskimäärin noin 8 kpl kosteusnäytteitä aamuin ja illoin (taulukko 2). Ennen punnitusta näytteet sekoitettiin muovipussissa. Sekoitetusta maasta otettiin pieninä erinä satunnaisnäyte kuivausastiaan punnitusta ja kuivausta varten. Näytteitä kuivattiin 105 °C:n lämmössä noin 24 tuntia, minkä jälkeen ne punnittiin uudelleen. Maan kosteuspitoisuus laskettiin seuraavan kaavan avulla:

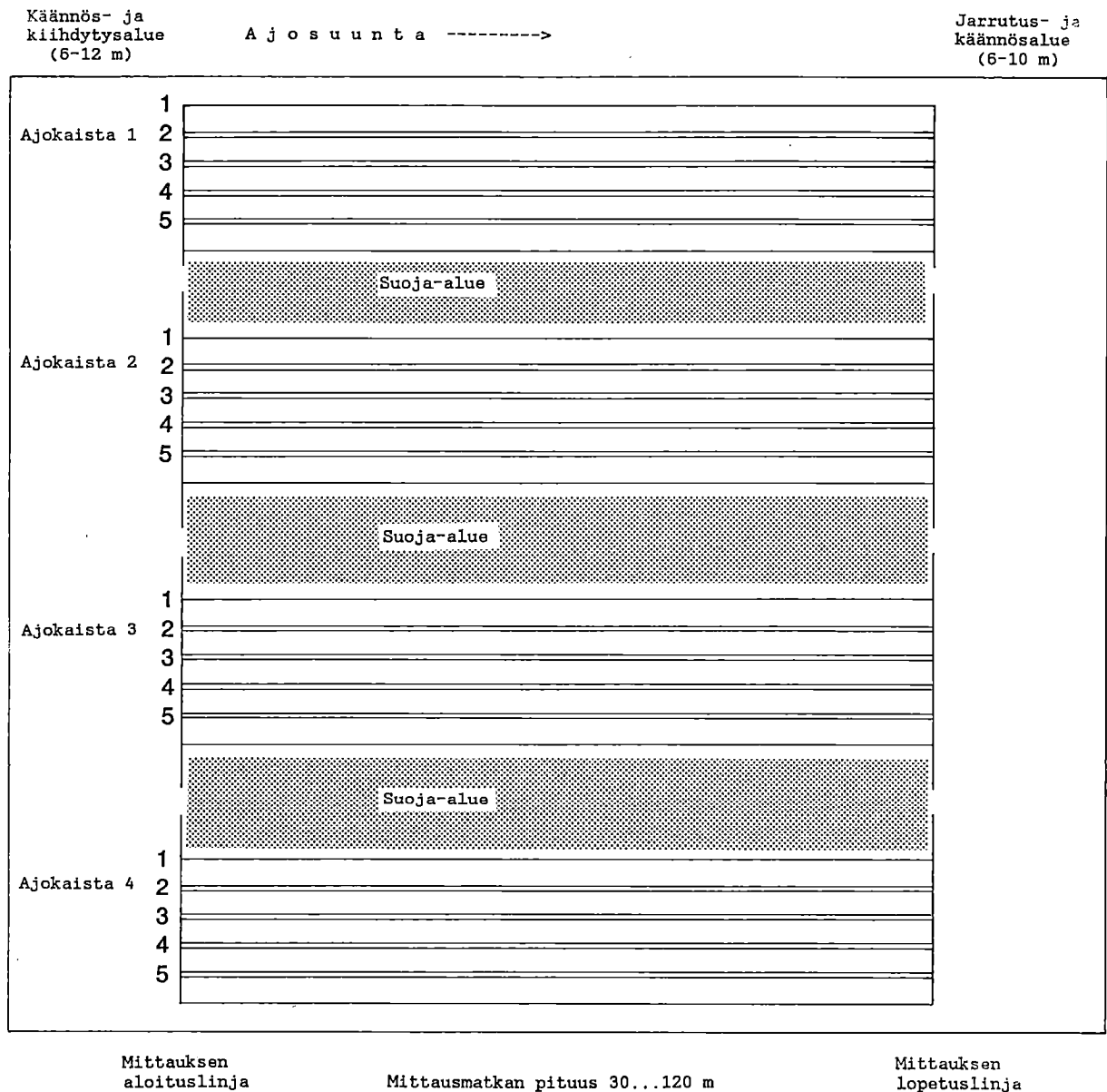
$$\text{Kosteus-\%} = \frac{M_m - M_k}{M_m} \cdot 100, \text{ jossa}$$

$M_m$  = märän maan massa ja  
 $M_k$  = kuivan maan massa

#### 4.4. Koejäsenet ja koealueet

Koealueet oli jaettu eri kokeissa 3-15 ajokaistaan. Ajokaistojen leveys puolestaan vaihteli koejäsenten lukumäärän mukaan. Jos oli ilmeistä, että olosuhteet muuttuisivat koealueen reunasta leveyssuunnassa läpi koko koealueen, ajokaistat erotettiin toisistaan suoja-alueella. Jokaisen koeajon mittaus aloitettiin

tarkoin merkkitolpilla koelueelle merkityltä linjalta. Aloituslinjaan mennessä koepuimurin nopeus oli tasaantunut alkukiihdytyksen jälkeen. Vastaavasti mittaus lopetettiin täsmällisesti lopetuslinjan kohdalla (kuva 12). Cone-arvo mittaukset aloitettiin jokaisessa koeajossa samasta kohdasta kuin tiedonkeruulaitteisto aloitti toimintansa. Kaikki koeajot ajettiin sänkipellolla leikkuupuimurin puintikoneisto sammutettuna.



Kuva 12. Periaatepiirros koekentästä ja ajojärjestelystä

#### 4.4.1. Syksyn 1985 koejäsenet

Vetopyörien kulkuominaisuuksia mitattiin kolmella eri maalajilla: hiesusavella, liejusavella ja eloperäisellä savella, jonka humuspitoisuus vaihteli suurimmassa osassa aluetta 13.4-21.2 %. Eloperäisestä savesta käytetään jatkossa nimitystä järvimuta. Koealueista otettiin maanäytteet, jotka analysoitiin Viljavuuspalvelussa eri maalajien osuuksien selvittämiseksi (liite 2). Kaikissa kokeissa ajonopeus oli n. 3 km/h, joka vastaa käytännön ajonopeutta vaikeissa oloissa. Koeajojen pituus oli n. 50 m, paitsi ns. rinneajojen, jotka olivat n. 120 m ja n. 70 m pitkiä (liite 3a). Koealueet valittiin siten, että ajojen mittaustulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia.

Renkaiden käyttäytymistä rinteessä tutkittiin tasaisesti nousevassa rinnemaastossa, jonka maalaji oli hiesusavi. Koeajokaistojen kaltevuus oli keskimäärin n. 6° ja suurimmillaan n. 10°. Olosuhdemuutosten vaikutusta mittaustuloksiin pienennettiin jakamalla kokeet kahteen eriaikaiseen koejaksoon. Rinneajoja ajettiin yhteensä 36 kpl, joista 20 ajoa oli 120 m ja 16 ajoa 70 m pitkiä. Lyhyissä ajoissa kaltevuus oli pienempi kuin pidemmissä koeajoissa, n. 5° (taulukko 2). Renkaiden kantavuusominaisuuksia tutkittiin upottavilla tasaisilla pelloilla, joiden maalaji oli pääosin järvimutaa (koealueet D ja F liejusavea). Koe koostuu 69:sta koeajosta, jotka ajettiin 5 osassa. Tähän koelohkoon sisältyvät renkaiden ilmanpaine- ja kuormakoe ja rengastyypin välinen maalajikoe. Renkaiden puhdistuvuutta ja maahan tunkeutumiskykyä pehmeän pintakerroksen (5-10 cm) läpi kovempaan pohjamaahan tutkittiin tasaisella sänkipellolla, jonka maalaji oli liejusavi.

Takapyörien kulkuvastuskoe muodostuu 39:stä n. 35 m pitkästä koeajosta. Kaikki koeajot ajettiin samalla alueella, jonka maalaji oli järvimuta. Kokeessa käytettiin kahta eri raideväliä. Kapeampi raideväli oli 119 cm, eli 5 cm kapeampi kuin kokeen leikkuupuimurin alkuperäinen takapyörien raideväli. Kun raideväli oli kapea, takapyörät kulkivat kokonaisuudessaan etupyörien pyöränjalkien sisäpuolella. Leveitä takapyöriä varten jouduttiin raideleveyttä lisäämään 119 cm:stä 123 cm:iin. Tällöin leveät renkaat saattoivat ajoittain kulkea etupyörien tekemässä uraval-

lissa. Leveämpi takaraideväli oli yhtä suuri kuin etupyörien raideväli, eli 207 cm. Kokeen vertailurengas oli puimurin alkuperäinen pitkittäisurakuviainen takarengas (11.5/80-15.3 6PR).

Taulukko 2. Ajokokeiden yhdistelmät syksyllä 1985

Koealue	Cone-arvo (kPa)	Kosteus (Z)	Etupyörät	Rengaspaineet (kPa)	Etuakseli paino (kN)	Takapyörät	Taka-akseli paino (kN)	Raideväli
Savirinne	462	24.2	18.4-26	125	48.7	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26 a	125	49.9	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26 b	125	49.7	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	600/60-30.5	160	51.1	11.5-15.3	13.9	kapea
Järvimuta	281	37.4	18.4-26	115	48.7	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4-26	125	48.7	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4-26	125	54.3	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4-26	125	58.2	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26	85	49.9	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	55.3	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	59.3	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	600/60-30.5	80	51.1	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	600/60-30.5	160	51.1	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	600/60-30.5	160	56.5	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	600/60-30.5	160	60.6	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	pa. 14.9-28*	70	51.4	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	pa. 14.9-28*	70	56.8	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	pa. 14.9-28*	70	60.9	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	11.5-15.3	12.1	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	11.5-15.3	16.9	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	400/55-17.5	12.5	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	400/55-17.5	14.3	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	400/55-17.5	17.3	kapea
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	11.5-15.3	14.2	leveä
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	12.5-18*	12.85	leveä
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	12.5-18*	14.65	leveä
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	12.5-18*	17.65	leveä
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	12.5-18	12.85	leveä
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	12.5-18	14.65	leveä
- " -	"	"	18.4R26	125	49.9	12.5-18	17.65	leveä
Liejusavi	290	31.9	18.4-26	125	48.7	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	260	"	18.4R26 a	125	49.9	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	320	"	18.4R26 b	125	49.7	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	290	"	600/60-30.5	100	51.1	11.5-15.3	13.9	kapea
- " -	290	"	16.9-34	90	50.3	11.5-15.3	13.9	kapea

\* Pa. 14.9-28 on paripyörävarustus jossa on renkaat 18.4-26 ja 14.9-28. Renkaiden välinen etäisyys on 6 cm. Rinteen kaltevuus vaihteli 5°-10°.

Matalaprofiilirenkaan (LP 400/55-17.5 8PR) halkaisija oli 6 cm suurempi ja leveys 13.7 cm suurempi kuin vertailurenkaan. Kulutuspinnan kuvio oli samantyyppinen. Kokeessa tutkittiin myös takapyörrien ripakuvion vaikutusta kulkuvastuksen ja puimurin ohjautumiseen. Vertailtavien renkaiden kokomerkinnot olivat samanlaiset (12.5/80-18 8PR). Pintakuvio oli toisessa renkaassa ripakuviollinen ja toisessa pitkittäisurainen, lähes sileä kuvio. Halkaisija oli 19.5 cm suurempi ja leveys 3.5 cm suurempi kuin vertailurenkaan.

#### 4.4.2. Syksyn 1986 koejäsenet

Takavoimansiirron rakenteen vuoksi takapyörille siirrettävää voimaa voitiin helposti säätää koeolosuhteiden ja tutkimustavoitteiden mukaisesti. Renkaan kehälle siirretty voima jakaantuu lopulliseksi vetovoimaksi ja toisaalta kulkuvastusvoimiksi. Vetovoimalla tarkoitetaan yleisesti renkaan vetovoimakertoimen ja pyöräkuorman tuloa. Renkaan vetovoiman määrittäminen edellyttää aina voimamittausta. Lisäksi kulkuvastuksen vaihtelu tekee siitä käytännössä varsin vaihtelevan suureen. Sitä vastoin renkaan kehälle siirretyn kehävoiman suuruus ei vaihtele kulkuolosuhteiden mukaan, koska se on vetovoiman ja kulkuvastuksen summa. Renkaan kehävoima voidaan laskea renkaan kehänopeuden, tilavuusvirran, nettopaineen ja hydraulimoottorin hyötysuhteen avulla. Koska kehävoiman vakioiminen koeajon ajaksi oli mahdollista, se soveltui vetovoimaa paremmin kuvaamaan takavedon käyttöastetta.

Puimurin kulkukykyä savimaalla selvittävässä kokeessa eturenkasvaihtoehtoina olivat 18.4-26 ristikudosrenkas, 18.4R26 vyörenkas ja 600/60-30.5 matalaprofiilinen renkas. Hydrostaattisen voimansiirron avulla takapyörille siirrettävät kehävoimat olivat: 0 kN, 1.6 kN, 4.6 kN ja 9.1 kN. Kapea taka-akseli oli lisäksi yhtenä koejäsenenä. Koeajojen pituus oli n. 50 m (liite 3b). Etupyörrien kehänopeus oli 3.6 km/h. Etuakselikuorma oli 5020 kg, ja taka-akselikuorma oli 1640 kg (taulukko 3).

Rinteessä tutkittiin eri eturenkasvaihtoehtojen ja takavedon vaikutusta puimurin liikkumiseen. Kokeen eturenkasvaihtoehdot olivat 18.4-26 ristikudosrenkas ja 18.4R26 vyörenkas ja 600/60-

30.5 matalaprofiilinen rengas. Hydrostaattisen takavedon avulla takapyörille siirretyt kehävoimat olivat: 0 kN, 2.5 kN, 5.0 kN ja 8.5 kN. Etupyörrien kehänopeus oli n. 3.6 km/h. Etuakselikuorma oli 5020 kg, ja taka-akselikuorma oli 1640 kg.

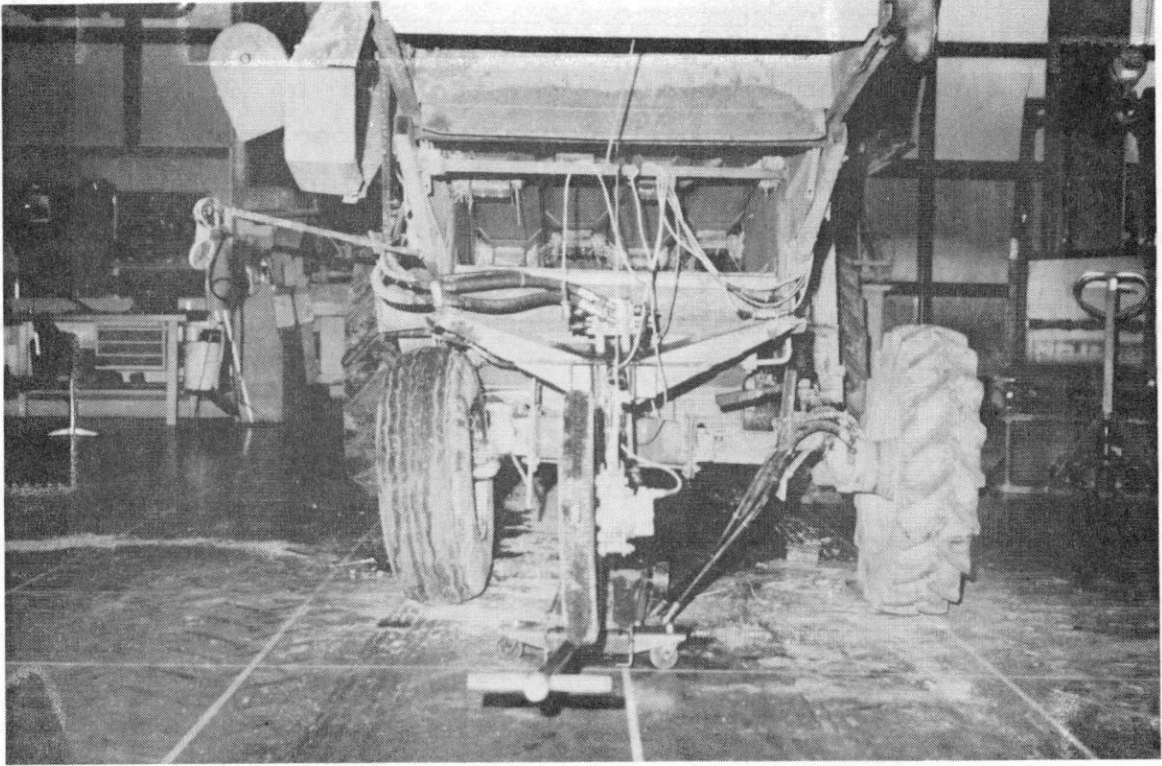
Suomaalla ajetuissa kokeissa oli mukana matalaprofiilinen rengas (600/60-30.5) ja ristikudosrengas (18.4-26). Taka-akselin kehävoimaa lisättiin asteittain 0 kN:sta aina n. 9 kN:iin asti. Vyörenkaita ei voitu kokeilla lainkaan koeolojen muuttumisen vuoksi. Leikkuupuimurin akselikuormia oli pienennetty tuntuvasti tyhjentämällä viljasäiliö. Etuakselikuorma oli kokeessa 3800 kg ja taka-akselikuorma 1350 kg. Etupyörrien kehänopeus oli n. 3.6 km/h, mutta todellinen ajonopeus oli suuren luiston vuoksi selvästi alempi (2.0-3.0 km/h).

Taulukko 3. Ajokokeiden yhdistelmät syksyllä 1986

Koealue	Cone-arvo (kPa)	Etupyörät	Rengaspaineet (kPa)	Etuakselipaino (kN)	Takapyörät	Taka-akselipaino (kN)	Raideväli	Takapyörrien kehävoima
Savirinne	287	18.4-26	115	50.3	11.5-15.3	14.0	kapea	-
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	0 kN
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	2.5 kN
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	5.0 kN
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	8.5 kN
- " -	"	600/60-30.5	55	52.7	12.4-24	16.4	leveä	0 kN
- " -	"	18.4R26	90	51.5	12.4-24	16.4	leveä	0 kN
Suomaa	-	18.4-26	115	36.8	12.4-24	13.5	leveä	0 kN
- " -	-	18.4-26	115	36.8	12.4-24	13.5	leveä	2.3 kN
- " -	-	18.4-26	115	36.8	12.4-24	13.5	leveä	5.5 kN
- " -	-	18.4-26	115	36.8	12.4-24	13.5	leveä	8.8 kN
- " -	-	600/60-30.5	55	39.2	12.4-24	13.5	leveä	0 kN
- " -	-	600/60-30.5	55	39.2	12.4-24	13.5	leveä	2.3 kN
- " -	-	600/60-30.5	55	39.2	12.4-24	13.5	leveä	5.8 kN
- " -	-	600/60-30.5	55	39.2	12.4-24	13.5	leveä	7.3 kN
Liejusavi	320	18.4-26	115	50.3	11.5-15.3	14.0	kapea	-
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	0 kN
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	1.6 kN
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	4.6 kN
- " -	"	18.4-26	115	50.3	12.4-24	16.4	leveä	9.1 kN
- " -	"	600/60-30.5	55	52.7	12.4-24	16.4	leveä	0 kN
- " -	"	18.4R26	90	51.5	12.4-24	16.4	leveä	0 kN

Jokaisena koeajopäivänä ajettiin ennalta suunniteltu koesarja. Joskus koesarjat olivat niin suuria, että niitä ei pystytty ajamaan kokonaisuudessaan yhtenä päivänä. Muutamia koeajoja uusittiin seuraavina koeajopäivinä. Tällä tavoin oli mahdollista

kytkeä yhteen esimerkiksi kahden peräkkäisen päivän koeajojen tulokset. Monimutkaisen koerakenteen vuoksi suuri osa päivittäisestä työajasta kului koelaitteiston huoltoon ja valmistelutöihin (kuva 13).



Kuva 13. Taka-akselin vaihto. Nelivetoinen koeajopuimuri muutetaan normaaliksi puimuriksi. Hydraulimoottorit ja keinuakselin jatkeet irrotetaan ja puimurin alkuperäiset takapyörät asennetaan paikalleen.

Syksyn 1986 kokeissa maan kosteutta ei määritetty, koska se ei kuvannut riittävän hyvin maan kulkuolosuhteita. Sitä vastoin cone-arvon määrittäminen tarkennettiin lisäämällä mittauspisteitä. Kovuusmittaus tehtiin jokaisesta koeajosta 2 m:n välein siitä paikasta lähtien, kun puimurin tiedonkeruulaitteisto aloitti mittauksensa. Tämän vuoksi cone-arvojen liittäminen havaintomatriisiin olisi ollut mahdollista. Poikkeuksellisen kuiva kesä oli muodostanut pohjamaahan sitkeän maakerroksen. Kerroksen paksuus ja etäisyys maanpinnasta vaihteli. Tämä vaikeutti maan kovuuden määrittämistä. Syksyn 1986 cone-arvot eivät kuvaa kulkuoloja niin hyvin kuin syksyn 1985 mittausten perusteella osattiin odottaa. Suomaan kokeissa cone-arvoa ei määritetty lainkaan, koska mittalaite ei antanut mitään voimanäyttämää.

## 5. AJOKOKEIDEN TULOKSET

### 5.1. Eturengaskokeiden tulokset

#### 5.1.1. Rengastyyppien vertailu tasaisella savimaalla

Liejusavella maan leikkauslujuus on kerrostunut voimakkaasti syvyysuuntaisesti. Maan pintakerros (5-10 cm) on varsin pehmeä ja liukas. Muokkaussyvydestä alaspäin maa muuttuu selvästi kuivemmaksi ja myös kovemaksi. Tällaisella alustalla liikkuminen edellyttää renkaan tunkeutumista pehmeän pintakerroksen läpi kovempaan pohjamaan.

Kokeen aikana mitattiin renkaiden uppoumat ja pohjamaan kovuus. Pohjamaan kovuusmittauksessa seurattiin koeolosuhteita kunkin renkaan kohdalta. Koeolosuhteet ovat pysyneet riittävän vakiona kokeen aikana (taulukko 4). Yksisuuntaisen varianssianalyysin perusteella cone-arvot eivät poikkea toisistaan 5 prosentin riskitasolla.

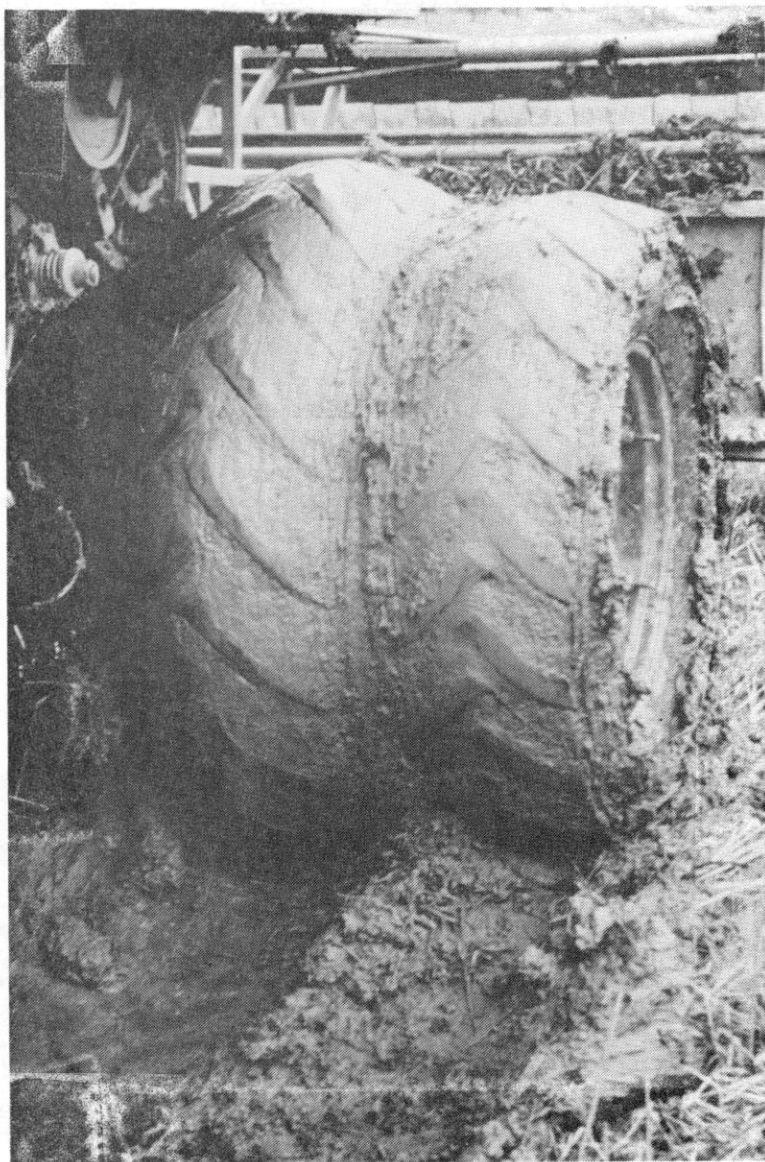
Taulukko 4. Liejusavikokeen renkaiden ilmanpaineet, uppoumat ja pohjamaan cone-arvo

Rengas	Renkaiden ilmanpaine (kPa)		Uppouma (cm)	Pohjamaan (10 cm) cone-arvo (kPa)
	vasen	oikea		
1. Ristikudosrengas (18.4-26)	140	110	8	580
2. Vyörengas A (18.4R26)	140	110	8.5	520
3. Vyörengas B (18.4R26)	140	110	9.5	640
4. Matalaprofiili-rengas (600/60-30.5)	110	90	7	580
5. Ristikudosrengas (16.9-34)	100	80	6	580

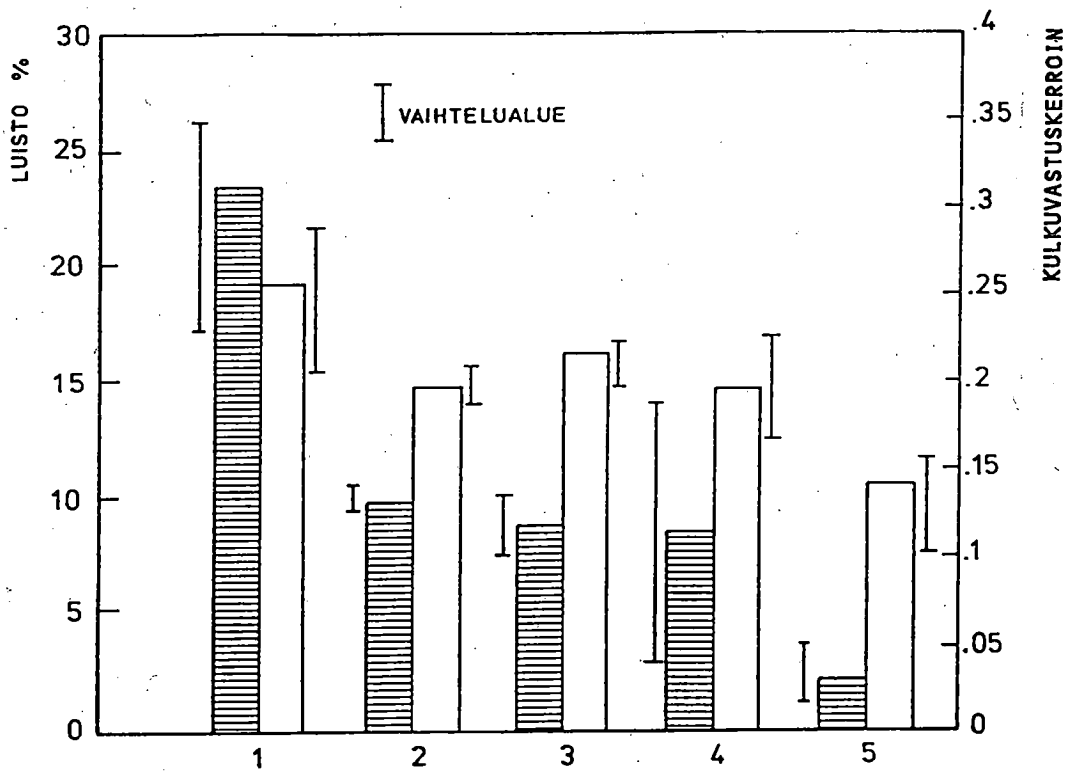
Uppouma on mitattu maan pinnasta rivan painanteen pohjaan.

Vyörenkaat käyttäytyivät johdonmukaisesti jokaisessa koeajossa. Renkaiden kuviot pysyivät puhtaina. Tällöin tunkeutuvuus oli riittävä ja luisto samanaikaisesti kohtuullinen, minkä vuoksi pellolle jäävät raiteet olivat selvästi matalammat kuin vertailurenkaan. Ristikudosrengas (16.9-34) menestyi kokeessa selvästi parhaiten. Todennäköisimmät syyt ovat alhaisesta ilmanpaineesta johtuva hyvä puhdistuvuus, muita renkaita suurempi vierintäsäde ja renkaan kapeus. Renkaan puskuvastus on muita renkaita pienempi, mikä näkyy myös alhaisena kulkuvastuskertoimen arvona. Suhteellisen alhainen renkaan ilmanpaine paransi selvästi matalaprofiilirenkaan kuvion puhdistuvuutta. Ajoraiteet olivat matalammat kuin vyörenkaiden ja ristikudosrenkaiden. Ajojen välillä on kuitenkin enemmän hajontaa kuin esimerkiksi vyörenkailla. Tämä saattoi johtua leveän renkaan puutteellisesta tunkeutuvuudesta. Rengas oli alttiimpi pehmeän maakerroksen paksuuden vaihteluille kuin kokeen kapeammat renkaat.

Levikepyöristä oli selvästi haittaa liejusavella. Rengas levikepyörineen muurautui täysin umpeen. Kaikki neljä koeajoa päättyivät kiinnijäämiseen (kuva 14). Tämän vuoksi levikepyörien luisto- ja kulkuvastuspylväitä ei voida esittää lainkaan (kuvio 7).



Kuva 14. Levikepyörät eivät sovellu upottaville savimaille, sillä parirenkaiden väli tukkeutuu helposti.



Luisto  
 $p = 5 \%$   
 $W_5 = 6.585$

A  
 B  
 C  
 A  
 B  
 C

K.vast.k.  
 $p = 5 \%$   
 $W_5 = 0.05$

	<u>Rengaskoko</u>	<u>Ilmanpaine, kPa</u>
1.	Ristikudosrengas 18.4-26	125
2.	Vyörengas a 18.4 R 26	125
3.	Vyörengas b 18.4 R 26	125
4.	Matalaprofiilirengas 600/60-30.5	100
5.	Ristikudosrengas 16.9-34	90

Renkaiden välillä on merkitseviä eroja luiston ( $p = 0.1 \%$ ,  $F = 26.4734$ ) ja kulkuvastuskerroimen suhteen ( $p = 0.1 \%$ ,  $F = 14.9792$ ). Merkitsevyysraja  $0.1 \%$  riskillä  $F = 8.25$ ,  $df = 15$ .

Kuvio 7. Puimurin etupyörien luisto ja kulkuvastuskerroin liejusavella (1985). Koesarjan luisto- ja kulkuvastusarvot ovat useiden kokeiden keskiarvoja. Etuakselikuorma on 5020 kg ja taka-akselikuorma on 1640 kg. Maan kosteus  $31.9 \%$ . Cone-arvo 290 kPa.

Levikepyörävarustusta lukuun ottamatta ristikudosrengas (18.4-26) oli liejusavella selvästi muita huonompi. Riittävä tunkeutuvuus saavutettiin vasta, kun luisto oli n. 25 % (kuvio 7). Suuren luiston vuoksi pellolle jäi syvähköt raiteet. Kulku oli myös paikoitellen nykivää. Suuresta luistosta johtuu myös selvästi korkein kulkuvastuskerroin. Kun luisto oli yli 20 %, myös suuntavakavuus alkoi huonontua. Puimuri siirtyi paikoitellen sivuttain. Etupyörien nostattaman uravallin vuoksi ohjaaminen oli vaikeaa. Kokeen aikana takapyörien raideväli oli kapea, eli n. 119 cm.

### 5.1.2. Rengastyyppien vertailu rinnepellolla

Eri renkaat käyttäytyivät rinteisessä maastossa hyvin vaihtelevasti. Ne jakautuivat selvästi kahteen ryhmään: vyörenkaat ja ristikudosrenkaat. Renkaan rakenteen joustavuudella ja kuvion puhdistuvuudella näytti olevan ratkaiseva merkitys. Lisäksi renkailta vaadittiin tunkeutumiskykyä. Koesarjassa oli 7 koeajokaistaa, joiden kaltevuus vaihteli (ks. s. 30). Koeajokaistat 5,6 ja 7 poistettiin aineistosta tulosten laskennan aikana, koska niiden olosuhteet olivat liian helpot, jotta koejäsenten erot olisivat olleet käytännössä merkittäviä.

Taulukko 5. Rinnekokeen renkaat (syksy 1985).

Rengas	PR	Ilmanpaine, kPa		V.säde, mm	R.leveys, mm
Ristikudosrengas (18.4-26)	6	vasen 140	oikea 110	665	463
Vyörengas A (18.4R26)	8	140	110	674	453
Vyörengas B (18.4R26)	..	140	110	675	460
Matalaprofiilirengas* (600/60-30.5)	8	160	160	714	585

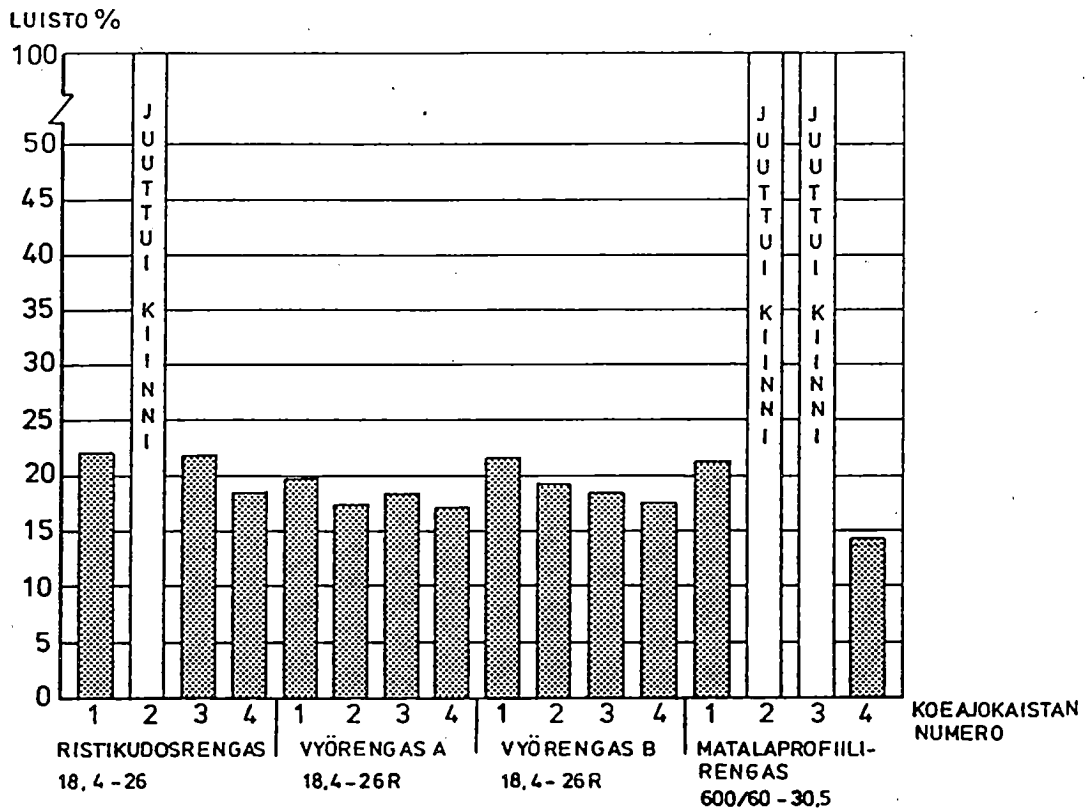
\* matalaprofiilirenkaan rakenne on ristikudostyyppinen

Ristikudosrengas (18.4-26) oli matalaprofiilista (600/60-30.5) rengasta lukuunottamatta selvästi muita renkaita huonompi. Sen puhdistuvuus ja tunkeutuvuus olivat kuitenkin melko johdonmukaisia. Erot johtunevat pääosin matalasta rivasta (taulukko 5).

Kokeessa oli mukana kaksi vyörengasta, vyörengas A ja vyörengas B. Merkittävin ero vyörenkaiden välillä oli kulutuspinnaassa (liite 4). Vyörengas A:n kulutuspinnan ripojen leveys (35 mm) oli pienempi kuin vyörengas B:n (44 mm). Vyörengas B:n ripamäärä oli 18 ja vyörengas A:n 17. Renkaan rivan maahantunkeutumisessa kapeasta rivasta on hyötyä. Nämä erot tulivat osittain esiin koeajokaistoissa 1-4, jotka olivat vaikeimmat osuudet. Vyörengas A:n kuvion vahvikerivat eivät haitanneet puhdistuvuutta. Kokeiltujen vyörenkaiden väliset erot ovat kuitenkin hyvin pienet ja käytännössä merkityksettömät rinneolosuhteissa. Molempien renkaiden maahantunkeutuvuus ja kuvion puhdistuvuus olivat erinomaiset. Luiston sieto kuvion tukkeutumatta oli parempi kuin ristikudosrenkaan ja selvästi parempi kuin leveän matalaprofiilirenkaan (kuvio 8).

Matalaprofiilirengas käyttäytyi kokeessa ajoittain epäjohdonmukaisesti. Suurin syy oli leveän renkaan huono kuvion puhdistuvuus. Korkea renkaiden ilmanpaine huononsi entisestään tilannetta. Renkaan kosketuspinta-alan leveyden takia maahan tunkeutuminen ei ollut riittävää, vaikka ripa oli varsin kapea (liite 4). Luiston sieto kuvion tukkeutumatta oli huono. Kasvanut vierintäsäde, jolloin luisto-% on todellista pienempi, selittää osittain poikkeuksellisen hyvin sujuneet ajot.

Rinnekokeen tuloksia ei voida tarkastella tilastollisesti, koska lukuisten kiinnijäämisten suhteuttaminen muihin, hyvin menneisiin koeajoihin on mahdotonta. Luiston hajonta on ainoa tilastollinen tunnusluku, jota voidaan käyttää (taulukko 6). Pieni hajonta osoittaa renkaan käyttäytyneen tasapainoisesti koetilanteessa. Hajontaan on laskettu mukaan ainoastaan sellaiset ajot, jotka on ajettu loppuun saakka ilman kiinnijääntiä.

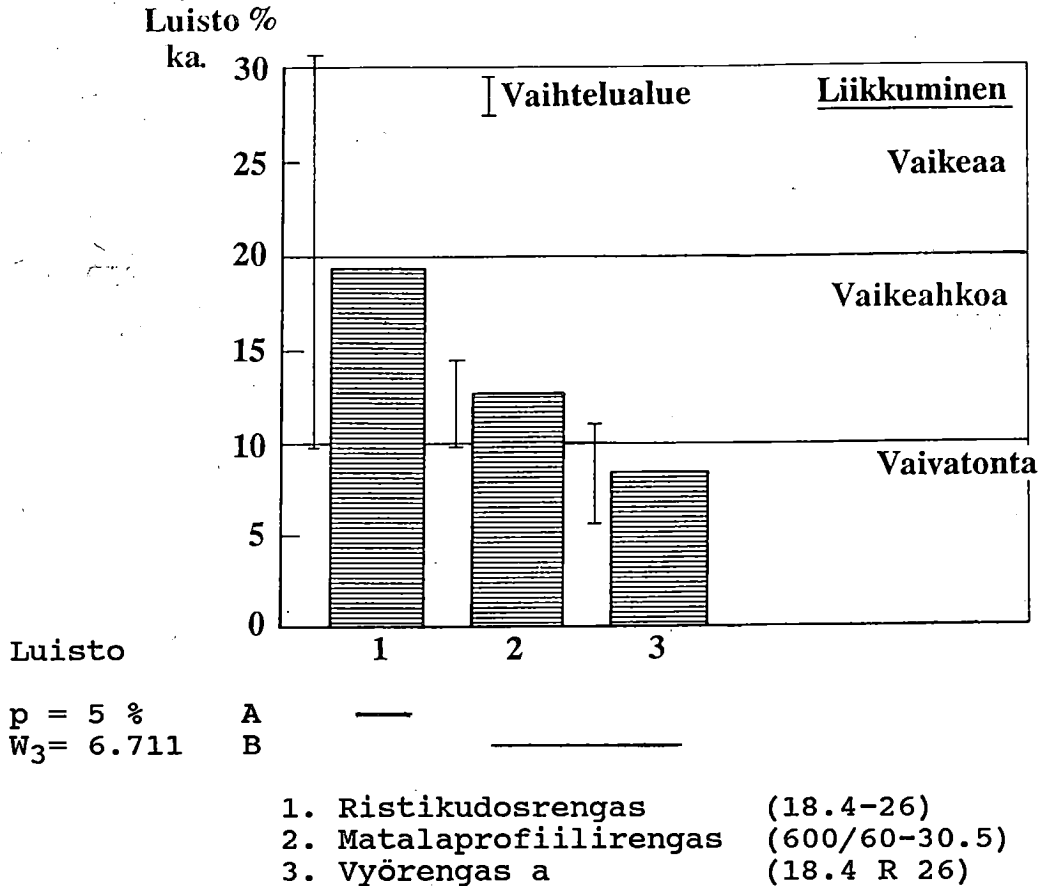


Kuvio 8. Vetävien pyörien luisto rinnemaastossa syksyn 1985 kenttäkokeiden mukaan. Maalaji on hiesusavi. Kosteus 24.4 %. Koealueen keskimääräinen cone-arvo 428 kPa. Rinteen kaltevuus 5°-10°.

Taulukko 6. Rinnekokeiden tuloksia (syksy 1985). Maalaji on hiesusavi.

Rengas	Kiinnijäänti Ajokaista No	Luisto-% haj.
Ristikudosrengas (18.4-26)	2	5.0
Vyörengas A (18.4R26)	-	2.8
Vyörengas B (18.4R26)	-	4.1
Matalaprofiilirengas (600/60-30.5)	2,3	5.0

Rinnekokeiden tulosten hajonta on suuri (kuviot 8,9). Hajonta kertoo omalta osaltaan renkaan herkkyydestä olosuhteiden vaihtelulle. Syksyllä 1986 rinnekokeita jatkettiin osin samoilla koejäsenillä.



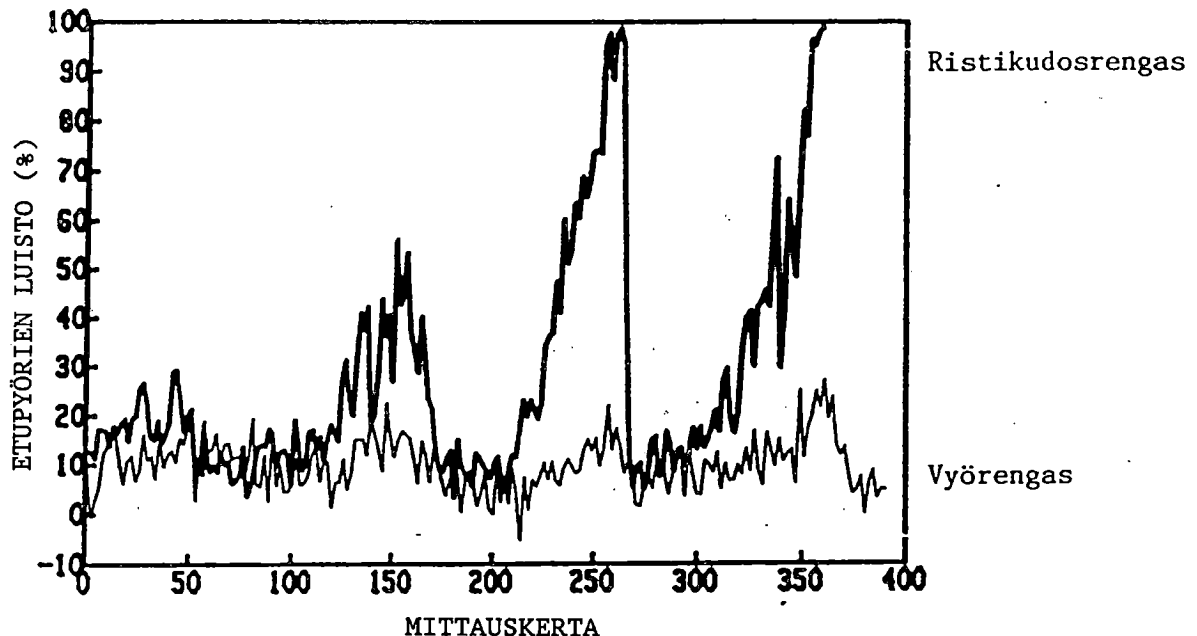
Parittaisen t-testin mukaan vyörenkaan ja matalaprofiilirenkaan välillä on myös merkitsevä ero ( $t=4.583$ ,  $df=14$ ). Merkitsevyysraja 0.1 % riskillä  $t=4.14$ ).

Kuvio 9. Etupyörien keskimääräinen luisto rinnekokeessa (syksy 1986). Maalaji on hiesusavi. Kaltevuus 5°-10°. Koealueen keskimääräinen cone-arvo 287 kPa.

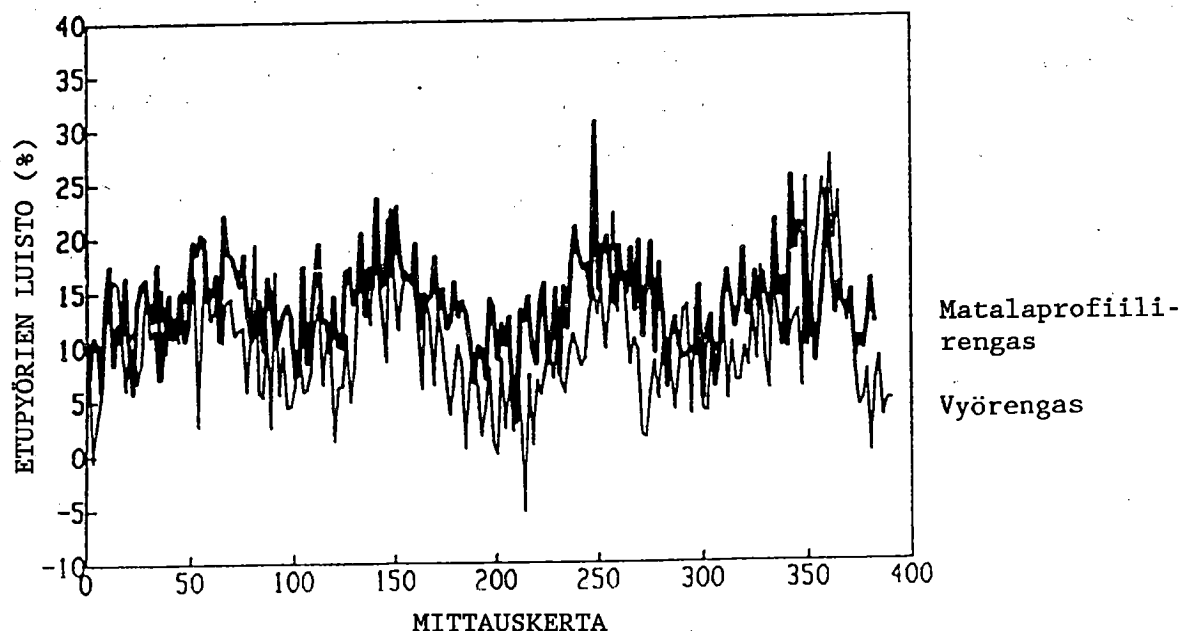
Mittaustulosten laskentavaiheessa aineistosta poistettiin kulkuolosuhteiltaan 6 helpointa koeajokaistaa, koska niiden ei katsottu vastaavan ns. vaikeita puintioita. Tulokset perustuvat jokaisen renkaan kahdeksan koeajon keskiarvojen ja hetkellisten mittaustulosten tarkasteluun.

Syksyn 1985 koejaksoon verrattuna selvin muutos oli matalaprofiilirenkaan johdonmukaistunut käytös. Renkaan ilmanpaineen alentaminen 160 kPa:sta 55 kPa:n lisäsi renkaan joustoa selvästi. Renkaan puhdistuminen ja luistonsietokyky paranivat ratkaisevasti. Vyörenkaan käyttäytyminen oli aikaisempaan kokeeseen nähden varsin samankaltaista. Kuvion puhdistuvuus ja renkaan kyky tunkeutua kovaan pohjamaahan olivat erinomaiset. Ristikudosrengas käyttäytyi myös edellisen vuoden kokeen kaltaisesti. Kuvion puhdistuvuus ei ole yhtä hyvä kuin vyörenkaan. Lisäksi matalahkon ripakorkeuden takia renkaan ote ei aina pitänyt liukkaalla pinnalla. Seuraus oli kiinnijääminen.

Renkaiden käyttäytymistä voidaan tarkastella koeajokohtaisesti vertaamalla eri renkaiden etupyörien luiston ääriarvoja. Seuraavissa kuvioissa (kuviot 10a ja 10b) neljä koesarjojen vaikeinta ajokaistaa on yhdistetty yhdeksi luistodiagrammiksi. Kunkin alkuperäisen koeajon kesto on n. 100 mittausta.



Kuvio 10a Leikkuupuimurin etupyörien hetkelliset luistoarvot rinnekokeen aikana. Ristikudosrengas (18.4-26) ja vyörengas a (18.4 R 26). Havaintoväli on 0.83 s.



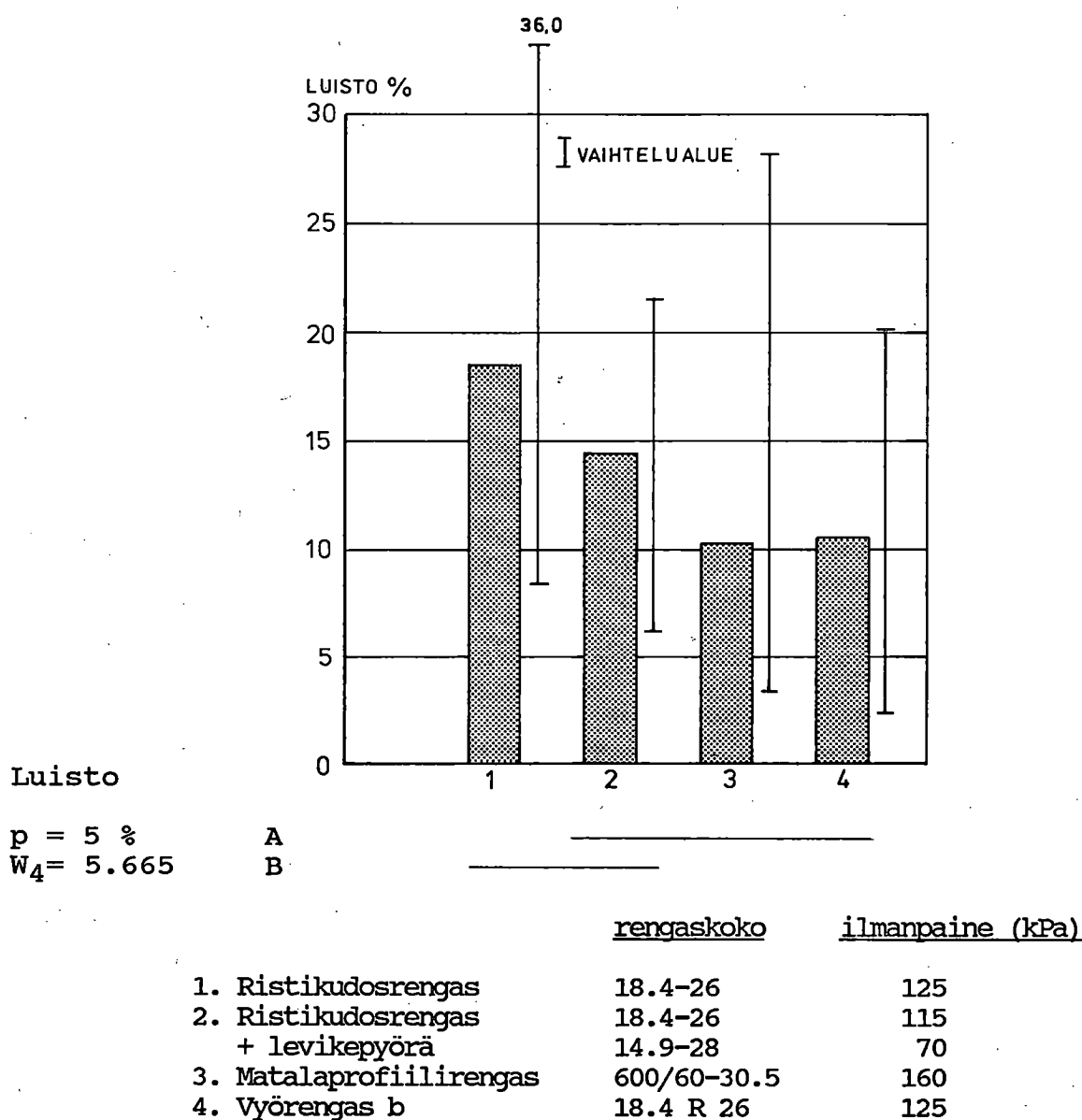
Kuvio 10b Leikkuupuimurin etupyörien hetkelliset luistoarvot rinnekokeen aikana. Matalaprofiilirengas (600/60-30.5) ja vyörengas a (18.4R26). Havaintoväli 0.83 s.

Diagrammista voidaan erottaa koeajokaistan jyrkin rinteeseen osaksi käyrän huippukohtana. Kaikista korkeimmat huiput (luisto 100 %) osoittavat kiinnijääntä. Ristikudosrenkaan luistokäyrästä nähdään selvimmin luiston nopea kasvu yli 30 % luistotasolta lähtien. Jos renkaan luisto lähestyy 30 %, pintakuvion tukkeutuminen voi aiheuttaa nopean kiinnijäämisen.

### 5.1.3. Rengastyypin vertailu eloperäisellä maalla

Kokeet tehtiin neljällä eri peltolohkolla kuutena koesarjana. Maalajien humuspitoisuus vaihteli peltolohkoittain (liite 2). Valtaosa koealueista oli hyvin pehmeäpohjaisia maita. Yhdellä koesarjan peltolohkolla (D,F) humuspitoisuus oli kuitenkin alhaisempi kuin muissa lohkoissa, jolloin myös pohjamaa oli selvästi kovempaa. Humuspitoisella maalla kuvion täyttyminen ei yleensä ole ongelma. Lisäksi ripakuvion merkitys on vähäisempi kuin savimailla.

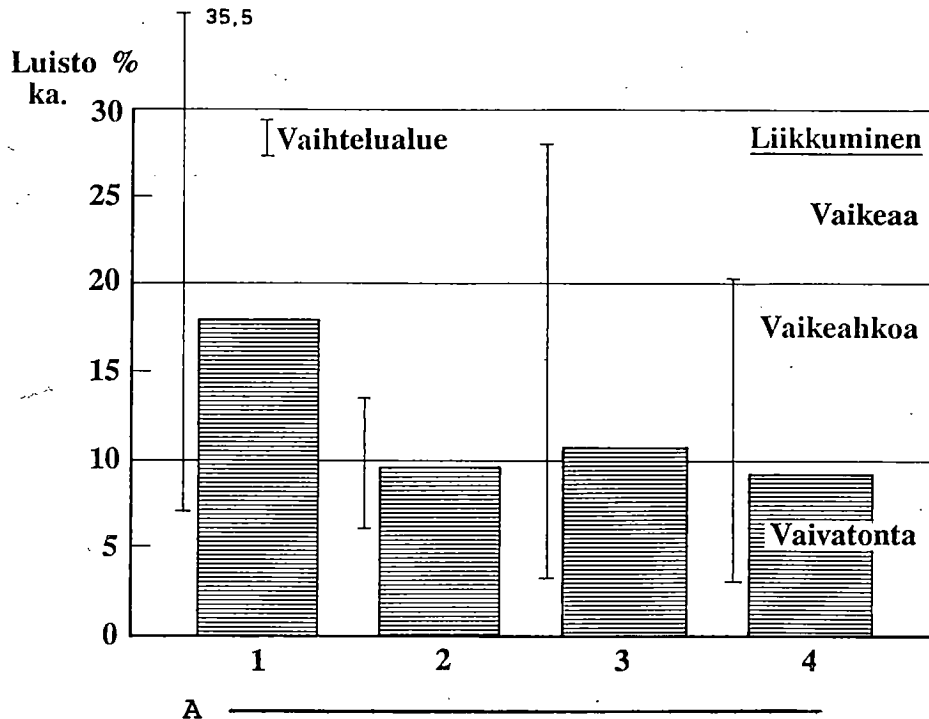
Kuvion 11 koe on alueilta D,F,E ja H (liite 3a), jolloin kerranteiden määrä ilman aineiston rajausta on 18 kpl. Aineistoa karsittiin tulosten laskentaa varten siten, että luistoarvoltaan kahden alhaisimman ajokaistan mittaustulokset poistettiin aineistosta. Näin ei kuitenkaan tehty levikepyörien mittaustuloksille, koska poistettavat ajot olivat ajokaistoilla, joita ei ajettu levikepyörillä lainkaan. Koeajojen määrä väheni rajauksen takia 66:sta ajosta 60:een ajoon. Näin saatu aineisto vastasi paremmin tutkimuksessa tavoiteltuja olosuhteita.



Kuvio 11. Puimurin etupyörien luisto järvimudalla (1985). Koesarjan luistoarvot ovat useiden kokeiden keskiarvoja. Etu-akselikuorma 5030 kg ja taka-akselikuorma 1450 kg.

Ristikudosrenkaan (18.4-26) kosketuspinta-ala oli pehmeällä pel-  
lolla liian pieni. Rengas upposi liian syvälle ennen kuin koske-  
tuspinta-ala kasvoi riittävän suureksi. Tämän vuoksi syntyi liian  
suuri puskuvastus. Renkaan edustan puhdistamiseen tarvittiin  
suhteellisen paljon luistoa. Vyörenkaan kosketuspinta on pidempi  
kuin samankokoisen ristikudosrenkaan. Kosketuspinnan leveys on  
kuitenkin likipitään sama, minkä vuoksi renkaan eteen kertyvän  
maakerroksen puskuvastus pysyy samana tai pienenee. Puskuvastuksen  
suuruuteen vaikuttavat pääasiassa renkaan uppouma ja ennen kaikkea  
renkaan leveys. Matalaprofiilirenkaan kosketuspinta-ala oli ver-  
tailurengasta selvästi suurempi, mikä johtuu renkaan selvästi  
suuremmasta leveydestä, eikä kuten vyörenkailla, kosketuspinnan  
pituudesta. Leveän renkaan puhdistumisominaisuudet ovat yleensä  
huonot. Tämä tuli kokeen aikana esille kosteikkopaikoissa, joissa  
renkaan luisto ja uppouma lisääntyivät ja aiheuttivat tulosten  
hajontaa. Maahantuojan suosittama 160 kPa renkaan ilmanpaine  
vaikutti selvästi liian korkealta (ks. s. 58). Levikepyörien  
käyttö pienensi keskimääräistä luistoa vain vähän. Toisaalta  
ajojen välinen hajonta oli huomattavasti pienempi kuin yksittäis-  
asennetuilla renkailla. Levikepyörien puhdistuminen on humuspitoi-  
sellakin maalla selvästi huonompaa kuin yksittäisasennettujen  
renkaiden. Levikepyörän erisuuruudesta säteestä (3-4 cm) johtuva  
renkaiden kehänopeuksien ero on saattanut vaikuttaa hieman luiston  
suuruuteen. Kokonaisuutena levikepyörät käyttäytyivät yllätykset-  
tömästi järvimudalla.

Kuvion 12 kenttäkokeet ovat koalueelta E ja H (liite 3a), jolloin  
kerranteiden määrä on kuusi. Renkaiden luistot ovat pysyneet suun-  
nilleen samoina kuin aikaisemmissa koetilanteissa (vrt. kuvio 11).  
Ainoastaan levikepyörien luisto on vähentynyt selvästi. Muutos  
kuvastaa levikepyörän tukkeutumisherkkyttä savespitoisella maal-  
la. Ainoastaan hyvin humuspitoisilla mailla (kuvio 12) levike-  
pyörät pysyvät puhtaina ja niistä on hyötyä. Renkaiden väliset  
erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Kulkuvastuskerroin  
pysyi kaikilla renkailla 0.2 alapuolella. Vaihteluväli oli 0.17-  
0.2. Kulkuvastuskertoimet eivät poikenneet merkitsevästi toisis-  
taan.



Luisto

p = 5 %

W<sub>4</sub> = 15.349

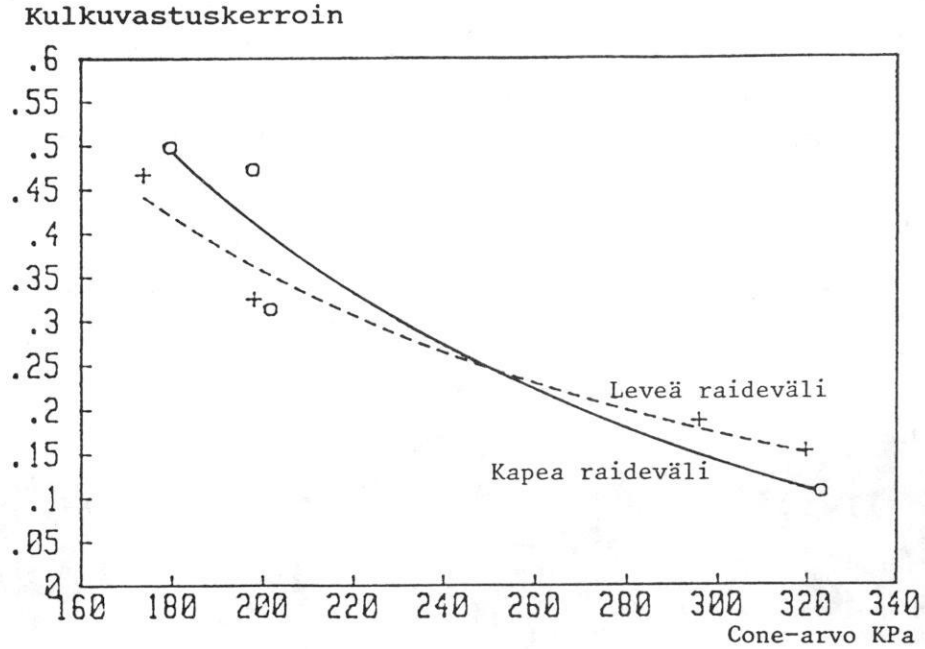
	<u>rengaskoko</u>	<u>ilmanpaine (kPa)</u>
1. Ristikudosrengas	18.4-26	125
2. Ristikudosrengas + levikepyörä	18.4-26 14.9-28	115 70
3. Matalaprofiilirengas	600/60-30.5	160
4. Vyörengas b	18.4R26	125

Kuvio 12. Puimurin etupyörien luisto multamaalla (syksy 1985). Luistoarvot ovat kuuden kerranteen keskiarvoja. Etuakselikuorma 5030 kg ja taka-akselikuorma 1450 kg.

## 5.2. Taka-akseliston vaikutus leikkuupuimurin kulkukykyyn

### 5.2.1. Takapyörien raidevälin vaikutus kulkuvastuskertoimeen

Taka-akselin leveyden vaikutus kulkuvastuskertoimeen vaihtelee olosuhteiden mukaan. Suhteellisen hyvissä olosuhteissa, kun maan pintakerroksen (0...10 cm) cone-arvo on yli 250 kPa:n, kapea taka-akseli on edukkaampi kuin leveä (kuvio 13). Tällöin takapyörät kulkevat koskemattomalla ja melko kovalla maaperällä, jolloin kulkuvastuskerroin on alhainen. Kun taka-akseli on leveä, pyörä kulkee polanteessa ja kulkuvastuskerroin kasvaa eturenkaiden ripakuvion aiheuttaman epätasaisuuden vuoksi. Käytännössä pienillä takapyörien kulkuvastuseroilla ei ole suurtakaan vaikutusta leikkuupuimurin kulkuun, kun kulkuolosuhteet ovat hyvät. Kuvion 13 kulkuvastuskäyrien sijainnilla onkin merkitystä vasta, kun maan cone-arvo on alle 250 kPa.



Kuvio 13. Takapyörrien raideleveyden vaikutus kulkuvastuskertoimeen liejusavella (1985). Maan humuspitoisuus 19.5 %, kosteus 42.5 %. Takapyörrien koko on 11.5-15.3. Taka-akselikuorma on n. 1400 kg. Tilastollisesti eri raideleveyksien kulkuvastuskerrointen erot eivät ole merkitseviä.

Kun olosuhteet vaikeutuvat, pehmeän maan muodonmuutosten osuus kulkuvastuksen aiheuttajana kasvaa ratkaisevasti. Kun taka-akseli on kapea, pyörä on alttiimpi olosuhteiden muutokselle, jonka vuoksi myös kulkuvastus kasvaa jyrkästi cone-arvon pienessä (kuva 15).



Kuva 15. Koeloissa puimurin ohjaaminen oli hyvin vaikeaa, kun takaraideväli oli kapea.

Polanteessa kulkevan pyörän kulkuvastus kasvaa hitaammin, koska etupyörät ovat poistaneet muovautuvan maakerroksen takapyörien edestä (kuva 16). Leveästä raidevälistä hyödyttäänkin eniten, kun etupyörien uppoaminen pysähtyy kovaan pohjaan, jota syvemmälle takapyörätkään eivät uppoa. Koealue oli paikoitellen varsin pehmeäpohjainen, jolloin takapyörät upposivat vielä polanteesakin. Tämä lienee pienentänyt menetelmien välistä eroa.



Kuva 16. Leikkuupuimurin suuntavakavuus parani selvästi, kun taka-akselin raideväli oli leveä. Takarenkaiden leveyden tulisi olla noin puolet eturenkaiden leveydestä ja renkaiden tulisi olla ripakuvioiset.

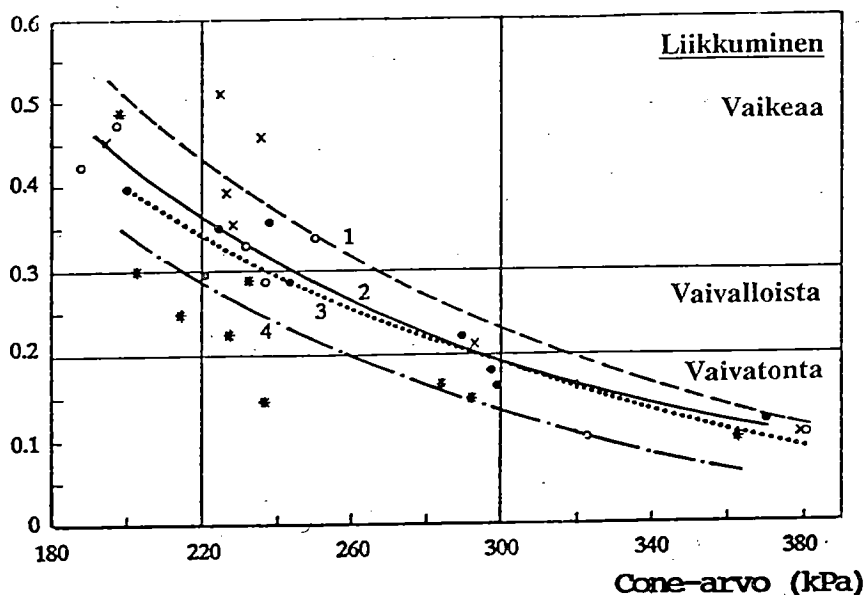
Polaantumisesta saatavan hyödyn lisäksi raideleveyden muutos mahdollistaa usein myös halkaisijaltaan suurempien pyörien asentamisen taka-akselille, jonka vuoksi kulkuvastus edelleen pienenee.

#### 5.2.2. Takapyörien koon vaikutus kulkuvastuskertoimeen

Leveiden matalaprofiilirenkaiden kulkuvastus oli suurempi kuin kokeen muiden renkaiden. Leveämmästä kosketuspinta-alasta huolimatta rengas upposi silmämääräisesti yhtä syvälle kuin vertailurenkas. Syntyneen ajouran poikkipinta-ala sitä vastoin kasvoi leveämmän kosketuspinta-alan vuoksi. Tämän takia syrjäytettävä

maamäärä kasvoi ja suurensi kulkuvastuskerrointa. Lisäksi ohjattavuus ja puimurin suuntavakavuus huononivat oleellisesti renkaiden pyörimisen loppuessa. Renkaiden ajoittainen pysähtyminen selittänee korkeahkot kulkuvastuskerroin-arvot. Takarenkaiden raideväli oli kapea. Ripakuviollinen rengas oli asennettu taka-akselille vetävän pyörän tavoin. Tämän vuoksi ripavälit täyttyivät osittain. Koemenettelystä huolimatta ripakuvio pienensi selvästi kulkuvastusta (kuvio 14). Takarenkaiden halkaisijan suurentaminen paransi puimurin suuntavakavuutta ratkaisevasti (ks. 6.3.). Etupyörien suuri uppouma vaikeutti kuitenkin ohjaamista, koska suurehko suunnan muutos olisi edellyttänyt pyörän nousemista etupyörien ajoittain melko syvästä jäljestä.

### Kulkuvastuskerroin



Kulkuvast.k.	1	2	3	4
p = 5 %	A			
W <sub>4</sub> = 0.111	B			

Raideväli	Rengaskoko	Rengaskuvio	
1. kapea	400/55-17.5	pitkittäiskuvio	x
2. kapea	11.5-15.3	pitkittäiskuvio	o
3. leveä	12.5-18	pitkittäiskuvio	•
4. leveä	12.5-18	ripakuvio	*

Koejäsenten välillä on merkitseviä eroja kulkuvastuskertoimen ( $p = 1 \%$ ,  $F = 8.7217$ ) suhteen. Merkitsevyysraja  $1 \%$  riskillä  $F = 5.29$ ,  $df = 16$ .

Kuvio 14. Takapyörien koon ja raidevälin vaikutus kulkuvastuskertoimeen liejusavella. Maan humuspitoisuus  $19.5 \%$ , kosteus  $42.5 \%$ .

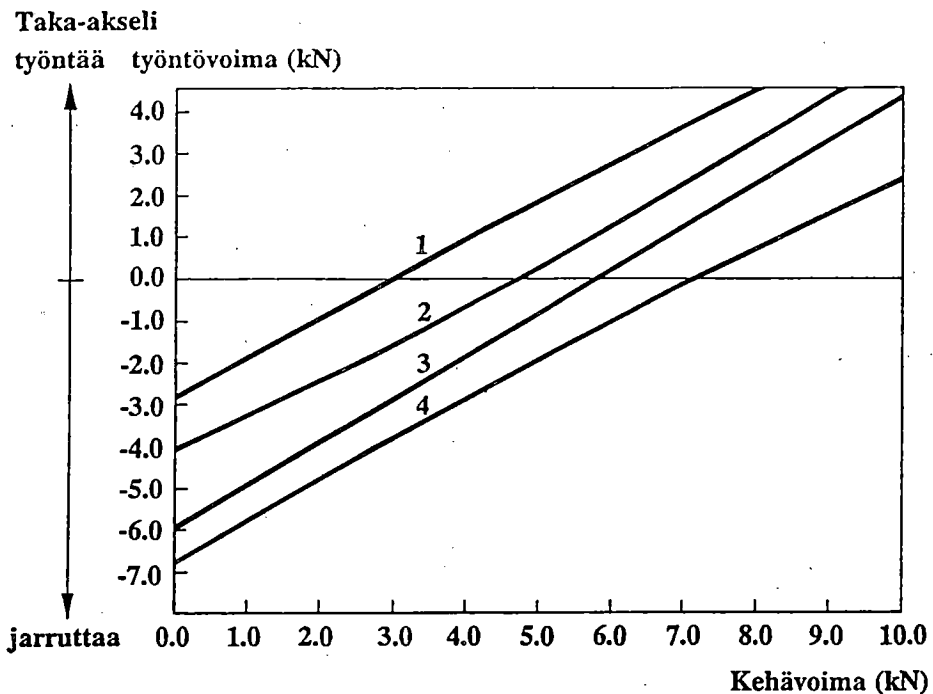
Tilastollista tarkastelua varten aineistoa rajattiin maan kantavuuden eli cone-arvon mukaan. Aineistosta poistettiin koeajot, joiden cone-arvo oli yli 250 kPa. Tämän takia 36 ajon aineisto supistui 20 koeajoon. Supistettu aineisto vastasi paremmin olosuhteita, joissa takapyörrien rengasvarustuksella on todellista merkitystä leikkuupuimurin kulkuun.

### 5.2.3. Hydrostaattisen takavedon vaikutus leikkuupuimurin kulkukykyyn

Kokeen takavetojärjestelmän hydraulipiiri oli avoin. Hydraulipumppu oli ns. paineohjattu muuttuvatilavuuksinen aksiaalimäntäpumppu. Pumpun tuotto säätyy järjestelmän paineen muuttuessa siten, että hydraulipiirin paine on käytännössä likipitään vakio. Tämän vuoksi myös takapyörrien työntövoima pysyy lähes vakiona ajonopeudesta riippumatta. Työpainetta voidaan säätää ajon aikana puimurin ohjaamosta käsin. Jos paine on säädetty selvästi liian suureksi ja joudutaan liukkaalle alustalle, niin takapyörrien ote irtoaa ja pyörän luisto kasvaa nopeasti. Samanaikaisesti hydraulipiirin paine alkaa laskea ja pumpun tuotto alkaa nousta aina maksimituottoon asti.

#### 5.2.3.1. Takavedon vaikutus kokonaiskulkuvastukseen

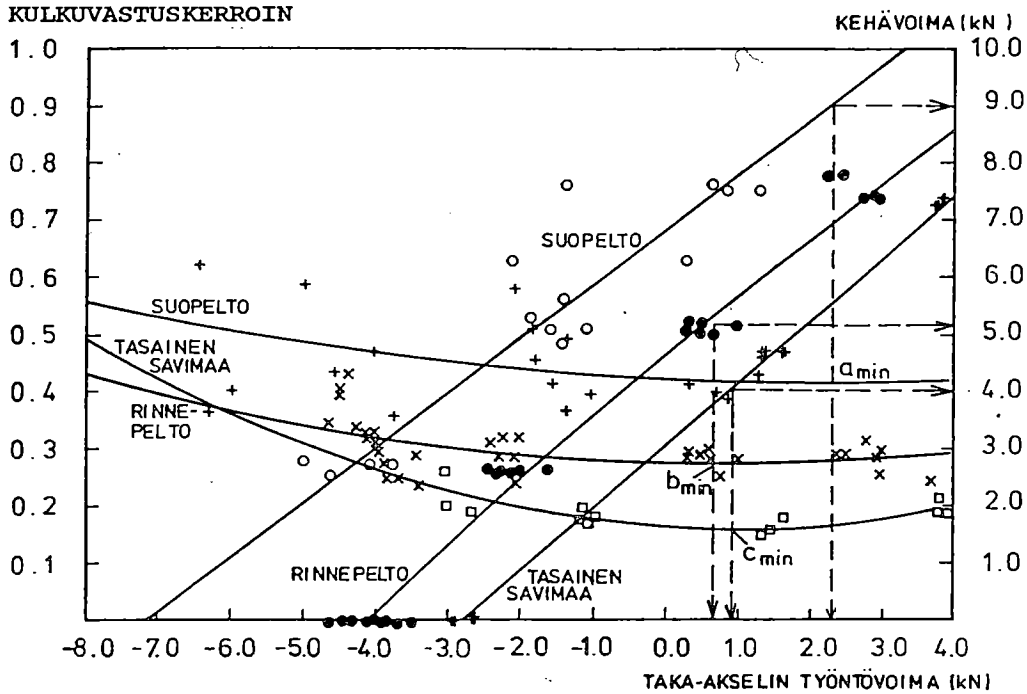
Koska takapyöriin siirrettävää kehävoimaa voitiin säätää portaattomasti, kuljettaja pystyi halutessaan vaikuttamaan taka-akselin työntövoiman suuruuteen. Läheskään kaikki takapyörrien kehävoima ei kuitenkaan muunnu taka-akselin työntövoimaksi. Valtaosa kehävoimasta kuluu taka-akselin oman kulkuvastuksen voittamiseen sekä takapyörrien luistoon (kuvio 15).



	Rengaskoko edessä	takana
1. Tasainen savimaa	18.4-26	12.4-24
2. Rinteinen savimaa	18.4-26	12.4-24
3. Tasainen suomaa	600/60-30.5	12.4-24
4. Tasainen suomaa	18.4-26	12.4-24

Kuvio 15. Takapyöriin siirretyn kehävoiman ja lopullisen työntövoiman suhde eri pelto-olosuhteissa. Taka-akselikuorma on savimaiden kokeissa n. 1600 kg. Suomalla taka-akselikuorma on n. 1350 kg.

Takapyörien kehävoimaa säätämällä voidaan minimoida leikkuupuumurin kokonaiskulkuvastus (kuvio 16). Kokonaiskulkuvastuskerroinkäyrien minimiit ( $a_{min}, b_{min}, c_{min}$ ) määrättiin derivoimalla käyrien yhtälöt ja määräämällä derivaattojen nollakohdat. Kenttäkokeiden perusteella takapyörien tulisi työntää puimuria kevyesti eteenpäin. Jos takapyöriin siirretään liikaa kehävoimaa, luisto luonnollisesti kasvaa liian suureksi ( $>20\%$ ), jolloin peltoon jää syvät raiteet. Takapyörät muuttuvat liian hakeutuviksi, ja samalla ohjaaminenkin vaikeutuu. Vastaavasti liian pieni kehävoima kasvatti etupyörien luistoa. Molemmissa tapauksissa puimurin kokonaiskulkuvastus kasvaa optimitilanteeseen verrattuna korkean luiston takia.



Kokonaiskulkuvastuskerroinkäyrien yhtälöt:

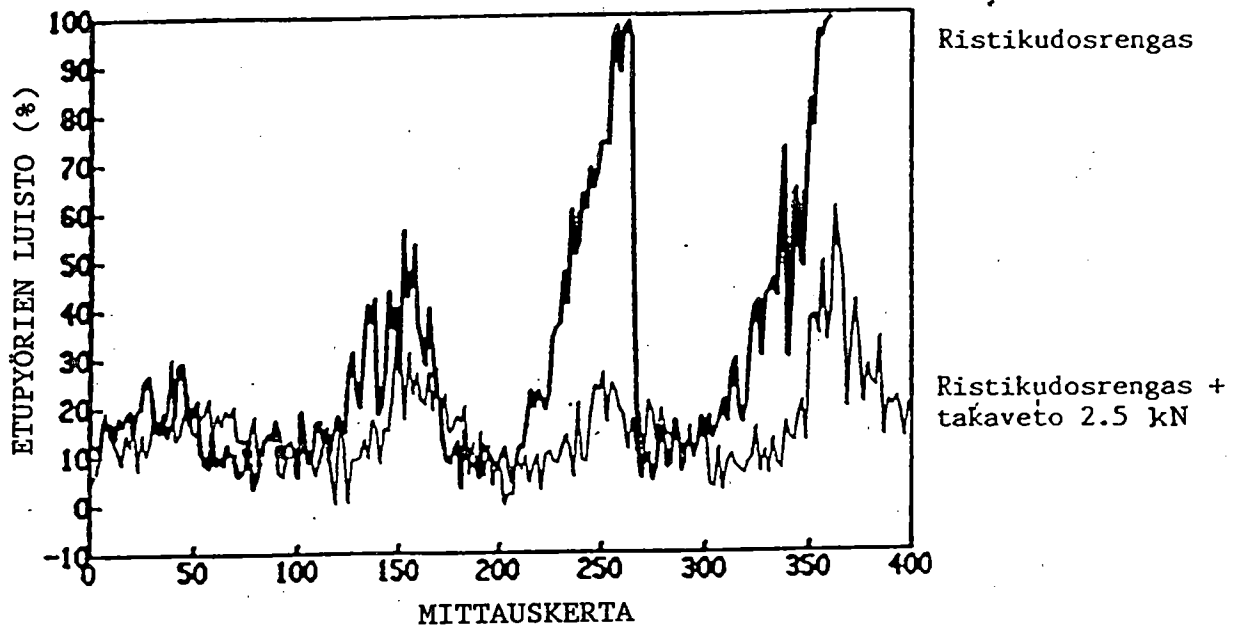
a) Suoma	$f = 0.00131 \cdot F^2 - 0.00599 \cdot F + 0.42334$	+	o
b) Rinnemaasto	$f = 0.00205 \cdot F^2 - 0.00277 \cdot F + 0.27125$	x	•
c) Tasainen savimaa	$f = 0.00411 \cdot F^2 - 0.00749 \cdot F + 0.15995$	o	#

Kuvio 16. Leikkuupuimurin kokonaiskulkuvastuksen minimointi takavedon kehävoimaa säätämällä eri puintiloissa Taka-akselikuorma oli 1350 kg suomaalla. Rinnemaastossa ja tasaisella savimaalla se oli n. 1600 kg.

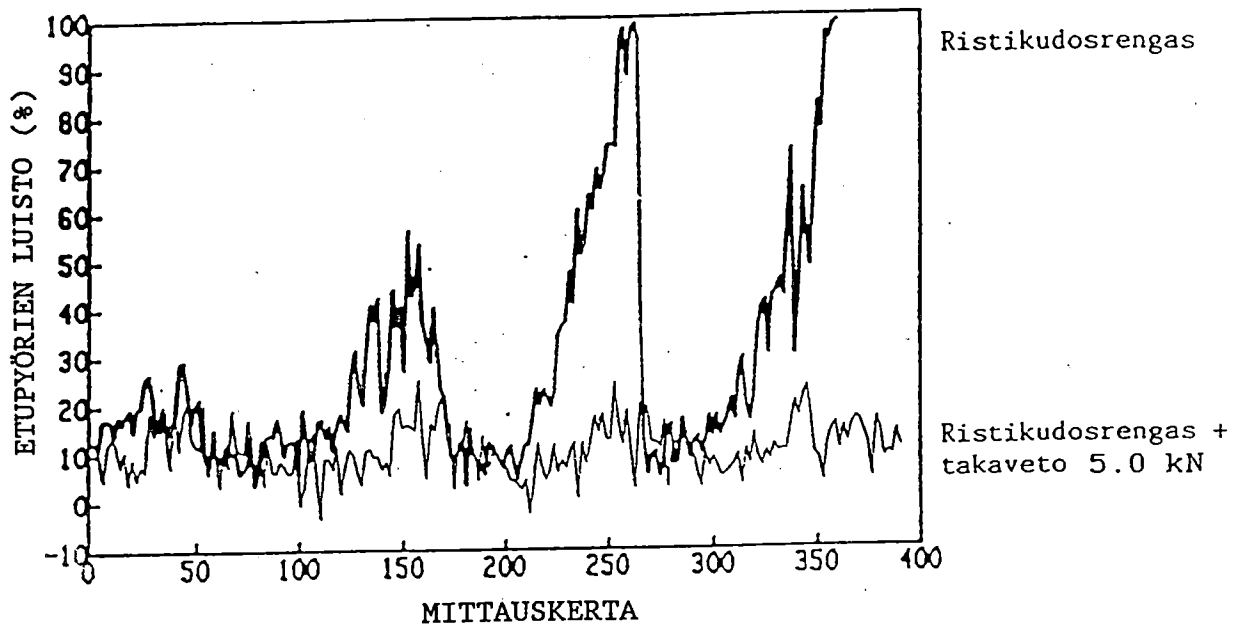
Eloperäisillä suomailta takapyöriin siirrettävän kehävoiman pitää olla jopa kaksi kertaa niin suuri kuin tasaisilla savi- mailla tai rinnepeltoilla (kuvio 16). Leikkuupuimurin takavedon tulee kuitenkin avustaa eikä liikuttaa puimuria pääasiallisesti.

#### 5.2.3.2. Takavedon vaikutus kulkukykyyn rinnepellolla

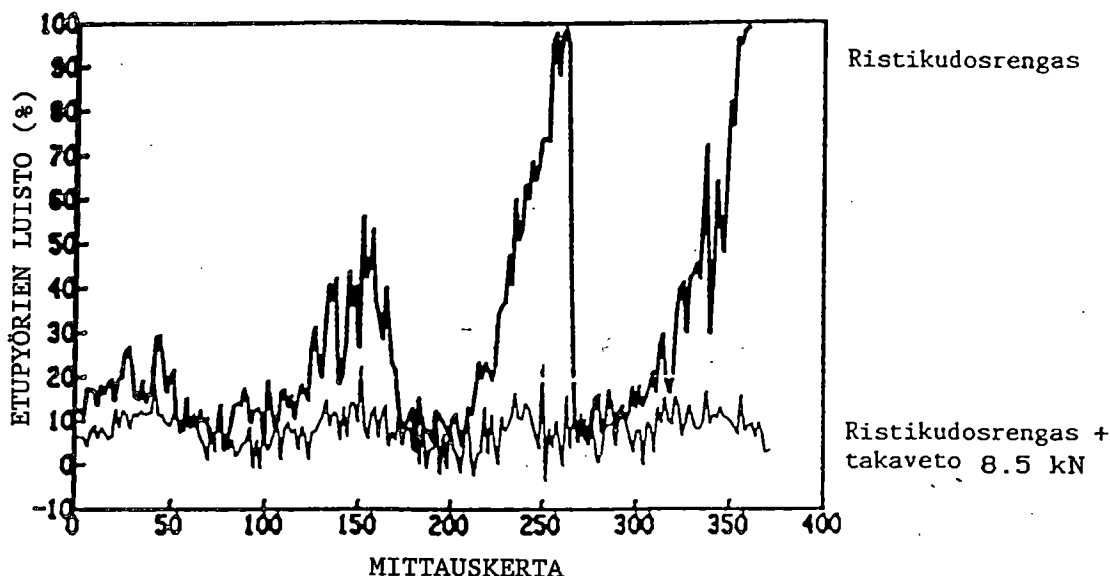
Rinnekokeissa eturenkaiden luistoa tutkittiin ns. hetkellisten mittausarvojen avulla (ks. s. 42). Takavedon osalta voidaan käyttää samaa menetelmää. Etupyörien kehänopeus oli koko ajan sama eli n. 3.6 km/h. Takapyörien kehänopeus puolestaan vaihteli takapyörien luiston ja ajonopeuden mukaan. Luisto-diagrammista nähdään, kuinka jo 2.5 kN:n kehävoiman siirto takapyörille on pienentänyt etupyörien luistoa koko koejaksossa (kuviot 17a, 17b ja 17c).



Kuvio 17a. Leikkuupuimurin etupyörien hetkelliset luistoarvot rinnekokeen aikana. Maalaji on hiesusavi.

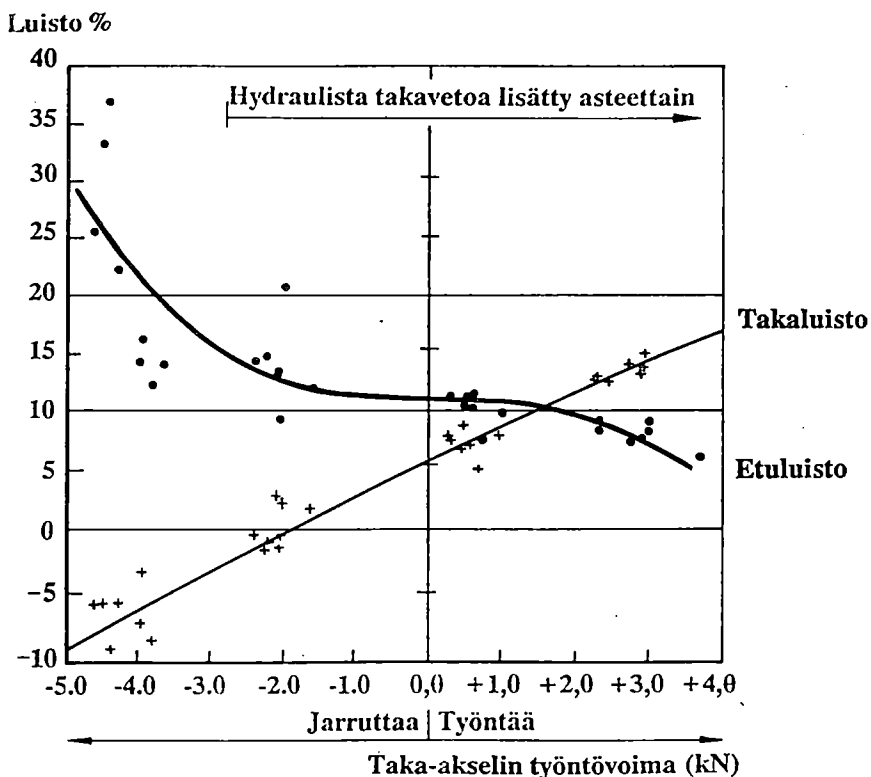


Kuvio 17b. Leikkuupuimurin etupyörien hetkelliset luistoarvot rinnekokeen aikana. Maalaji on hiesusavi.



Kuvio 17c. Leikkuupuimurin etupyörien hetkelliset luistoarvot rinnekokeen aikana. Maalaji on hiesusavi.

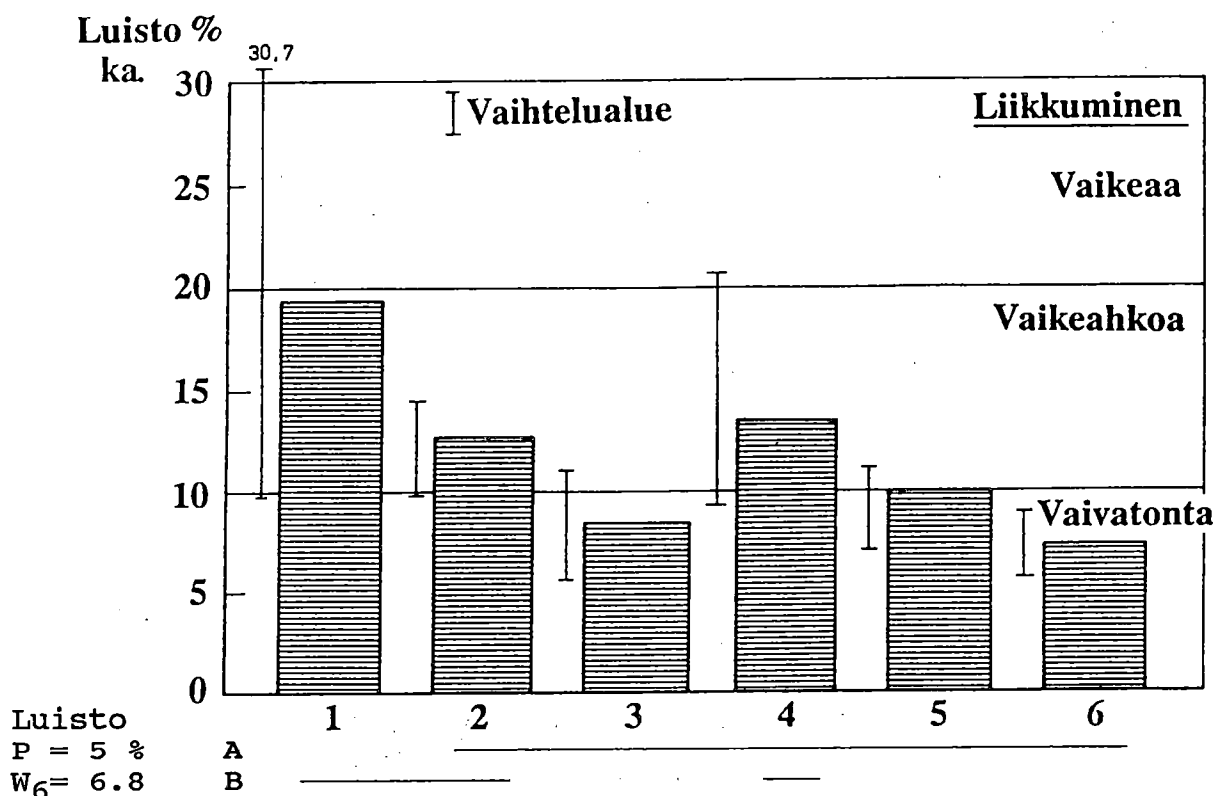
Takapyörien työntövoima vaikuttaa liukkaalla savirinteellä etupyörien luistoon tilastollisesti merkitsevästi, kun riski on 0.1 % ( $F = 10.67^{***}$ ).



Kuvio 18. Taka-akselin työntövoiman vaikutus puimurin etu- ja takarenkaiden luistoon liukkaasta savirinnettä ylös ajettaessa. Kaltevuus 5°-10°. Etuakselikuorma on 5030 kg, ja taka-akselikuorma on 1640 kg. Eturenkaiden koko on 18.4-26, ja takarenkaiden koko on 12.4-24.

Rinnettä ylöspäin kivuttaessa takapyörien luisto ei ollut liian korkea, kun kehävoima oli 8.5 kN (kuvio 18). Käytännössä n. 5.0 kN:n kehävoima osoittautui kuitenkin jatkuvassa käytössä ylärajaksi (ks. kuvio 21), koska muutoin tasaiselle tai erityisesti alaspäin viettävälle pellon osalle siirryttäessä takapyörien luisto nousi liian suureksi.

Koepuimurin painojakauma oli koeajokunnossa tasaisella alustalla 75:25 ja rinnepellolla koeajotilanteessa n. 70:30 - 60:40. Tämän vuoksi etupyörien ominaisuuksilla oli painonsiirrosta huolimatta suuri merkitys myös rinnepellolla (kuvio 19).

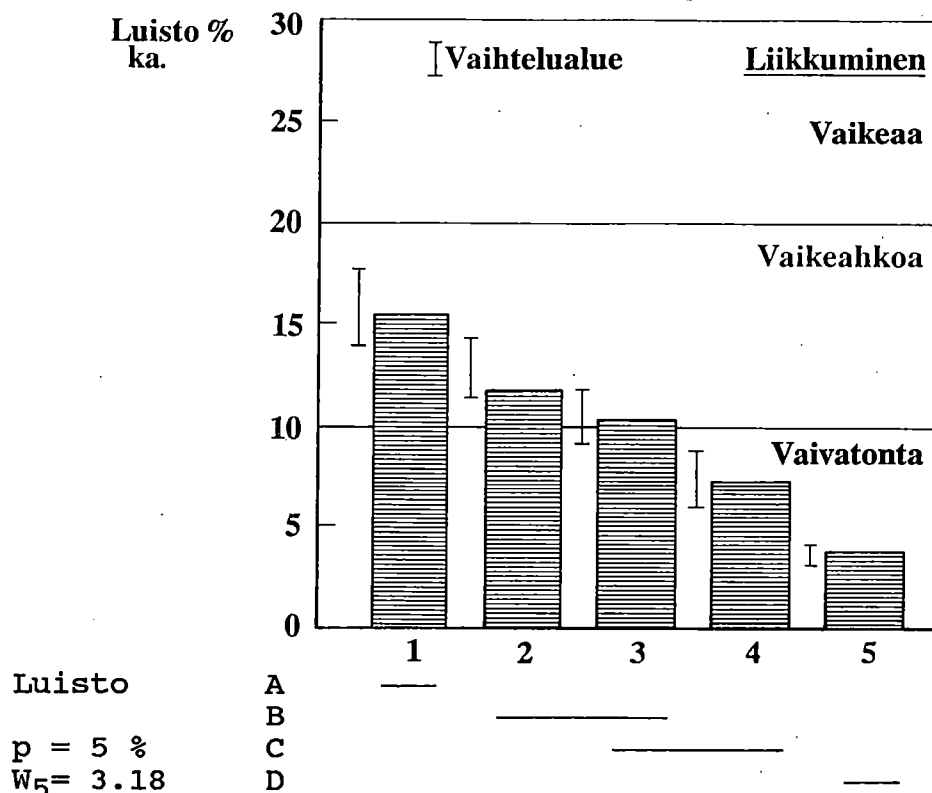


Kuvio 19. Puimurin eturenkaiden luisto liukasta savirinnettä ylös ajettaessa (1986). Neljännestä ajosta lähtien takavedon tehoa on lisätty asteittain. Etuakselikuorma 5030 ja taka-akselikuorma 1640 kg. Kaltevuus 5°-10°. Koealueen keskimääräinen cone-arvo 287 kPa.

Kokeen olosuhteissa vyörenkaan luisto oli samantasoinen, kuin ristikudosrengas/hydrostaattisen takavedon luisto. Matalaprofiilirenkaan luisto ja luiston vaihtelualue oli pienentynyt selvästi vuoden 1985 rinnekokeeseen verrattuna (vrt. 5.1.2.). Alhainen renkaan ilmapaine paransi matalaprofiilirenkaan puhdistuvuutta selvästi vuoden 1985 kokeeseen verrattuna.

### 5.2.3.3. Takavedon vaikutus kulkukykyyn tasaisella savimaalla

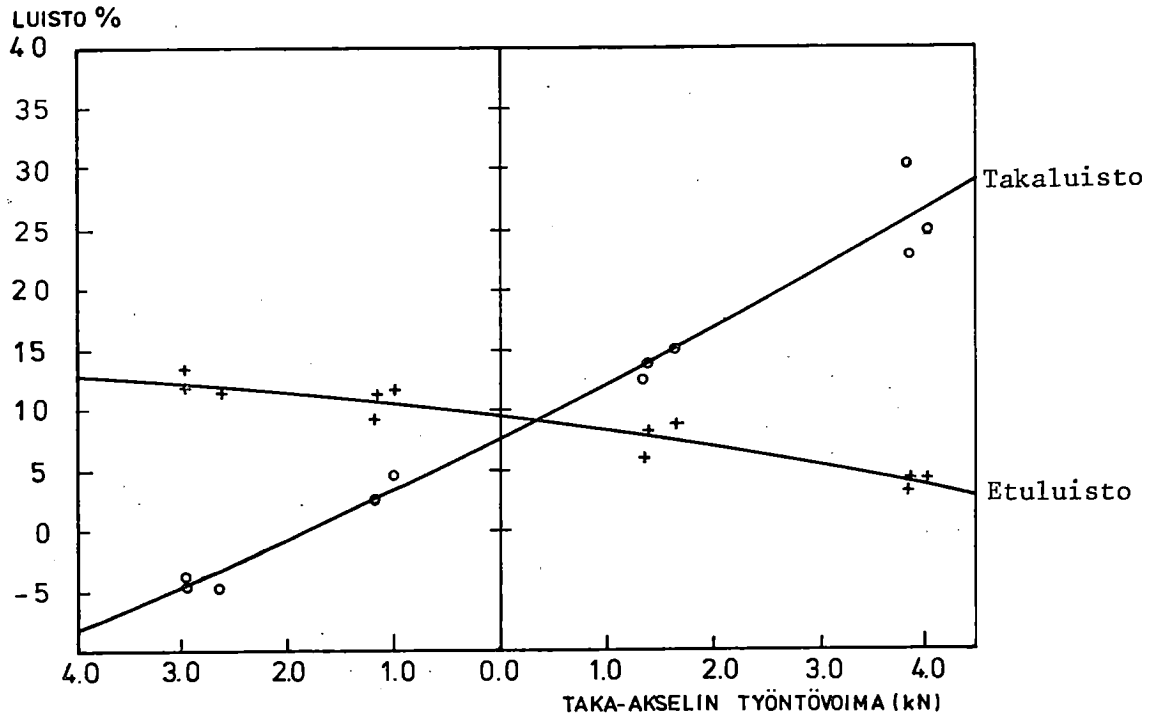
Tasaisella savimaalla ajetuissa kenttäkokeissa koeolosuhteet olivat liian helpot. Yksikään koejäsen ei ole yltänyt missään koeajossa yli 20 % luiston (kuvio 20). Vaikeammassa olosuhteissa koejäsenten väliset erot olisivat suuremmat.



<u>Taka-akseli</u>	<u>Takarengaskoko</u>	<u>Työntövoima, kN</u>
1. kapea	11.5-15.3	-
2. leveä	12.4-24	-
3. leveä	12.4-24	1.6 kN
4. leveä	12.4-24	4.6 kN
5. leveä	12.4-24	9.1 kN

Kuvio 20. Puimurien eturenkaiden luistot ja vastaavat taka-akselin työntövoimat savimaalla. Takapyörien kehänopeus oli n. 3.6 km/h. Eturenkaat 18.4-26. Etuakselikuorma on 5030 kg ja taka-akselikuorma 1640 kg. Koealueen keskimääräinen cone-arvo 320 kPa.

Takaraidevälin suurentaminen ja takarenkaiden vaihtaminen riittävän suuriksi ja ripakuvioisiksi alensi eturenkaiden luistoa jo niin paljon, että takavedon antama lisäapu ei enää merkinnyt kovinkaan paljon. Savimaan olosuhteissa tehonsiirtomahdollisuus takapyörille on hyvin rajallinen, koska takapyörien luisto kohoaa helposti liian korkeaksi (kuvio 21).



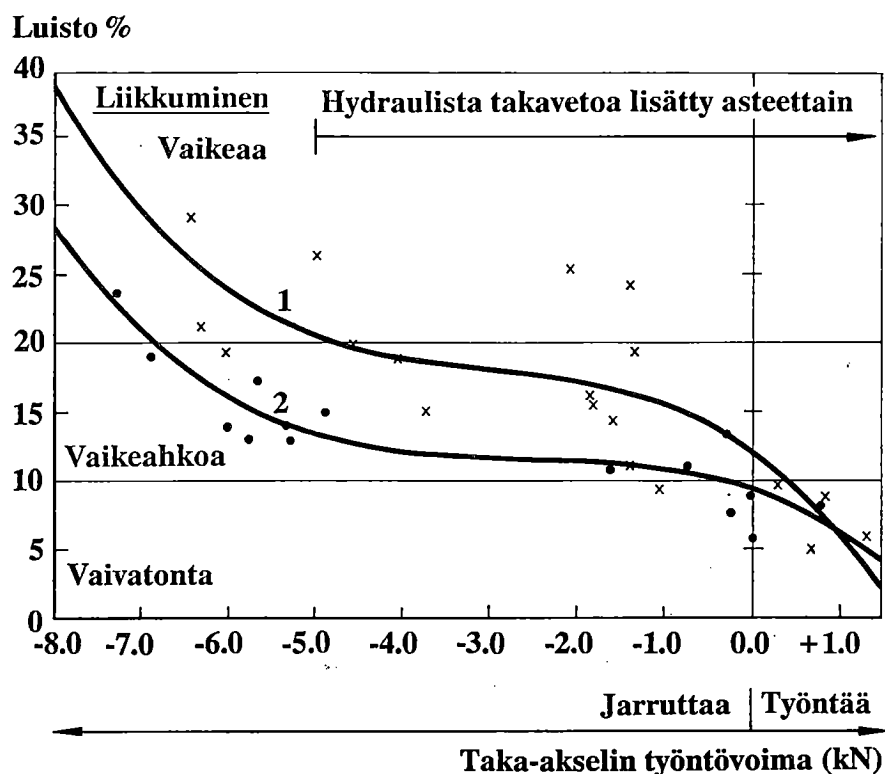
Kuvio 21. Taka-akselin työntövoiman vaikutus puimurin etu- ja takarenkaiden luistoon tasaisella savimaalla. Etuakselikuorma on 5030 kg ja taka-akselikuorma on 1640 kg. Eturenkaiden koko on 18.4-26 ja takarenkaiden koko on 12.4-24. Koealueen keskimääräinen cone-arvo 320 kPa.

Tasaisilla savimailla takaveto soveltuu parhaiten puimureihin, joiden takapyörien kulkuvastus on vaikeissa puintioloissa liian korkea epäedullisen painojakauman vuoksi.

#### 5.2.3.4. Takavedon vaikutus kulkukykyyn suomaalla

Suomaalla leikkuupuimurin kokonaiskulkuvastus on selvästi suurempi kuin esimerkiksi tasaisella savimaalla, koska pyörien uppouma on usein varsin suuri. Suurin osa takapyörien kehävoinnasta kuluu takapyörien oman kulkuvastuksen voittamiseen (ks.

kuvio 15). Vain pieni osa välittyy työntämään puimuria eteenpäin. Eturenkaiden luistoarvot ovat varsin korkeat (kuvio 22), ja koeolosuhteissa käytännön puintityö olisi ollut hyvin vaikeaa ilman takavedon apua.



- |                         |             |
|-------------------------|-------------|
| 1. ristikudosrengas     | 18.4-26     |
| 2. matalaprofiilirengas | 600/60-30.5 |

Kuvio 22. Taka-akselin työntövoiman vaikutus etupyörien luistoon suomaalla. Taka-veto on kytketty päälle -5 kN:n kohdalla ja sen tehoa on lisätty asteittain. Etuakselikuorma on 3800 kg ja taka-akselikuorma 1350 kg.

Tuloksia käsiteltiin tilastollisesti kaksisuuntaisen varianssi-analyysin avulla. Rengastyyppien etupyörien luistoero on merkitsevä, kun riski on 5 % ( $F^*=7.245$ ,  $df=27$ ). Taka-akselin työntövoiman vaikutus eturenkaiden luistoon on merkitsevä, kun riski on 1 % ( $F^{**}=12.484$ ,  $df=27$ ).

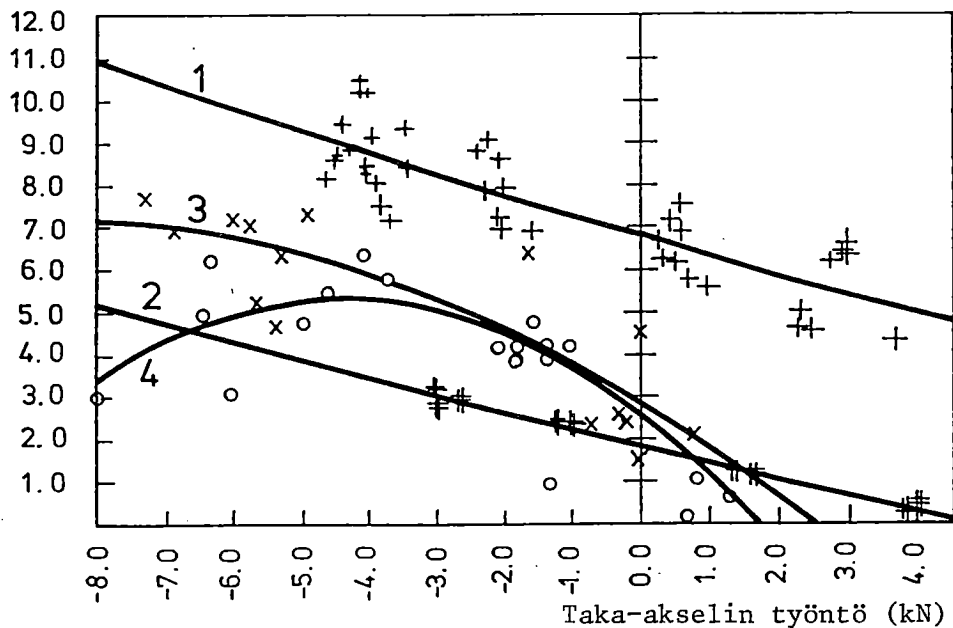
### 5.3. Leikkuupuimurin painonsiirto

Etu- ja takapyörille siirretty vääntömomentti ja puimurin asennosta johtuva kaltevuuspinnan suuntainen normaalivoiman komponentti aiheuttavat leikkuupuimurin painonsiirron. Rinnepellolla koeajot tehtiin rinnettä ylöspäin ajaen. Tämän vuoksi painonsiirtoarvot etuakselilta taka-akselille ovat rinnemaastossa selvästi suurempia kuin tasamaalla (kuvio 23). Renkaiden jättämää urasyvyyttä ei voitu mitata suomaalla, koska maan muodonmuutos oli osittain kimmainen. Tämän vuoksi renkaan upouman vaikutusta puimurin asentoon ja edelleen painonsiirtoon ei voitu selvittää, koska etu- ja takapyörrien luisto vaihteli.

#### 5.3.1. Taka-akselin työntövoiman vaikutus painonsiirtoon

Rinnepellolla painonsiirtokäyrä on lähes lineaarinen tasaisesti laskeva suora. Suurehko hajonta johtuu koeajorinteiden kaltevuuseroista. Etu- ja takapyörrien luistot olivat melko alhaisia rinnekokeissa. Tämän vuoksi käyrän muoto on suora. Tasaisella savimaalla painonsiirtokäyrä on rinnepellon painonsiirtokäyrän suuntainen, mutta käyrän vakiotermin takia huomattavasti alempana. Rinnepellolla vakiotermin ero johtuu maaperän kaltevuudesta. Suomaan ajokokeiden painonsiirtokäyrät ovat muodoltaan kuperia, mikä johtunee etu- ja takapyörrien momenttisuhteiden muutoksista, kun taka-akselin työntövoima kasvaa minimiarvosta maksimiarvoon (kuvio 23). Suomaan kokeista on kaksi käyrää, koska ristikudosrenkaan luisto oli huomattavasti suurempi kuin matalaprofiiliinrenkaan luisto (kuvio 22). Eturenkaiden luistoarvo oli ajoittain niin korkea, että vetovoiman ja vääntömomentin huippukohta ohitettiin. Tämän vuoksi myös etuakselin kehävoimakäyrä taka-akselin työntövoiman funktiona on muodoltaan lievästi kupera (kuvio 24). Käyrän lievä kuperuus ei kuitenkaan selitä painonsiirtokäyrän muotoa.

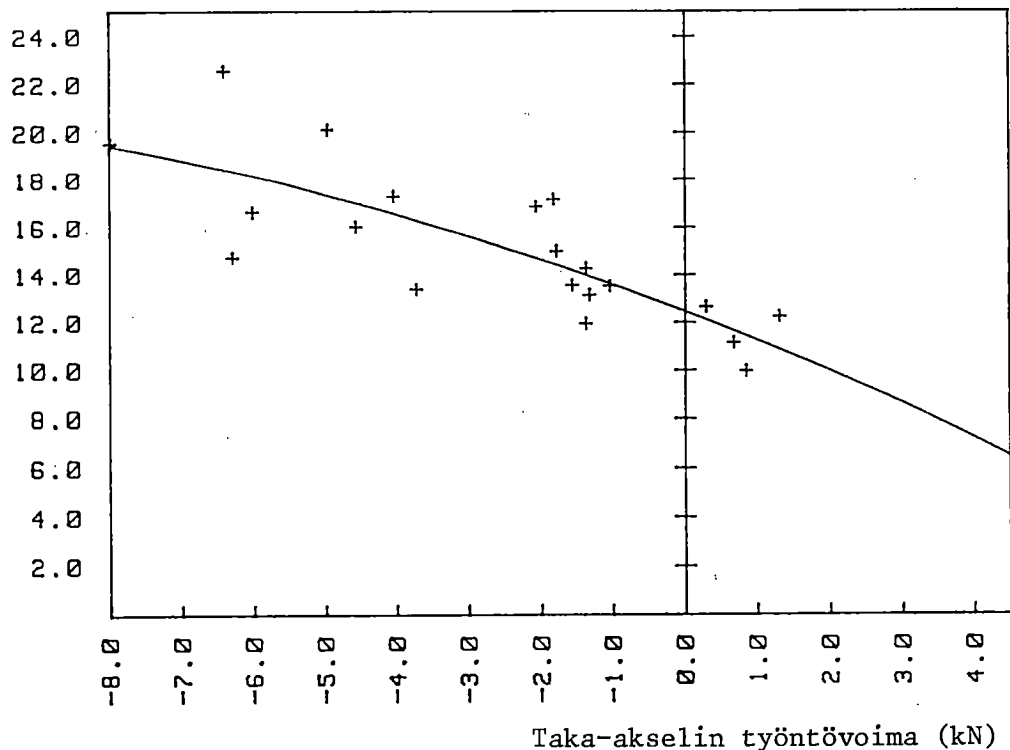
## Painonsiirto (kN)



- |                     |             |
|---------------------|-------------|
| 1. Rinnepelto       | 18.4-26     |
| 2. Tasainen savimaa | 18.4-26     |
| 3. Suomaa           | 600/60-30.5 |
| 4. Suomaa           | 18.4-26     |

Kuvio 23. Taka-akselin työntövoiman vaikutus leikkuupuimurin painonsiirtoon eri maasto-oloissa. Rinteen kaltevuus  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$ .

## Etupyörien kehävoima (kN)



Kuvio 24. Taka-akselin työntövoiman vaikutus etupyörien kehävoimaan suomalla. Rengaskoko on 18.4-26

## 6. TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1. Mittaustekniikka

Tiedonkeruujärjestelmän havaintoväli (0.83 s) oli vakio jokaisen koeajon aikana. Ajonopeus ja luisto eivät vaikuttaneet havaintojen aikaväliin. Tämän vuoksi havaintomäärä kasvoi kuljettua matkaa kohti luiston kasvaessa. Koska lopullinen havaintoaineisto muodostettiin jokaisen koeajon hetkellisten mittausarvojen aritmeettisista keskiarvoista, mittausaineisto painottui niihin koeajojen kohtiin, joissa luisto oli suuri. Tämän vuoksi laske-  
tut keskiarvot edustavat mittausuureiden keskimääräisiä arvoja koeajojen mittausaikana, mutta eivät keskimääräisiä arvoja koeajomatalla. Koeajon vaikea kohta vaikutti lopullisiin tuloksiin todellista enemmän. Tämä mittauslaitteiston piirre pyrki lisäämään hyvin ja huonosti menestyneiden koejäsenten välisiä mittaustulosten eroja.

Etupyörien kehänopeuden mittausta häiritsi ajoittain renkaiden ripavälien täyttyminen, jonka takia myös vierintäsäde kasvoi ja lisäsi kehänopeutta sekä alensi luistoa. Jotkut koeajot jouduttiin uusimaan, koska luisto-% saattoi olla lähes nolla tai jopa negatiivinen. Tällainen oli tyypillistä, kun muutoin helpolla koeajokaistalla oli yksi lyhyt ja vaikea osuus, jolloin renkaiden kuvio täyttyi ja häiritsi mittausta koeajokaistan loppuvaiheen ajon aikana. Vierintäsäteen kasvu pyrki latistamaan eroja hyvin ja huonosti menestyneiden koejäsenten kesken (vrt. edell. kappale). Koealueiksi valittiin olosuhteiltaan mahdollisimman tasaiset peltolohkot, jolloin luiston vaihtelu oli pientä. Toisaalta renkaan luiston suuri vaihtelu on tyypillistä erityisesti äärevissä kulkuoloissa

Ajokokeissa pulssiantureiden tulokset ovat riittävän luotettavia, koska antureilta saatavat pulssimäärät olivat varsin suuria, kun mittausmatka oli n. 50 m. Seuraajapyörä lähetti 8.4 pulssia kuljettua metriä kohti, joten yhden pulssin virhe mittausmatkalla aiheuttaa n. 0.24 % virheen kokonaismatkan mittauksessa. Vastaavasti etupyörien kehän kulkeman matkan ja etuvoimansiirron tilavuusvirran virhe on yhden pulssin vuoksi n. 0.1 %. Syksyllä 1986 seuraajapyörältä saatiin n. 340 pulssia/metri.

Seuraajapyörän luiston vaikutus matkan ja ajonopeuden mittaukseen sisällytettiin kalibrointiajojen avulla pulssivakion (syksy 1985) ja jännite/ajonopeus -suoran parametrien suuruuteen (syksy 1986).

Takapyörrien kulkuvastusmittausantureiden kalibrointitarkkuus oli 100 N, joka on n. 1-3 % mitatuista kulkuvastusarvoista. Mahdollisen kalibrointivirheen osuus mittauservoista on selvästi pienempi kuin eri kulkumenetelmien välinen ero, joten kalibrointivirheen vaikutus lopputulokseen on merkityksetön. Syksyllä 1986 taka-akselin kulkuvastusmittausta muutettiin, koska takavedon vuoksi myös takapyörrien työntövoimia mitattiin. Keinuakselin molemmin puolin sijoitetut anturit olivat tehdasvalmisteisia (HBM), ja niiden tekninen mittaustarkkuus oli  $\pm 0.5$  %. Antureita kuormitettiin koetilanteessa n. 1000-1500 N:n voimalla. Pienemmän esijännityksen vuoksi vastinpintojen kuluminen oli hitaampaa kuin yhden voima-anturin menetelmää käytettäessä (ks. s. 22). Vastinpintojen kuluminen ei myöskään vaikuttanut lopullisiin tuloksiin (ks. s. 26). Kuivalla asfaltilla tehtyjen työntövoimamittausten tulokset ovat yhtenevät hydraulimoottorien valmistajan mittaustulosten kanssa.

Taka-akselin kulkuvastuskokeen tulosten vertailtavuus perustuu paljolti cone-arvomittauksiin. Cone-arvomittausten onnistuminen määräytyi olosuhteiden mukaan. Jos maa oli vettänyt ja pehminyt tasaisesti, mittaustulokset olivat luotettavia. Tällöin cone-arvot korreloivat esimerkiksi luisto- ja kulkuvastusarvojen kanssa. Peltomaan kerroksellisuus häiritsi kuitenkin usein mittauksia, ja mittauservo oli tällöin monesti kovan pohjamaan kovuusarvo. Syksyn 1986 cone-arvot eivät kuvaa kulkuolosuhteita riittävästi, koska poikkeuksellisen kuivan kesän takia n. 5-10 cm:n syvyyteen maan pinnasta oli syntynyt tiivistynyt kova maakerros, joka haittasi mittauksia. Taka-akselikokeet ajettiin syksyllä 1985, jolloin cone-arvomittaukset onnistuivat tyydyttävästi.

Peltomaan kerroksellisuuden vuoksi maan kosteus ei kuvaa kulkuoloja luotettavasti. Pellon pinta voi olla jopa veden peittävä, mutta maa on kova ja liikkuminen lähes ongelmaton. Käytännössä tällainen on yleistä puintikauden alussa, jolloin

tiivistynyt pelto on vielä kova ja vettä huonosti läpäisevä. Lisäksi kosteus vaikuttaa eri maalajeihin hyvin erilaisesti. Kosteassa viljelysmaassa maan lujuusominaisuudet vaihtelevat hyvin paljon. Olosuhteiltaan tasaisten ja riittävän suurten koealueiden löytäminen on vaikeaa. Tämän vuoksi tulosten suuri hajonta on kokeelle tyypillistä. Kenttäkokeiden keskimääräiset luistoarvot ovat yleisesti melko alhaisia, sillä leikkuupuimurin vetopyörien luisto ei aiheudu vetovoimasta, vaan pelkästään puimurin omasta kulkuvastuksesta.

Jos ajoneuvon oman kulkuvastuksen voittamiseen tarvitaan n. 20 % luisto, olosuhteet ovat käytännössä vaikeat. Koska kulkuolosuhteet vaihtelevat paljon jopa muutaman metrin matkalla, hetkellinen luisto voi olla hyvinkin paljon suurempi kuin keskimääräinen luistoarvo. Liikkuminen muuttuu luiston suuren vaihtelun vuoksi nykiväksi, ja ajoittainen pysähtyminen tai kiinnijäänti uhkaa.

## 6.2. Ajokokeiden tulosten tarkastelu

Kulkuolosuhteet vaikuttavat ratkaisevasti leikkuupuimurin liikkumiseen. Liikkumisongelman luonne ja parannuskeinot määräytyvät olosuhteiden mukaan. Leikkuupuimurin kulkukyvyn parantaminen ei ole teknologisesti mielekäästä, koska kyse on virheen seurauksen korjaamisesta, eikä niinkään varsinaisen syyn, olosuhteiden, parantamisesta. Suomen ilmastossa loppukesän ja sadonkorjuuajan sateet voivat tosin olla niin runsaita, että jopa ne pellot, joissa ojitus toimii hyvin, voivat muutamassa viikossa vettyä vaikeakulkuisiksi.

Tärkein olosuhdetekijä on maalaji ja siihen liittyvä peltomaan kerrostuneisuus. Liikkumisongelmat ovat tiiviillä savimailla aivan erilaisia kuin pehmeillä suopelloilla ja multamailla. Savimaalle tyypillinen savesaineuksen tarttuminen renkaisiin ja puimurin kone-elimisiin haittaa usein puimurin kulkua. Savimaalla puimuri ei yleensä juutu paikoilleen uppoamisen vuoksi, vaan renkaiden kulutuspinnan tukkeutumisen vuoksi. Koska savella on tietyissä kosteusoloissa erittäin voimakas adheesioluonne, ripavälit voivat muurautua umpeen luiston takia varsin nopeasti.

Veden kyllästämä pintasavi on menettänyt usein leikkauslujuutensa lähes täysin, ja se siirtyy hyvinkin pienen pintapaineen vuoksi renkaan alta pois. Pintapainetta ei aina pystytä pienentämään siten, että löysä maakerros pystyisi kannattamaan puimuria ilman merkittävää uppoumaa. Käytännössä uppouma onkin usein löysän pintakerroksen syvyinen rengaskoosta riippumatta. Pehmeällä savimaalla kulkukykytavoitteet ja maan rakennevaatimukset ovat jossakin määrin ristiriitaiset. Maan rakennetta ei saa pilata syvillä pyöränjäljillä, mutta toisaalta maan leikkauslujuus on suurempi pehmeän pintamaan alla. Pehmeässä pintakerroksessa liikkuminen on usein jopa mahdotonta. Vaikeissa saviin oloissa jonkinasteinen uppouma on usein hyväksyttävä. Renkaan kulkuvastus muodostuu valtaosin maakerrosten siirtelyyn tarvittavista voimista. Jos kulkuvastusta aiotaan pienentää, siirtyvän maakerroksen määrää tulee pienentää.

Leveiden renkaiden käytöstä saadut, osin ristiriitaiset, kokemukset selittynevät löysän pintakerroksen erityisominaisuuksien perusteella. Joissakin tapauksissa renkaan leveyden lisääminen on pienentänyt pintapainetta niin, että renkaiden uppouma on pienentynyt ja kulkuvastus laskenut. Vastaavasti vettyneen saviin oloissa leveiden renkaiden asentaminen on voinut huonontaa tilannetta, koska uppoumaa ei ole voitukaan pienentää. Tästä on aiheutunut yhä suurempia vaikeuksia, koska kulkuvastus on vain kasvanut entisestään. Lisäksi leveä rengas puhdistuu aina huonommin kuin kapea. Vapaasti pyörivät leveät pyörät saattavat lopettaa pyörimisensä liian suuren puskuvastuksen vuoksi. Liukkailla savirinteillä renkaan liian pienestä pintapaineesta voi olla myös haittaa, sillä puimuri saattaa liukua rinnettä pitkin renkaiden saamatta otetta pellon pinnasta.

Suuren ilmatilavuuden ja kantavan pinnan vuoksi leveissä renkaissa voidaan usein käyttää alhaisempia ilmanpaineita kuin halkaisijaltaan samankokoisissa kapeammassa renkaissa. Alhaisempi ilmanpaine lisää renkaan joustoa ja kompensoi osittain leveän kosketuspinnan aiheuttamia ongelmia. Kenttäkokeissa leveän matalaprofiilirenkaan puhdistuvuusominaisuudet paranivat ratkaisevasti, kun renkaan ilmanpaine laskettiin 160 kPa:sta 55 kPa:iin.

Renkaan luiston tulee olla mahdollisimman alhainen sen tunkeutuessa pehmeän pintamaan läpi kovaan pohjamaahan, jossa leikkaukselujuus on huomattavasti suurempi. Kun luisto on n. 20 %, rengas luistaa kosketuspituuden matkalla ripavälin verran, jolloin ripojen väleissä olevat maakannakset leikkautuvat irti. Samalla peltoon alkaa syntyä syviä ajoraiteita, jotka myöhemmin vaikeuttavat muita kasvinviljelytöitä, erityisesti kyntöä. Luisto pitäisi saada pysymään alle 15 %.

Käytännössä tämä edellyttää, että käytetään halkaisijaltaan suuria renkaita, joiden leveys on kohtuullinen. Tasaisen saviin kenttäkokeen tulokset tukevat väitettä erittäin selvästi. Halkaisijaltaan suuri ja kapea rengas oli sekä luisto- että kulkuvastusarvoiltaan selvästi muita vaihtoehtoja parempi. Renkaiden puhdistuvuudella on erittäin suuri merkitys tällaisissa olosuhteissa. Vastaavissa oloissa levikepyöristä oli pelkkää haittaa, koska ne tukkeutuivat välittömästi luiston takia.

Upottavalla suomaalla tai multamaalla kulkuongelmana on puimurin uppoaminen. Tällöin pintapaine ratkaisee leikkuupuimurin kulkukyvyn. Kestävin maakerros on pinnassa, eikä savimaille tunnusomaista tiivistä pohjamaata ole. Orgaanisilla mailla levikepyöristä on selvää hyötyä. Upottavilla suomailla renkaiden halkaisijan ja leveyden tulee olla mahdollisimman suuri sekä puimurin rakenteen kevyt.

McALLISTERin (1983, s. 133) ja REEDin (ref TAYLOR 1982, s. 1229) mukaan kulkuvastus on pienempi, kun rengas kulkee polanteessa. Leveän takaraidevälin ansiosta takapyörrien halkaisijaa voidaan suurentaa huomattavasti. Kenttäkokeissa takapyörrien kulkuvastus pieneni n. 30 %, kun takapyörrien raideväli oli yhtä suuri kuin etupyörrien raideväli ja takapyörät oli korvattu halkaisijaltaan suuremmilla pyörillä.

VOGELAARin (1978, s. 8) mukaan painavan leikkuupuimurin kulkukykyä voidaan parantaa huomattavasti hydrostaattisen takavedon avulla. Kenttäkokeiden tulos oli samansuuntainen. Takaveto on tarpeellinen kuitenkin vain eräissä erikoistapauksissa, sillä olosuhteisiin sopivat eturenkaat ja taka-akseliston parannukset varmentavat puimurin kulkua usein riittävästi.

Taka-akseliltaan raskaat puimurit kärsivät takapyörien suuresta kulkuvastuksesta. Erityisesti tällaisissa puimureissa kohtuullinen takapyörien työntö pienentää etupyörien luistoa merkittävästi. Optimaalinen takapyörien kehävoiman suuruus määrättiin minimoimalla leikkuupuimurin kokonaiskulkuvastus. Käytännön ajokokeemukset tukevat saatuja optimikohtia, jolloin paras tulos saavutettiin säätämällä kehävoima niin, että takapyörät työntävät puimuria kevyesti. Takavedon käyttö pienentää puimurin kokonaiskulkuvastusta ja painonsiirtoa etupyöriltä takapyörille. Pehmeillä suomailla ja liukkailla rinteillä, joilla painonsiirto vaikeuttaa liikkumista selvimmin, hydrostaattinen takaveto parantaa puimurin kulkua ratkaisevasti.

Liukkaalla savirinteellä ajetuissa kokeissa vyörenkailla päästiin yhtä hyvin tuloksiin kuin hydrostaattisella takavedolla (kuvio 19). Kuvan tilanteessa ristikudosrenkaalla on ollut selviä vaikeuksia. Osa koeajoista päättyikin kiinnijääntiin. Olosuhteet ovat olleet vaikeahkot, mutta ne tosin ovat vain yksi olosuhdeasteikon kohta. Ei ole kuitenkaan varmaa, että tulos olisi samanlainen koeolosuhteitakin huonommissa olosuhteissa. Erilaisten rengastyypivaihtoehtojen ja toisaalta takavedon tulosten yleistäminen on epävarmaa vielä selvästi huonompiin oloihin, koska kulkumenetelmät poikkeavat toisistaan oleellisesti. Takavedolla varustettu puimuri ei ole yhtä herkkä painonsiirron vaikutuksille kuin pelkkä etuvetoinen puimuri. Tulosten yleistettävyyden kannalta onkin paljolti kysymys siitä, kuinka huonoissa olosuhteissa puidaan.

Korkea akselipaino vaurioittaa aina peltomaan rakennetta. Tämän vuoksi leikkuupuimurin keveys on eduksi. Leikkuupuimurin suuri paino lisää kokonaiskulkuvastusta, jonka vuoksi myös etupyörien vääntömomenttitarve on suurempi. Vetävien pyörien suuri vääntömomentti aiheuttaa suuren painonsiirron, joka lisää takapyörien kulkuvastusta ja saattaa jopa lisätä etupyörien luistoa edelleen kasvaneen vääntömomenttitarpeen vuoksi. Koeajopuimurilla painonsiirto oli tasaisella savimaalla 0.5 - 5 kN, tasaisella suomaalla 0 - 7 kN ja rinnepellolla 5 - 11 kN. Vaihteluväli oli varsin suuri, mikä kuvaa mitattavan suureen herkkyyttä muutoksille. Suomaalla ajetuissa kokeissa kulkualustan epätasaisuus ja suuret

uppouman vaihtelut ovat todennäköisesti aiheuttaneet iskuja tasa-akseliin ja vaikuttaneet mittaustulosten hajontaan.

Valtaosa markkinoilla olevista puimureista on suunniteltu käytettäväksi olosuhteissa, joissa kulku on vaivatonta. Sekä leikkuupuimureiden etu- että erityisesti takarenkaat ovat selvästi liian pienet. Renkaiden vaihtaminen kulkuolojen mukaan suuremmiksi jälkeinpäin ei aina onnistu lainkaan ja yleensä vain leveyssuuntaan. Puimurin suunnittelussa tulisi ottaa huomioon rengaskoon jälkikäteen suurentamisen mahdollisuus.

### 6.3. Leikkuupuimurin ohjattavuus

#### 6.3.1. Takapyörrien raidevälin ja renkaiden koon vaikutus ohjattavuuteen

Leikkuupuimurin ohjattavuuden tutkimus perustuu puimurin kuljettajan tekemiin havaintoihin, jotka kirjattiin muistiin mittauspöytäkirjaan. Yleensä leikkuupuimurin takapyörät kulkevat joko etupyörrien kanssa samassa jäljessä (leveä taka-akseli) tai etupyörrien raidevälin sisäpuolella (kapea raideväli). Taka-akseliltaan leveäraidevälinen puimuri käyttäytyy vakaammin upottavalla pellolla kuin kapearaidevälinen. Takapyörät kulkevat etupyörrien tallaamassa polanteessa, eikä puimurin kulkusuunta muutu äkillisesti takapyörrien liukuessa sivuttain. Jos takapyörät ovat halkaisijaltaan pienet ja varsinkin jos takarenkaiden leveys on sopimaton eturenkaan jälkeen nähden, puimurin kääntyminen on ajoittain vaikeaa. Rengas nousee vaivoihin ylös etupyörrien tallaamasta urasta. Taka-akselikuorma vaikuttaa selvästi ohjattavuuteen. Puimuri ohjautuu yleensä paremmin, jos taka-akselikuorma on suuri. Taka-akselin kulkuvastuksen kannalta suuresta taka-akselikuormasta on luonnollisesti selvää haittaa. Ajokokeiden perusteella puimuri säilyttää kuitenkin ohjattavuutensa tyydyttävästi keveästä taka-akselikuormasta huolimatta, jos takapyörät ovat halkaisijaltaan suuret ja ripakuvioiset. Puimurin runko-osat rajoittavat usein takapyörrien halkaisijan suurentamista. Renkaiden halkaisijan tulisi kuitenkin olla mahdollisimman suuri. Takarenkaiden leveyden tulisi olla noin puolet eturenkaiden leveydestä, jolloin renkaan molemmille sivuille jää tilaa pyörän ohjausliikkeille.

### 6.3.2. Hydrostaattisen takavedon vaikutus ohjattavuuteen

Ajokokeiden mukaan kohtuullinen takapyörien työntö (ks. s. 52) paransi puimurin ohjattavuutta tuntuvasti. Puimurin kääntyminen pellon kulmissa helpottui selvimmin. Vetävien takapyörien oli helpompaa nousta ylös etupyörien painamasta urasta. Kun taka-akselikuorma oli 1630 kg, liian suuret kehävoimat (7-10 kN) aiheuttivat takapyörien luiston kohoamisen liian suureksi (yli 20 %). Tämän takia takapyörät muuttuivat hakeutuviksi ja ohjaaminen vaikeutui samalla. Puimurin ohjattavuuden kannalta olisi eduksi, jos takapyörien kehävoima olisi tasaisella savimaalla n. 20-30 % taka-akselin normaalivoimasta. Upottavalla suomaalla kehävoima voi olla jopa 50 % taka-akselin normaalivoimasta ilman, että takapyörien luisto haittaa puimurin ohjaamista. Rinnepellolla kehävoiman tulee olla 20-40 % taka-akselin normaalivoimasta rinteiden kaltevuuden mukaan. Jos takapyörien kehävoima on tätä suurempi, niin puimuri menettää helposti ohjattavuutensa rinnettä alaspäin puitaessa.

### 6.4. Leikkuupuimurin kulkukyvyn parantaminen

Leikkuupuimurin kulkukykyä on mahdollista parantaa jälkikäteen huomattavasti. On vain harkittava, mitkä parannustoimenpiteet riittävät tilan olosuhteissa, sillä muutostyön hinta kasvaa kulkukyvyn parantuessa. Täysin satunnaisten ja pintialaan nähden merkityksettömien kulkuvaikeuksien vuoksi ei kannata ryhtyä omatoimisiinkaan parannustoihin. Tarvittaessa parannustyöt on syytä tehdä seuraavan luettelon mukaisesti.

1. Sekä etu- että takarenkaiden ilmanpaineita alennetaan rengasvalmistajan tai maahantuojaan sallimiin minimiarvoihin.
2. Silppuri irrotetaan ja puidaan vajaalla viljasäiliöllä. Puimuria kevennetään kaikin mahdollisin keinoin.

3. Eturenkaiksi voidaan tilapäisesti vaihtaa talon traktoreista suurempi läpimittaiset renkaat. Usein myös taakse on asennettava suurempi läpimittaiset renkaat, jotta leikkuupuimuri kulkisi suorassa. Lisäksi on varmistuttava, että leikkuupöytä laskee riittävän alas renkaiden vaihdon jälkeen. Leikkuupöytä ei saa tulla myöskään liian ottavaksi, jolloin esimerkiksi laonnotajien käyttö saattaa vaikeutua.
4. Mikäli takaraideväli ei ole sama kuin eturaideväli, sen leventäminen on eduksi. Takarenkaiksi vaihdetaan läpimitaltaan mahdollisimman suuret, mieluummin ripakuvioiset renkaat, joiden leveys on noin puolet eturenkaiden leveydestä. Ripakuvio asennetaan toisinpäin kuin eturenkaissa.
5. Hankitaan tilan maalajeille mahdollisimman sopivat eturenkaat. Tarttuville savimaille ja rinteille suositellaan hyvin puhdistuvia renkaita. Kantopinnaltaan mahdollisimman suuret renkaat ovat suositeltavia upottaville eloperäisille maille ja hiedoille.
6. Puimuri varustetaan takavedolla.

#### 6.5. Yhteenveto tulosten tarkastelusta

Maatalousajoneuvojen kulkua pehmeällä alustalla on tutkittu verrattain vähän. Tutkimus on painottunut traktorin vetovoiman ja maan tiivistymisen tutkimiseen melko hyvissä kulkuoloissa. Käytännössä monet sadonkorjuuseen liittyvät työt joudutaan tekemään hyvinkin vaikeissa oloissa.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa perustietoa leikkuupuimurin kulkukyvystä pehmeän maan erityisololoissa. Märän peltomaan olosuhteiden vaihtelu osoittautui varsin nopeaksi ja suureksi. Tämä vaikeuttaa tulosten yleistettävyyttä. Olosuhdemittaukseen olisi kehitettävä nopea ja helppokäyttöinen menetelmä, jonka avulla kulkuolot voitaisiin kuvata tarkasti.

Tutkimuksen mukaan pehmeän maan kulkutekniikka poikkeaa melkoisesti kovan maan kulkutekniikasta. Pehmeällä pinnalla kosketuspinnan muodolla on ratkaiseva merkitys. Kosketuspinnan tulee olla mahdollisimman pitkänomainen. Nykyisellään leikkuupuimurin rengasvaihtoehdot ovat muotoutuneet pitkälti renkaan kuorman kantavuusvaatimusten, eikä kulkukykyvaatimusten mukaan. Tulevaisuuden leikkuupuimuri näyttäneen melko toisenlaiselta kuin nykyinen.

Renkaiden halkaisijan pitäisi kasvaa selvästi nykyisestä. Sen sijaan että leikkuupuimuriin asennetaan nykyisin esimerkiksi 18.4-26 renkaat, rengaskoon pitäisi olla 18.4-34 tai 16.9-38. Varsinkin suurten puimureiden renkaat ovat usein kooltaan riittämättömät, koska renkaiden kosketuspinnan lisääminen ei täysin kompensoi samassa suhteessa kasvaneen pyöräkuorman vaikutusta uppoumaan ja kulkuvastuskertoimeen.

Tutkimuksessa oli mukana pelkästään pyörävaihtoehdot. Erityyppiset puolitelarakenteet ovat kuitenkin kehittyneet viimevuosina huomattavasti. Telakulkuneuvojen etuna on nimenomaan kosketuspinnan parempi muoto ja pintapaineen tasaisempi jakautuminen kosketuspinnalle. Luiston ja eri kulkumenetelmien vaikutusta vettyneen maan tiivistymiseen ei tutkimuksessa käsitelty lainkaan. Kiintoisa jatkotutkimusaihe olisikin mahdollisimman peltoystävällisen kulkumenetelmän kehittäminen.

## 7. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää leikkuupuimurin kulku-  
kykyyn vaikeissa puintioloissa vaikuttavat tekijät. Tutkimuksen  
kokeellinen osa perustui n. 350 koeajoon syksyllä 1985 ja syk-  
syllä 1986. Koealueisiin kuului veden pehmittämiä savimaita,  
humuspitoisia maita ja liukkaita savirinteitä. Takapyörien  
raideleveyttä, rengaskokoa ja painojakaumaa voitiin vaihdella  
kokeiden aikana. Kokeessa oli mukana korkearipaiset vyörenkaat,  
matalaprofiilirenkaat, erikokoisia ristikudosrenkaita ja levike-  
pyörävarustus. Taka-akselin raideleveyttä ja rengaskokoa vaih-  
deltiin kokeen aikana. Lisäksi syksyllä 1986 leikkuupuimuri oli  
varustettu hydrostaattisella takavedolla, jota kokeiltiin eri-  
tyyppisissä pelto-oloissa.

Kenttäkokeiden tulosten mukaan leikkuupuimurin kulkukykyyn  
voidaan vaikuttaa ratkaisevasti. Kulkuvaikeuksien syy vaihtelee  
paljon olosuhteiden mukaan. Liikkumisongelmat ovat tiivillä  
savimaalla aivan toisenlaiset kuin pehmeällä suomaalla. Renkaan  
ilmanpaineella on ratkaiseva vaikutus renkaan joustoon. Sateen  
pehmittämällä pellolla renkaan pitää olla mahdollisimman joustava,  
jotta pintapaine olisi alhainen ja rengas pysyisi puhtaana.  
Renkaan luisto ei saisi koskaan nousta yli 20 %, koska leikkuu-  
puimuri alkaa tällöin kaivautua peltoon ja kaivaa siihen syvät  
kulku-urat. Leikkuupuimurin pitäisi olla rakenteeltaan mahdolli-  
simman kevyt, sillä suuri akselipaino vaurioittaa aina peltomaan  
rakennetta. Suuri taka-akselipaino aiheuttaa suuren takapyörien  
kulkuvastuksen, joka usein haittaa puimurin kulkua ratkaisevas-  
ti.

Leveämpien renkaiden käyttö parantaa kulkukykyä sikäli, kun  
uppoamisen estäminen on mahdollista. Pehmeä pintamaa siirtyy  
kuitenkin hyvinkin pienen pintapaineen vuoksi ja kasautuu osit-  
tain renkaan eteen. Tietyissä oloissa renkaan leveys oli jopa  
haitaksi, koska uppouma ei pienentynyt leveämmästä kosketuspinta-  
alasta huolimatta. Tämän tästä kulkuvastus nousi jyrkästi.  
Ns. puskuvastusilmiö on yleisempi leveillä renkailla kuin ka-  
peilla renkailla. Renkaan kuvio tukkeutuu myös helpommin, kun  
kulutuspinna on leveä. Upottavissa oloissa renkaan halkaisijan  
tulisi olla suurempi kuin normaalisti. Erityisesti leikkuupuimu-

rin takapyörien tulisi olla halkaisijaltaan huomattavasti totuttua suuremmat ja samalla ripakuvioiset. Vyörenkaat ovat samankokoisia ristikudosrenkaita parempia kaikilla maalajeilla. Tämä johtuu renkaan joustavammasta rakenteesta, jolloin kosketuspinta on muodoltaan pitkänomaisempi kuin vastaavankokoisen ristikudosrenkaan. Savimailla levikepyöristä ei ole hyötyä, vaan pikemminkin haittaa. Levikepyörien kuvio ja rengasväli tukkeutuvat helposti, ja seurauksena on usein nopea kiinnijuuttuminen. Levikepyörät soveltuvat ainoastaan hyvin humuspitoisille maille, joissa kulkukyky määräytyy pintapaineen mukaan.

Leikkuupuimurin kulkukykyä voidaan parantaa selvimmin takapyörien kulkuvastusta pienentämällä. Useissa tapauksissa takapyörien korkea kulkuvastus aiheuttaa etupyörien korkean luiston. Takapyörien raidelevyden tulisi olla tarkalleen sama kuin etupyörien raidelevyden. Lisäksi takapyörien leveyden tulisi olla noin puolet etupyörien leveydestä, jolloin renkaan molemmin puolin on riittävästi tilaa ohjausliikkeille. Kenttäkokeissa kapealle taka-akselille asennetut pitkittäisuraiset matalaprofiilirenkaat (400/55-17.5) korvattiin leveälle taka-akselille asennetuilla ripakuvioisilla (12.5-18) renkailla. Tällöin kulkuvastuskerroin laski noin 30 %. Koeoloissa cone-arvo oli n. 200...250 kPa.

Erittäin vaikeita puintioloja varten puimuri voidaan varustaa hydrostaattisella takavedolla. Painojakaumaltaan raskastaka-akseliset puimurit hyötyvät eniten takavedosta. Kenttäkokeiden mukaan takapyörien tulisi vetää voimalla, joka voittaisi niiden oman kulkuvastuksen ja työntäisi puimuria kevyesti eteenpäin. Savimaalla takapyörien kehävoiman tulisi olla n. 20-30 % taka-akselin normaalipainosta. Eloperäisillä maille takapyörien kehävoiman tulee olla suurempi, noin 50 % taka-akselin normaalipainosta. Jos takapyörien luisto kasvaa liian suureksi (15-20 %), ohjaaminen vaikeutuu ja moottoritehoa tuhlautuu. Kevyt työntö vähentää myös leikkuupuimurin kokonaiskulkuvastusta. Hydrostaattinen takaveto on parhaimmillaan liukkailla savirinteillä ja suomaille.

## 8. LÄHTEET

- AHOKAS, J. 1974. Traktorin vetovoima ja sen lisääminen. 135 s., 11 liitettä. Diplomityö. Nähtävillä Teknillisen Korkeakoulun kirjastossa.
- ANON. 1985. Soil Cutting and Tillage. 1985. Developments in Agricultural Engineering 7:1-217.
- ABEELS, P.F.J. 1982. Performance of Agricultural Tractors and Tire Improvements. ASAE paper No. 82-1570:1-19.
- BEKKER, M. 1956. Theory of Land Locomotion. 520 s.
- BEKKER, M. 1969. Introduction to Terrain-Vehicle Systems. 846 s.
- DANFORS, B. 1980. Däck för traktorer och redskap. Jordbrukstekniska institutet. 386:1-70.
- GEE-GLOUGH, D. 1985. The Special Problem of Wetland Traction and Flotation. Journal of Agricultural Engineering Research. 32:279-288.
- GUPTA, P.K. 1982. The Effect of Wheel Width on the Rolling Resistance of Rigid Wheels in Wet Paddy Soils. Asian Institute of Technology. Thesis no. AE-82-5:1-53.
- HERMANSSON, S. 1974. Fordonsteknik. Nähtävillä Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksella.
- MCALLISTER, M. 1983. Reduction in the Rolling Resistance of Tyres for Trailled Agricultural Machinery. Journal of Agricultural Engineering Research. 28:127-137.
- MÖLLER, B. 1980. Framhjulsdrevning på mindre traktorer. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för arbetsmetodik och teknik. 63:1-58.
- PERDOK, U.D. 1978. A Prediction Model for the Selection of Tyres for Towed Vehicles on Tilled Soil. Journal of Agricultural Engineering Research. 23:369-383.
- PLACKETT, C.W. 1983. The Tricky Problem of Tyre Ground Pressures. Power Farming. 7: 41-43.
- PLACKETT, C.W. 1985. A Review of Force Prediction Methods for Off-road Wheels. Journal of Agricultural Engineering Research. 31:1-29.
- SIÖLAND, T. 1986. Rullmotstånd hos dragna hjul med lågprofildäck. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för Lantbruksteknik. 105: 1-44.
- SÖHNE, W. 1969. Agricultural Engineering and Terramechanics. Journal of Terramechanics 4:9-18.
- TAYLOR, J.H. 1982. Multipass Behaviour of a Pneumatic Tire in Tilled Soils. Transactions of the ASAE. 25:1229-1236.
- VOGELAAR, B.F. & NEWCOM, D.L. 1977. Auxiliary Propulsion-Powered Combine Steering Axle. ASAE paper No. 77-1549:1-9.

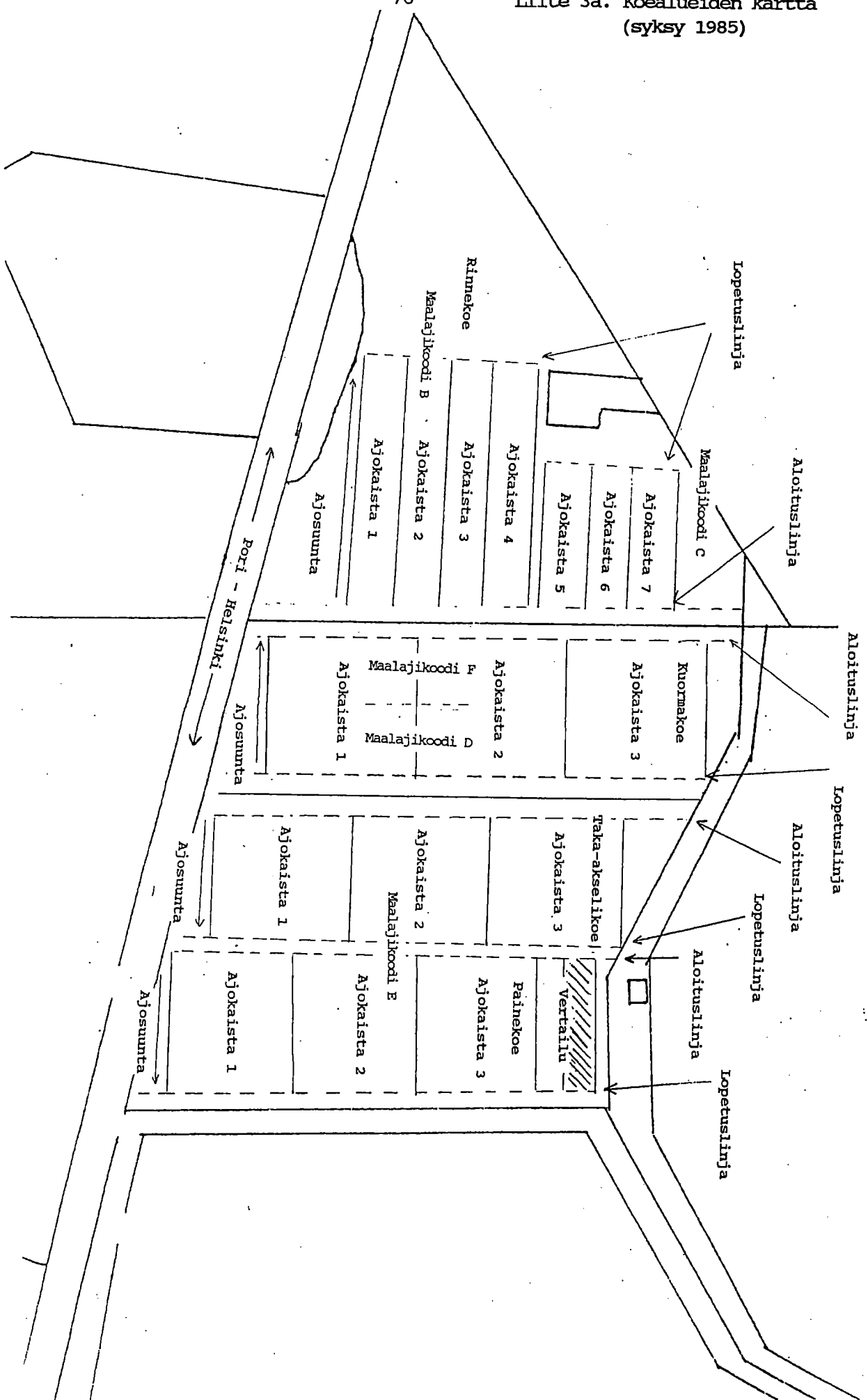
## Liite 1. Yhtälöissä käytettyjen symbolien merkitys

$\mu_0$	=	kehävoimakerroin	
$\mu$	=	vetovoimakerroin	
$n$	=	kierroksia/matka (sisältää luistoa)	k/m
$n_0$	=	kierroksia/matka (nollaluistolla)	k/m
$v$	=	kehänopeus	m/s
$v_0$	=	ajonopeus	m/s
$s$	=	luisto	%
$S$	=	matka/kierros (sisältää luistoa)	m
$S_0$	=	matka/kierros (nollaluistolla)	m
$f$	=	kulkuvastuskerroin	
$p_i$	=	pintapaine	N/m <sup>2</sup>
$R_n$	=	pyöräkuorma	N
$A$	=	kosketuspinta-ala	m <sup>2</sup>
$b$	=	renkaan leveys	m
$r$	=	renkaan säde	m
$\mathcal{T}_{\max}$	=	leikkauslujuus	N/m <sup>2</sup>
$c$	=	maan koheesiovoima	N/m <sup>2</sup>
$\phi$	=	maan sisäinen kitkakulma	°
$\delta$	=	kosketuspinnan normaalijännitys (pintapaine)	N/m <sup>2</sup>
$F_{\max}$	=	maksimikehävoima	N
$F_n$	=	kehävoima	N
$F_v$	=	kulkuvastusvoima	N
$F_a$	=	vetovoima	N
$D, d$	=	renkaan halkaisija	m
$k$	=	kulkuvastuksesta johtuva pyörän painopisteen poikkeama	m
$R$	=	kokonaiskulkuvastus (pyörä)	
$L$	=	kosketuspinnan pituus	m
$B$	=	kosketuspinnan leveys	m
$c$	=	renkaan muodonmuutosvakio	
$D^*$	=	simuloidun kovan pyörän halkaisija	m
$P_i$	=	renkaan ilmanpaine	N/m <sup>2</sup>
$P_c$	=	renkaan runkopaine	N/m <sup>2</sup>
$M$	=	liikkuvuusluku	
$k$	=	maaparametri	Nm <sup>-(n+2)</sup>
$Z$	=	painuma	m
$n$	=	uppoumaeksponentti	(0-1)
$c$	=	cone-indeksi	N/m <sup>2</sup>
$h$	=	renkaan poikkileikkauskorkeus	m
$\sigma$	=	renkaan painuma	(m)

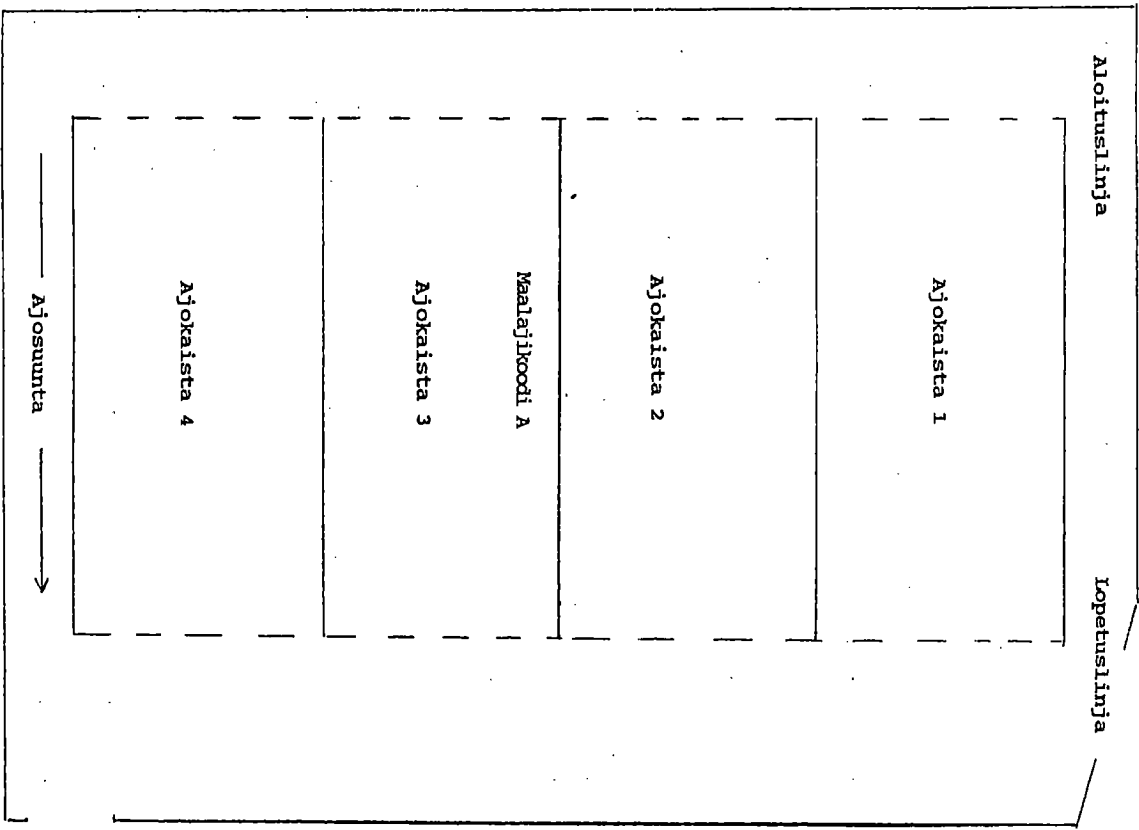
## Liite 2. Koealueiden maalajit

Koealue		A	B	C	D	E	F	H
	Humus %	10.1	2.6	5.4	13.4	19.5	6.2	21.2
	Saves %	75.5	61.0	37.0	68.0	74.0	69.0	51.0
	Hiesu %	18.5	17.0	43.5	27.0	22.5	24.0	42.0
Osakoe	Hieta %	5.0	10.0	17.0	5.0	3.0	5.0	8.0

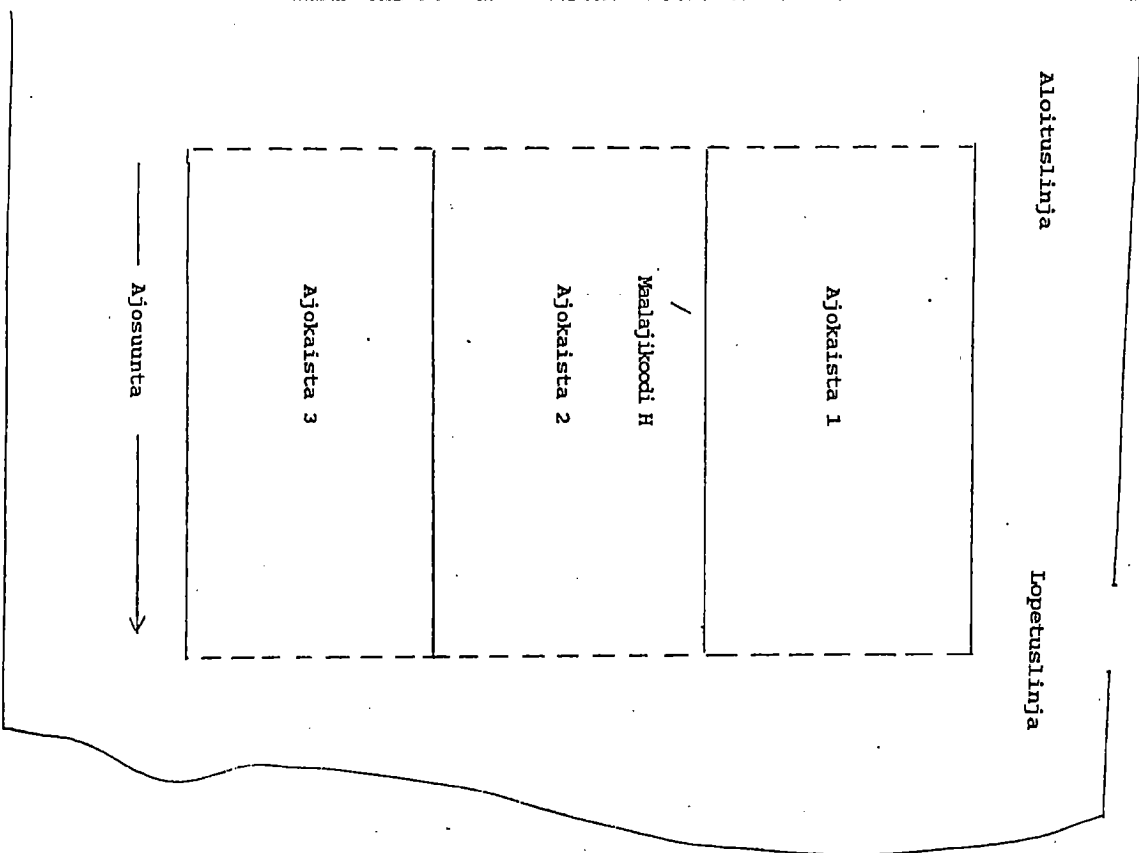
Rinneajo 1.			X					
Rinneajo 2.				X				
Liejusavi		X						
Kuormakoe					X		X	
Ilmanpainekoe						X		
Järvimuta					X	X	X	X
Taka-akselikokeet						X		
Vertailukoe						X		



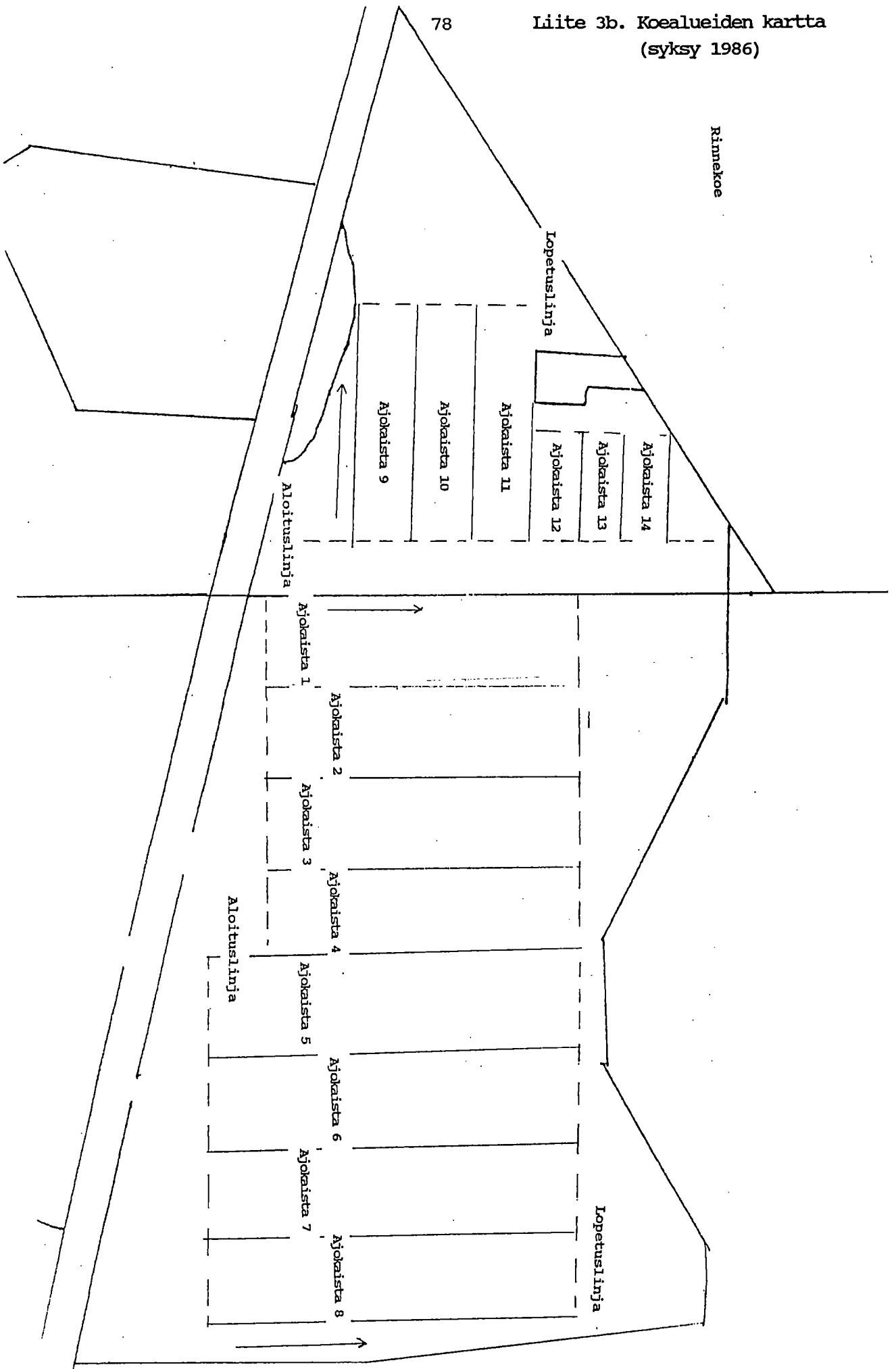
Iiejusavikoe



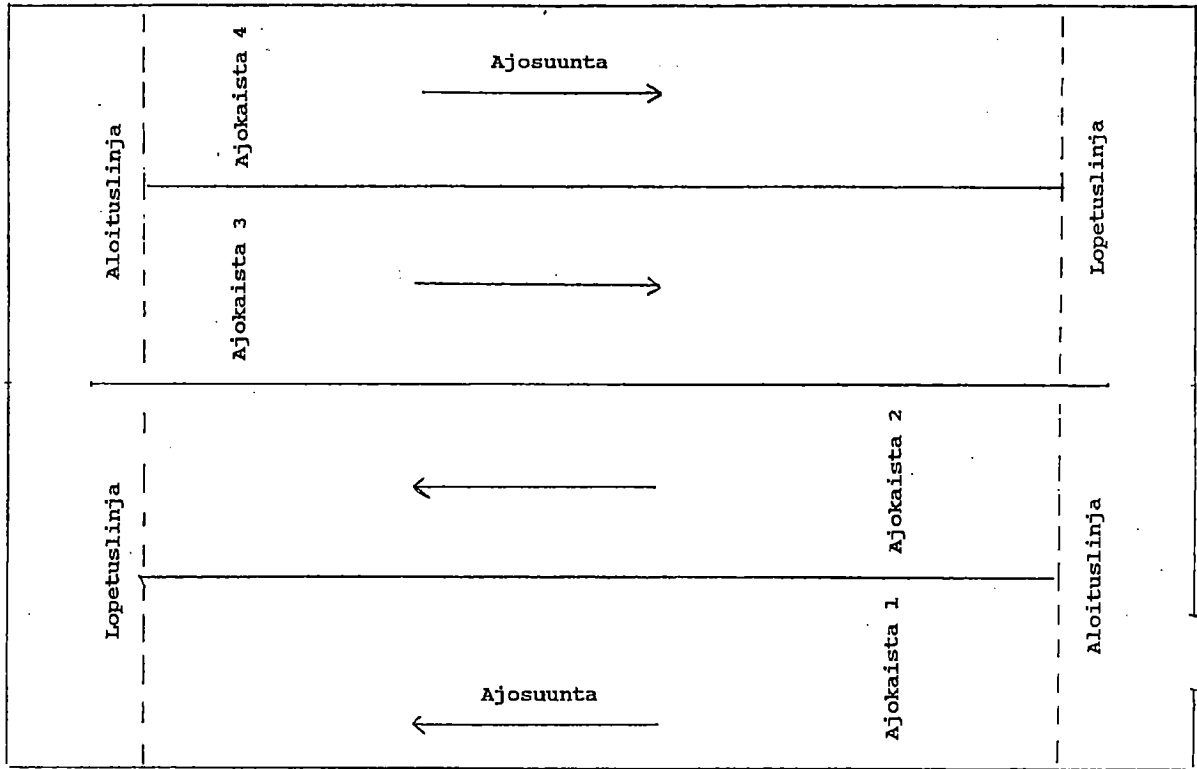
Maalajikoe/järviunta



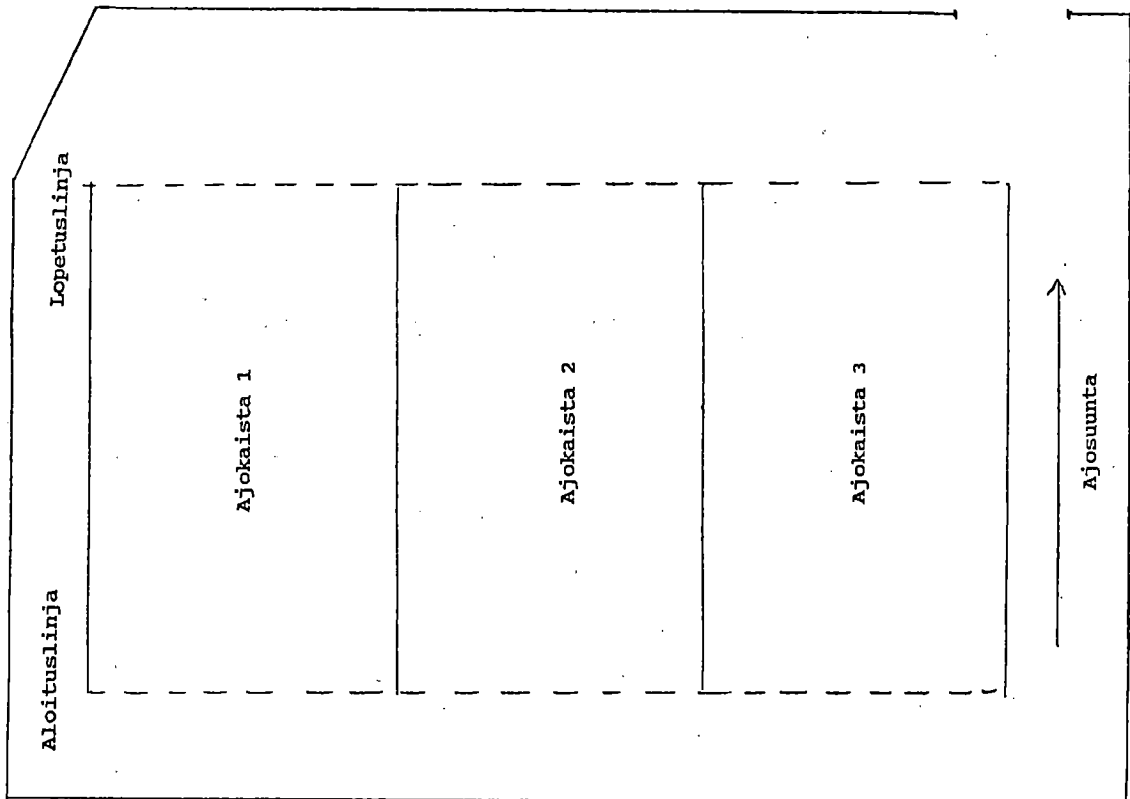
Rinneke



Eloperäinen maa



Tasainen savimaa



## Liite 4. Renkaiden mitat

## Eturenkaiden mitat:

Rengas	Kuvion leveys	Ripamäärä	Rivan leveys	Rivan korkeus	Ripakulma
Vertailu: Nokia (18.4-26)	435	19	33	32	41°
Kleber a (18.4-26R)	435	17	35	48	49°
Michelin b (18.4-26R)	410	18	44	45	51°
Trelleborg (600/60-30.5)	564	20	36	48	43°
Nokia (16.9-34)	411	22	36	34	41°
Levikep. (14.9-28)	335	19	52	26	-

Mittaustulokset ovat millimetreinä (mm)

## Takarenkaiden mitat:

Rengas	Halkaisija	Leveys	Ripamäärä	Ripaleveys	Ripakorkeus
12.5/80-18	1020	340	19	37	20
12.5/80-18	990	330	-	-	-
400-17.5	910	420	-	-	-
11.5/80-15.3	825	280	-	-	-

