



VAKOLA



Rukkila
00001 Helsinki 100

Helsinki 53 41 61

Pitäjänmäki

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS

Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry

1975

Tutkimusselostus

14

Study report

**TUTKIMUS MAATALOUSTRAKTORIN
VETOVOIMASTA**

JUKKA AHOKAS — MANU ALTONEN

HELSINKI 1975

SUMMARY

To determine the different facts affecting on drawbar performance of agricultural tractors we have studied several test reports and articles and made drawbar tests in winter in snow and on an icy road and in summer on a gravel road, on a ploughed field and on a newly-plowed field. In winter we used two two-wheel drive tractors with and without ice chains. In summer we used a four-wheel drive tractor.

The following facts affect on drawbar pull; wheel slip, rolling resistance, steepness of slope, direction of pull (if not parallel to direction of travel), ground compaction, transmission, tyres, number of driving wheels, traction aids, load transfer and ballasts. The effect of these facts depends on the surface on which we are travelling. On a cohesive soil the means to improve drawbar performance are quite different from the means on a frictional soil. On cohesive soils we can improve the drawbar performance by increasing contact area or using such traction aids, that instead of cohesion use internal stresses of soils. On frictional soils we can improve drawbar performance by increasing axle loads on driving wheels. Of course we must also consider softness of soils. Rolling resistance becomes easily large when wheel sinkage increases. The best way to decrease rolling resistance is to decrease ground pressure so small that we can travel on soil surface. However this does not always succeed. If the soil under the soft surface is firm we can try to penetrate the soft surface and get a good grip of the firm soil. If a tractor neither travels on the soft surface nor penetrates to the firm soil, the travelling speed of the tractor becomes slow because the tractor must over and over again dig to the firm soil. This is especially so when we are travelling in snow.

TIIVISTELMÄ

Traktorin vetovoiman arvioimiseksi on johdettu traktorin vetovoiman yhtälöt tasapainoyhtälöiden avulla. Näissä yhtälöissä kehävoimakkeero ilmoittaa maan pito-ominaisuudet ja vierimisvastuskerroin traktorin oman liikkumisen vastuksen. Jos kuljettavan reitin ominaisuuksiin liittyvät kertoimet tiedetään, niin traktorin vetovoima voidaan arvioida.

Vetovoimaan vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi on tutkittu useita koti- ja ulkomaisia koetuloksia, sekä on tehty vetokokeita talvella jäisellä tiellä ja lumihangessa kaksipyörävetoisilla maataloustraktoreilla ja kesällä soratiellä, kynnöksellä ja mulloksella nelipyörävetoisella traktorilla. Eri varusteiden vaikutusta on pyritty vertaamaan kehävoimakertoimilla ja vierimisvastuskertoimilla, jolloin traktorin mitat ja painot eivät vaikuta paljoakaan tuloksiin.

Traktorin vetovoimaan vaikuttavat vetävien pyörien luisto, ajovastus, rinteen jyrkkyyden ja vetokulman vaikutus, polantumisen, voimansiirtojärjestelmä, ilmakumirengas, vetävien pyörien lukumäärä, liuku-esteet, painonsiirto ja lisäpainot. Näiden eri tekijöiden vaikutus riippuu siitä, millaisella maaperällä liikutaan. Kovalla ja pitävällä maalla vaikutus voi olla aivan erilainen kuin pehmeällä ja liukkaalla maalla. Näin ollen vetovoiman lisäämiseksi käytettävät keinot ovat eri maaperillä erilaiset. Lisäksi näillä tekijöillä on myös keskinäistä vaikutusta toisiinsa.

Maalajit voidaan jakaa pitävyytensä mukaan kitkallisiin (esim. hiekka) ja kohesiivisiin (esim. liukas savi). Kitkallisilla mailla vetovoimaa voidaan lisätä akselikuormitusta lisäämällä olettaen, ettei ajovastus kasva samalla voimakkaasti. Kohesiivisillä mailla taasen on lisätävä kosketuspinta-alaa, tai on käytettävä sellaisia renkaita tai liuku-esteitä, jotka "pureutuvat" liukkaaseen maahan, ja traktori liikkuu maan ja renkaan välisen kohesion asemesta maan sisäisen leikkausjännityksen ansiosta. Usein maalajeilla on sekä kitkaa että kohesiota. Tällöin käytettävä vetovoiman lisäämismuoto riippuu siitä, kumpi on hallitsevana.

Maan pitävyyden lisäksi vetovoimaan vaikuttaa maan pehmeys. Ajovastus kasvaa nopeasti maan pehmetessä ja pyörän uppouman kasvaessa. Parhaimpana tapana ajovastuksen pienentämiseksi voidaan täl-

löin pitää pintapaineen pienentämistä niin pieneksi, että traktori pysyy pehmeän pinnan päällä. Aina ei kuitenkaan ole mahdollisuuksia tähän. Jos pehmeän pinnan alla on kova pohja, voidaan pyrkiä saamaan pitävä ote siitä. Traktorin kulku vaikeutuu huomattavasti, jos traktori ei pysy pehmeällä pinnalla, mutta ei myöskään uppoa kovaan pohjaan asti. Tällöin traktori joutuu yhä uudestaan kaivautumaan kovaan pohjaan pitävän otteen saamiseksi.

Jos pehmeän pinnan alla on kova pohja, niin vetovoima yleensä suurenee ajettaessa useampia kertoja samoja jälkiä (polantumisessa).

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi esteet, kuten kivet, kannot, ojat ja puut, vaikuttavat vetovoimaan.

1. JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat diplomityöhön "Traktorin vetovoima ja sen lisääminen" /2/. Koska useimmat päätelmät perustuvat moniin kirjallisuusviitteisiin ja suoritettuihin vetokokeisiin, yksityisiä viittauksia ei ole merkitty näkyviin vaan kunkin kappaleen lopussa on luettelo tärkeimmistä viitteistä.

Tämän työn tarkoituksena on ollut tutkia maataloustraktorin vetovoimaan vaikuttavia tekijöitä. Vetovoimalla tässä tarkoitetaan traktorin vetokoukusta saatavissa olevaa vetovoimaa. Jos työkonne kiinnitetään traktorin nostolaitteisiin, tarvitaan toisenlaisia vetovoimayhtälöitä kuin mitä tässä tutkimuksessa on esitetty. Kuormaa kantavissa traktoreissa ei taasen tarvita ensinkään vetovoimaa, vaan halutaan ainoastaan voittaa traktorin ajovastus. Tämän tutkimuksen tulokset soveltuvat kuitenkin yhtä hyvin näihin eri tapauksiin.

On huomattava, että tässä selostuksessa puhutaan ainoastaan vetovoimasta eikä vetotehosta, sillä vetovoiman suurentuessa vetoteho suurenee lakipisteeseensä saakka, jonka jälkeen vetovoiman vielä suurentessa vetoteho pienenee nopeasti.

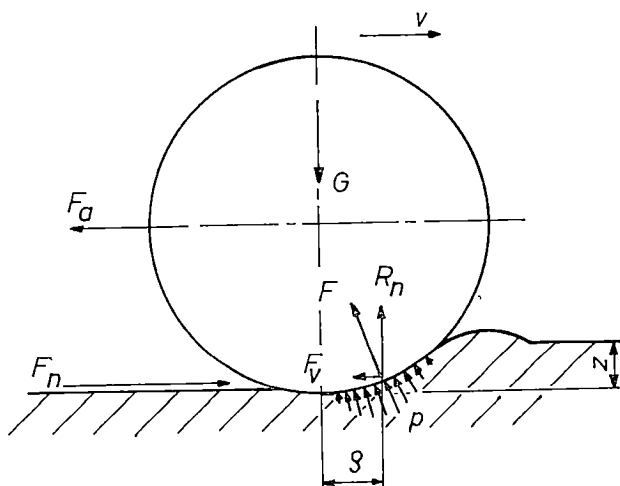
Vain hyvissä olosuhteissa ja tasalaatuisilla mailla (tiet, pellot) voidaan traktorin vetovoimaa arvioida melko luotettavasti. Huonoissa olosuhteissa (metsä, lumi, pehmeä maa) ei voida tehdä tarkkoja ennusteita, sillä olosuhteet muuttuvat nopeasti. Tällöin voidaan puhua lähinnä todennäköisyyksistä. Mitä paremmin kuljettavan reitin ominaisuudet tunnetaan, sitä suuremmalla todennäköisyydellä voidaan vetovoimaa ennustaa. Vetovoimaa ennustettaessa on otettava huomioon vierimisvastuksen lisäksi mahdolliset muut ajovastukset, suurimmat rinteet, joita joudutaan nousemaan, vetokulma sekä traktorin varusteet (liukuesteet, lisäpainot jne.). Lisäksi ennusteet kannattaa laskea kehävoimakertoimen lakipistettä pienemmällä arvolla, sillä tällöin pyörien luisto on pienempi ja saadaan varmuutta sille, että olosuhteiden heikentyessä traktori ei heti pysähdy.

2. KÄSITTEITÄ

2.1. Kehävoimakerroin

Kehävoimakertoimella tarkoitetaan kehävoiman ja akselikuormituksen suhdetta. Se on kitkakertoimen luonteinen kerroin ja riippuu maan pinnan laadusta, pyörän luistosta sekä renkaista. Käyttäen kuvan 1 merkintöjä saadaan kehävoimakertoimelle seuraava yhtälö.

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



Kuva 1. Vetävään, jäykkään pyörään vaikuttavia voimia. — *Forces acting on a rigid driven wheel.*

Yhtälössä (1) F_n on kehävoima ja R_n akselikuormitus. Akselikuormitukseen on otettava mukaan traktorin akselilta toiselle ja myös työkonesta tuleva tai vinosta vedosta johtuva painonsiirto (dynaaminen akselikuormitus). Kehävoimakerroin pysyy melko hyvin vakiona, vaikka akselikuormitus muuttuu. Ilmakumirenkaan suurin kehävoimakerroin on asfaltilla noin 0,9 ja jäällä noin 0,2. Telaketjun kehävoimakerroin voi olla yli yhdenkin. Liukkaalla alustalla kerrointa voidaan parantaa ketjuilla, teloilla tai vetävillä levikepyörillä. Liitteessä 1 on esitetty tyypillisiä kehävoimakertoimien arvoja.

2.2. Vierimisvastuskerroin

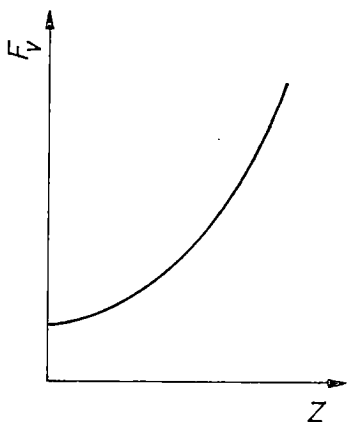
Vierimisvastusvoima F_v aiheutuu maan tukireaktion F paikasta ja suunnasta (kuva 1). Vierimisvastusvoimalle saadaan yhtälö

$$F_v = \frac{g}{r} R_n = f R_n \quad (2)$$

Yhtälössä (2) R_n on dynaaminen akselikuormitus ja f on vierimisvastuskerroin.

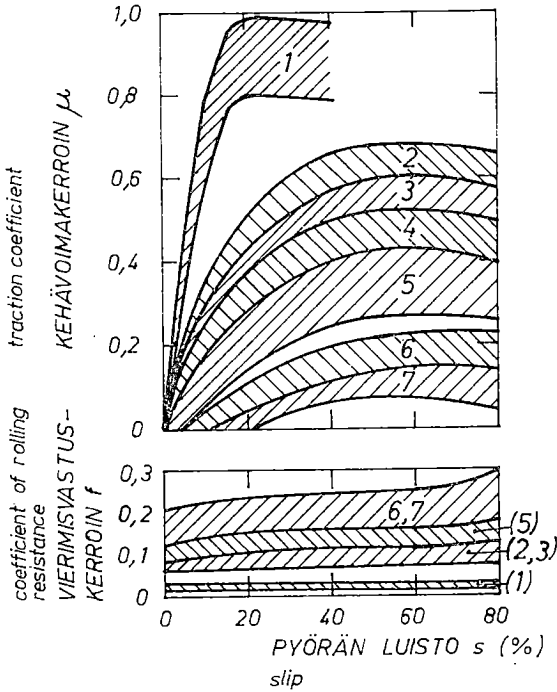
Yleensä vierimisvastuskerrointa ei anneta yksittäisille pyörille erikseen, vaan annetaan koko traktorin vierimisvastuskerroin. Kovalla maalla se on noin 0,01 ... 0,05, sekä pehmeällä maalla ja lumihangessa se voi olla jopa 0,3 ... 0,4. Liitteessä 1 on tyypillisiä vierimisvastuskertoimien arvoja. Kovalla maalla vierimisvastus johtuu lähes yksinomaan ilmakumirenkaiden hysteresis-häviöistä. Pehmeällä maalla suurimpana tekijänä on maan vastus.

Vierimisvastusvoima riippuu pyörän uppoumasta kuvan 2 mukaisesti. Uppouman kasvaessa vastusvoima suurenee nopeasti.



Kuva 2. Vierimisvastusvoiman riippuvuus pyörän uppoumasta. — *Effect of wheel sinkage on rolling resistance.*

Traktoriin vaikuttaa vierimisvastuksen lisäksi kiihtyvyysovastus, ilmanvastus, puskuvastus, hankausvastus, rinnevastus ja estevastus. Tällöin kokonaisvastusvoimaa sanotaan ajovastukseksi. Kiihtyvyysovoimat ja ilmanvastus ovat yleensä niin pieniä vetovoimaan verrattuna, että ne jätetään tarkasteluista pois. Ajovastus voi olla vaikeasti kuljettavassa maastossa tai upottavalla alustalla jopa 50 ... 100 % traktorin painosta.



Kuva 3. Vierimisvastus- ja kehävoimakertoimen riippuvuus luistosta eri maa-lajeilla. — Coefficient of traction and rolling resistance on different soils. /15/

1. Kuiva betoni ja asfaltti — dry concrete and tarmac
2. Kuiva savi, säntki — dry loam, stubble
3. Savinen hieta, säntki — loamy sand, stubble
4. Kosteaa savinen hieta — loamy sand, moist
5. Märkä hiesusavi — clay loam, wet
6. Hiesu — silt
7. Lieju — soil slurry

2.3. Pyörän luisto s

Pyörän luisto määritellään yhtälöllä

$$s = \frac{v_p - v_a}{v_p} \times 100, \quad (3)$$

jossa v_p on pyörän kehänopeus ja v_a on todellinen ajonopeus. $v_p - v_a$ on pyörän luistosta johtuva nopeuden pieneneminen.

Pyörien luisto vaikuttaa kehävoimakertoimeen kuvassa 3 esitetyllä tavalla. Pyörien luiston kasvaessa kehävoimakerroin suurenee kunnes se saavuttaa lakipisteen ja alkaa sen jälkeen vähitellen pienentyä. Koska vetovoima riippuu melkein suoraan kehävoimakertoimesta, traktorin vetovoiman kuvaaja luiston funktiona on myös kuvan 3 mukainen. Käytännössä traktorin pyörien luisto on kovalla, pitävällä alustalla vain muutamia prosentteja, pelto-otissa se voi olla 10...30 % ja liukkaalla alustalla vielä enemmän. Pyörien luisto vaikuttaa vierimisvastuskertoimeen vain hyvin pehmeillä ja huonosti kantavilla mailla. Tällöin maan kantava osa voi rikkoontua ja traktori uppoaa maahan. Uppoaminen aiheuttaa vierimisvastusvoiman ja -kertoimen suurentumisen (kuva 3).

2.4. Pintapaine p_i

Pyörän ja maan välinen pintapaine saadaan yhtälöstä

$$p_i = \frac{R_n}{kA} \quad (4)$$

R_n on dynaaminen akselikuormitus, A on yhden pyörän kosketuspinnan ala ja k on samalla akselilla olevien pyörien lukumäärä. Jos kuitenkin pyörien kuormitukset ovat erisuuret, pintapaineet täytyy laskea erikseen. Näin on silloin, kun traktori on kallistunut esimerkiksi rinteessä tai esteen ylityksen aikana.

Pyörän kosketuspinnan alaa A on vaikea määrittää, ja siksi sen likiarvona käytetään usein yhtälöä

$$A = rb. \quad (5)$$

Tällöin pyörä on uponnut tai litistynyt 15 % säteestään.

Jos pintapaine ylittää maan kantavuuden, pyörä uppoaa maahan ja vierimisvastusvoima kasvaa kuvan 2 mukaisesti. Liitteessä 2 on eri maalaatujen kantavuuksien arvoja.

3. YHTÄLÖITÄ

Traktorin akselikuormitusten ja vetovoiman yhtälöt voidaan johtaa traktorin voima- ja momenttitasapainosta. Ilmanvastus- ja hitausvoimat voidaan jättää tarkasteluista pois, koska ne yleensä ovat vetovoimaan verrattuna pieniä. Myöskään renkaiden litistymää ei oteta huomioon. Vastusvoimina ovat vain vierimisvastus ja rinnevastus.

Taulukossa 1 on traktorin akselikuormituksen ja taulukossa 2 on 4- ja 2-pyöräveitoisten traktorien vetovoimayhtälöt.

Vertaa /1/, /5/, /8/, /9/.

Taulukko 1. Traktorin akselikuormitusten yhtälöt.

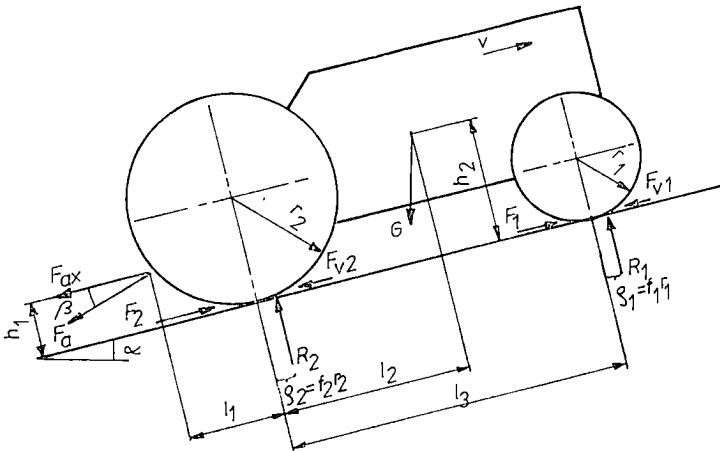
Yleiset yhtälöt:

$$R_1 = \frac{G[(1_2 - \varrho_2) \cos \alpha - b_2 \sin \alpha] - F_a [b_1 \cos \beta + (1_1 + \varrho^2) \sin \beta]}{1_3 + \varrho_1 - \varrho_2}$$

$$R_2 = \frac{G[(1_3 - 1_2 + \varrho_1) \cos \alpha + b_2 \sin \alpha] + F_a [b_1 \cos \beta + (1_1 + 1_3 + \varrho_1) \sin \beta]}{1_3 + \varrho_1 - \varrho_2}$$

Erikoistapauksia:

| | | $\alpha = \alpha$ | $\alpha = 0$ |
|-------------|-------|--|--|
| $\beta = 0$ | R_1 | $\frac{G[(1_2 - \varrho_2) \cos \alpha - b_2 \sin \alpha] - F_a b_1}{1_3 + \varrho_1 - \varrho_2}$ | $\frac{G(1_2 - \varrho_2 - F_a b_1)}{1_3 + \varrho_1 - \delta_2}$ |
| | R_2 | $\frac{G[(1_3 - 1_2 + \varrho_1) \cos \alpha + b_2 \sin \alpha] + F_a b_1}{1_3 + \varrho_1 - \varrho_2}$ | $\frac{G(1_3 - 1_2 + \varrho_1) + F_a b_1}{1_3 + \varrho_1 - \varrho_2}$ |



Taulukko 2. Traktorin vetovoimayhtälöt (katso taulukon 1 kuvaa).

Yleiset yhtälöt:

— nelipyörävetoinen traktori

$$F_u = \frac{G[(\mu - f) \cos \alpha - \sin \alpha]}{(f - \mu) \sin \beta + \cos \beta}; F_{ux} = F_u \cos \beta$$

— kaksipyörävetoinen traktori

$$F_u = G \frac{\mu [(1_3 - 1_2 + \varrho_1) \cos \alpha + b_2 \sin \alpha] - (1_3 + \varrho_1 - \varrho_2) (\sin \alpha + f \cos \alpha)}{-\mu [(1_1 + 1_3 + \varrho_1) \sin \beta + b_1 \cos \beta] + (1_3 + \varrho_1 - \varrho_2) (f \sin \beta + \cos \beta)}; F_{ux} = F_u \cos \beta$$

Erikoistapauksia:

| | nelipyöräveto F_u | kaksipyöräveto F_u |
|-----------------------------------|--|--|
| $\alpha = \alpha$ | $G(\mu - f) \cos \alpha - \sin \alpha$ | $G \frac{\mu [(1_3 - 1_2 + \varrho_1) \cos \alpha + b_2 \sin \alpha] - (1_3 + \varrho_1 - \varrho_2) (\sin \alpha + f \cos \alpha)}{-\mu b_1 + 1_3 + \varrho_1 - \varrho_2}$ |
| $\beta = 0$ ($F_u = F_{ux}$) | $G(\mu - f)$ | $G \frac{\mu (1_3 - 1_2 + \varrho_1) - (1_3 + \varrho_1 - \varrho_2)}{-\mu b_1 + 1_3 + \varrho_1 - \varrho_2}$ |

4. SUORITETUT VETOKOKEET

4.1. Mittausvälineet ja mittaustavat

Vetokokeita tehtiin talvella lumihangessa ja jäisellä tiellä sekä ke­sällä kynnöksellä, mulloksella ja soratiellä. Kokeissa traktoreita jarru­tettiin VAKOLAn jarruautolla (kuva 4). Vetokulma oli kaikissa ko­keissa 0° eli vetovaijeri oli maanpinnan suuntainen. Vetovoiman mit­tauslaitteisto oli seuraava:

- mittausanturi: 4 kpl Hottinger-vastusvenymäliuskoja
- mittasilta Elema Vibration Analyzer Type TL 21 F
- nauhuri Telefunken MAS 54
- sähköinen vaimennin
- piirturi Philips DM 8220 Pen Recorder



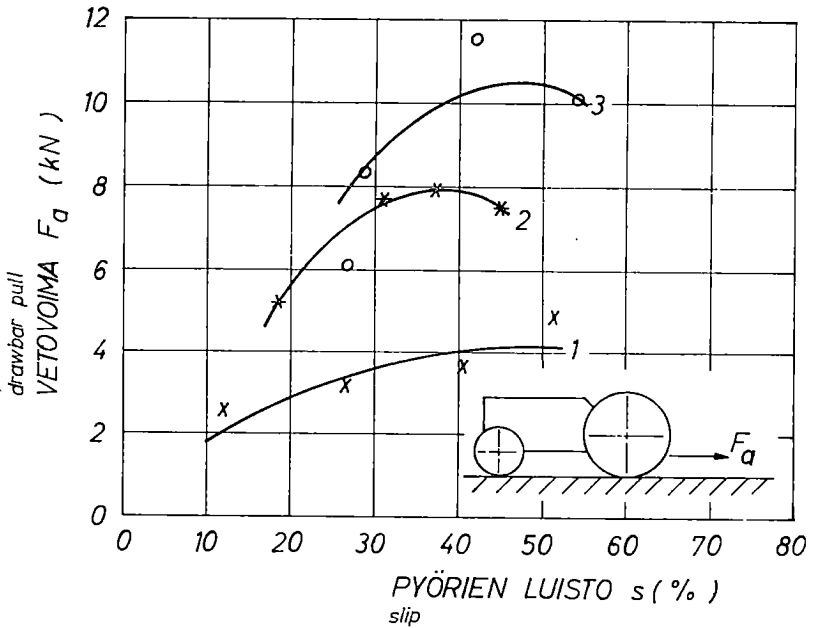
Kuva 4. Traktorin vetovoiman mittaus VAKOLAn jarruautolla — *Tractor on draw-bar test.*

Mittauslaitteisto kalibroitiin punnuksilla.

Pyörien luisto saatiin laskemalla vetävien pyörien kierrokset mitta-
matkaa kohti vapaana ajettaessa ja vedon aikana.

Vierimisvastusvoima saatiin hinaamalla traktoria jarruvaunulla ja
mittaamalla tähän tarvittu voima. Tarkkaa mittausta varten vierimis-
vastus pitäisi mitata yhtäaikaan vetovoiman kanssa, sillä pyörien luisto
ja maan epä-homogeenisuus voivat vaikuttaa tulokseen. Mittauslaitteis-
ton puutteen takia tällaista mittausten menetelmää ei voitu käyttää.

4.2. Vetokokeet lumihangessa



Kuva 5. Lumihangessa tehtyjen vetovoimamittausten tuloksia — drawbar pull of a Leyland 384 tractor in snow.

Staattiset akselipainot — axle loads:

1. Ilman ketjuja — without chains

$Rs_1 = 1\ 340$ kg $Rs_2 = 1\ 830$ kg

2. Fram piikkiketjujen kanssa — with Fram ice chains

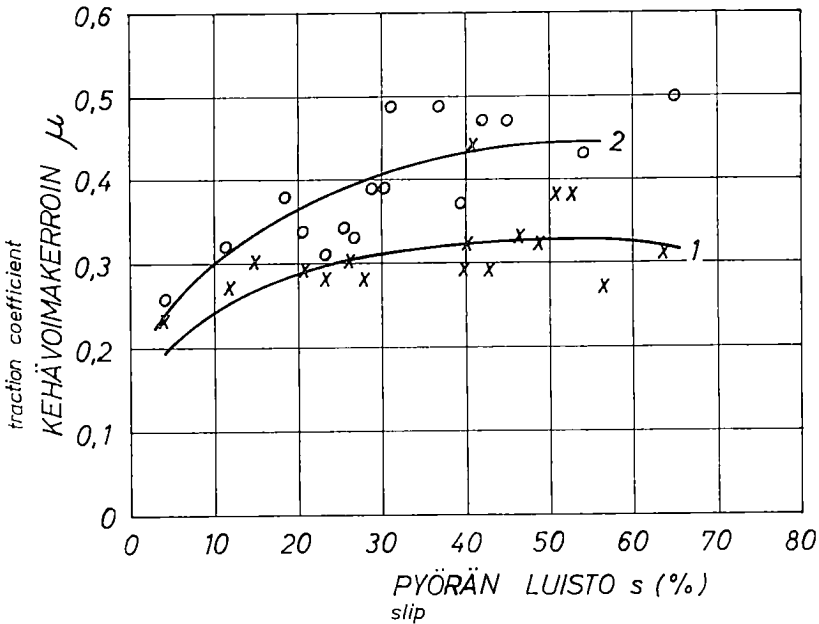
$Rs_1 = 1\ 340$ kg $Rs_2 = 1\ 950$ kg

3. Fram piikkiketjujen kanssa — with Fram ice chains¹⁾

$Rs_1 = 1\ 210$ kg $Rs_2 = 3\ 040$ kg

Traktorin takarenkaat — driving wheels: 13,6 — 38; 130 kPa

¹⁾ Akselikuormitukset saatiin perävaunun avulla — axle loads were obtained with a trailer



Kuva 6. Lumihangen kehävoimakerroinkäyriä — traction coefficient in snow (—2...+2° C)

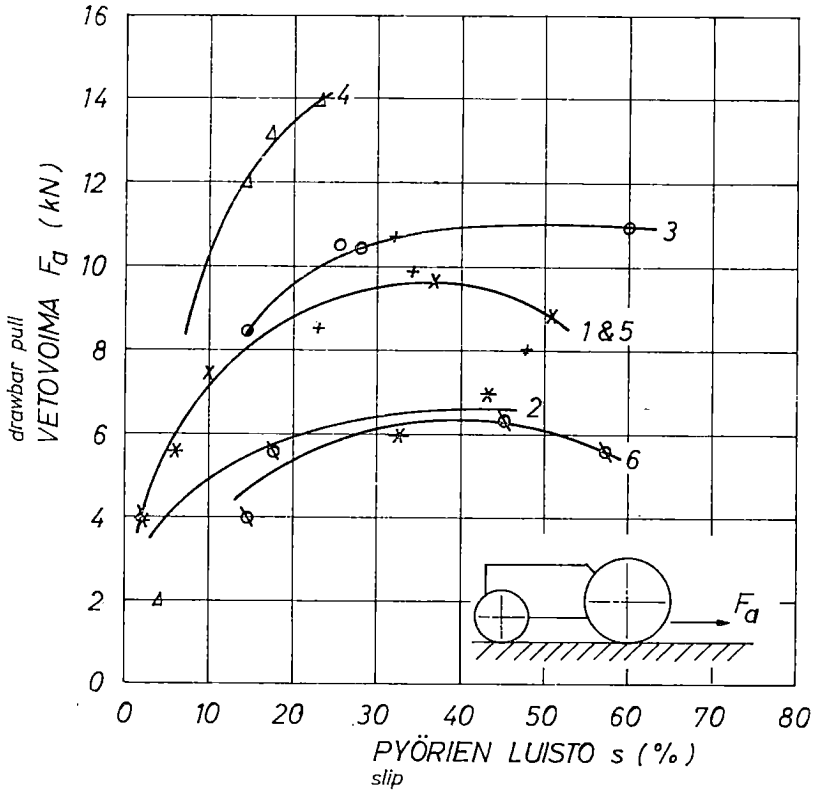
1. Ilman ketjuja — without chains
f = n. 0,09.
2. Fram piikkiketjujen kanssa — with Fram ice chains
f = n. 0,09.

Kaikki kokeet tehtiin pellolla samalla koalueella, jolloin olosuhteet pysyivät melko samanlaisina. Lumi oli vahvasti kerrostunutta ja tiivistynyttä. Se kantoi hyvin traktorin ja jarruvaunun. Lumihangen paksuus oli noin 40 cm ja traktorin pyörien uppouma oli noin 10...15 cm. Ilman lämpötila oli koepäivän aamuna —2° C ja illalla +2° C. Lämpötilan kohotessa lumen pinta muuttui kuivasta kosteaksi. Olosuhteet olivat näin ollen erikoislaatuiset ja vastasivat lähinnä tilannetta, jossa kovalla alustalla on upottavaa lunta 15...20 cm.

Koska mitattiin vain vetovoimaa, ajovaihde valittiin siten, että moottori sai pyörät hyvin luistamaan.

Koetraktorina oli Leyland 384. Traktorin varusteet ja vastaavat akselipainot selviävät kuvasta 5.

Kuvasta 5 nähdään, että ketjuja käytettäessä vetovoimakäyrä on paljon jyrkempi ja sillä on selvä lakipiste (käyrät 1 ja 2). Lisäksi pyö-



Kuva 7. Jäisellä tiellä tehtyjen vetovoimamittausten tuloksia — drawbar pull of a Valmet 702 tractor on an icy road.

Staattiset akselipainot — axle loads:

1. Ilman ketjuja — without chains¹⁾2)

$Rs_1 = 1\,720$ kg $Rs_2 = 3\,850$ kg

2. Ilman ketjuja — without chains¹⁾2)

$Rs_1 = 1\,800$ kg $Rs_2 = 2\,660$ kg

3. Fram piikkiketjujen kanssa — with Fram ice chains³⁾

$Rs_1 = 1\,230$ kg $Rs_2 = 2\,160$ kg

4. Fram piikkiketjujen kanssa — with Fram ice chains¹⁾3)

$Rs_1 = 1\,160$ kg $Rs_2 = 3\,280$ kg

5. Ilman ketjuja — without chains¹⁾3)

$Rs_1 = 1\,160$ kg $Rs_2 = 3\,160$ kg

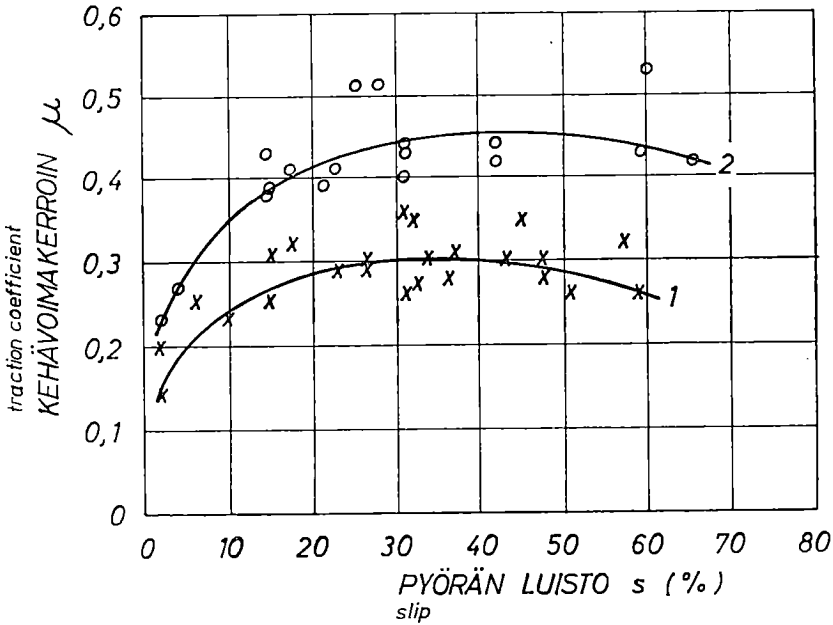
6. Ilman ketjuja — without chains³⁾

$Rs_1 = 1\,230$ kg $Rs_2 = 2\,040$ kg

1) Akselikuormitukset saatiin perävaunun ja lisäpainojen avulla — axle loads were obtained with a trailer and ballasts

2) Takarenkaat — driving wheels 16,9 — 34; 190 kPa

3) Takarenkaat — driving wheels 13,9 — 36; 130 kPa

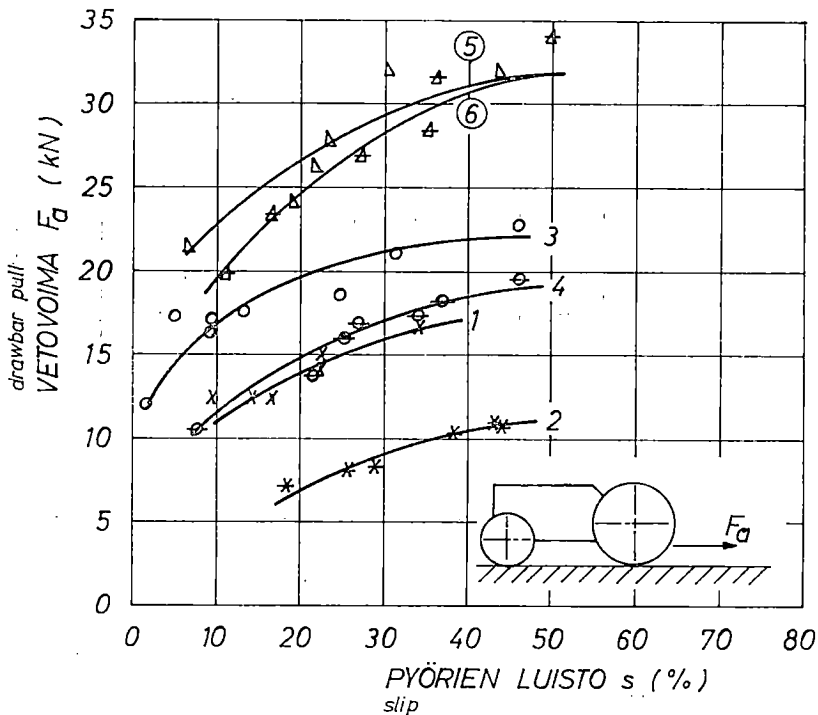


Kuva 8. Jäisen tien kehävoimakerroinkäyriä — traction coefficient on an icy road (—2... +2° C)

1. Ilman ketjuja — without chains
 $f_{k_n} = n. 0,03$
2. Fram piikkiketjujen kanssa — with Fram ice chains
 $f_{k_n} = n. 0,04$

rien luisto on huomattavasti pienempi. Esimerkiksi 4 kN:n vetovoima saadaan ilman ketjuja noin 40 % luistolla ja ketjuja käytettäessä noin 15 % luistolla. Käyrän 1 loivuudesta johtuen voidaan helposti joutua lakipisteen ohi ja vetovoima alkaa pienentyä. Vetovoiman lisäksi on ollut ketjuja käytettäessä lähes 100 %. Kun traktorin taka-akselipaino on suurentunut (käyrä 3), vierimisvastus on pysynyt lähes muuttumattomana ja vetovoima on lisääntynyt.

Kuvan 5 kokeista ja Valmet 702:lla tehdyistä kokeista on saatu vierimisvastuskertoimeksi noin 0,09 ja kehävoimakerroimeksi kuvan 6 käyrät. Kehävoimakerroinkäyrien ero suurenee luiston kasvaessa ja suurimmillaan saadaan ketjuja käyttäen lähes 40 % suurempi kehävoimakero.



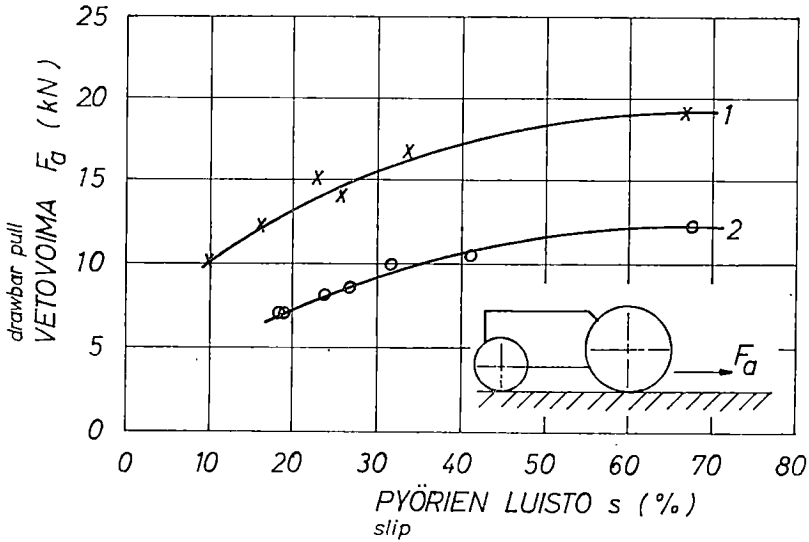
Kuva 9. Soratiellä tehtyjen vetovoimamittausten tuloksia — drawbar pull of a Fiat 640 DT 3 tractor on a gravel road.
Staattiset akselipainot — axle loads:

1. Nelipyörävetö — four wheel drive
 $R_{s1} = 1\ 225$ kg $R_{s2} = 1\ 627$ kg
2. Kaksipyörävetö — two wheel drive
 $R_{s1} = 1\ 225$ kg $R_{s2} = 1\ 627$ kg
3. Nelipyörävetö — four wheel drive¹⁾
 $R_{s1} = 1\ 130$ kg $R_{s2} = 2\ 720$ kg
4. Kaksipyörävetö — two wheel drive¹⁾
 $R_{s1} = 1\ 130$ kg $R_{s2} = 2\ 720$ kg
5. Nelipyörävetö — four wheel drive¹⁾
 $R_{s1} = 970$ kg $R_{s2} = 4\ 445$ kg
6. Kaksipyörävetö — two wheel drive¹⁾
 $R_{s1} = 970$ kg $R_{s2} = 4\ 445$ kg.

Eturenkaat — front wheels: 9,5—24; 150 kPa

Takarenkaat — rear wheels: 16,9—30 R; 150 kPa, paitsi käyrillä 5 ja 6 — except in test 5 and 6 200 kPa.

¹⁾ Akselikuormitukset saatiin perävaunun avulla — axle loads were obtained with a trailer.



Kuva 10. Kuivalla kynöksellä tehtyjen vetovoimamittausten tuloksia — drawbar pull of a Fiat 640 DT 3 tractor on a dry ploughed field. Staattiset akselipainot — axle loads:

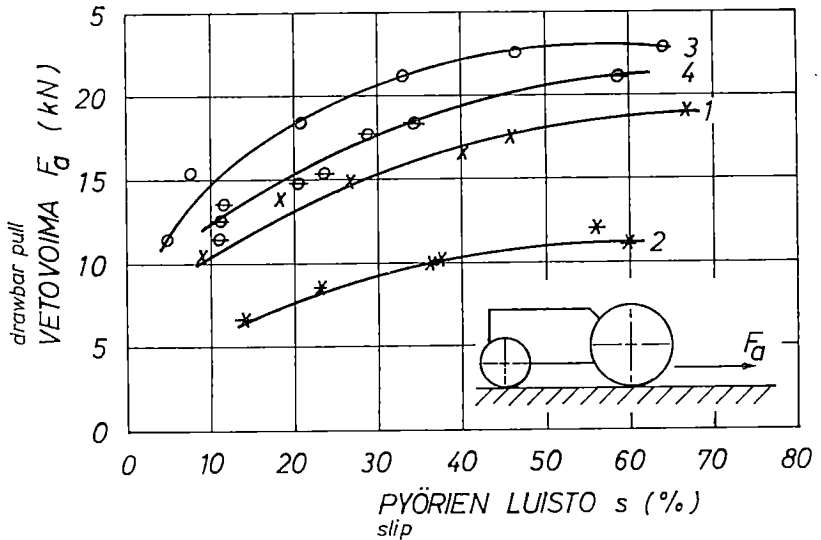
1. katso kuvan 9 kohta 1 — see picture 9, axle load 1
 2. katso kuvan 9 kohta 2 — see picture 9, axle load 2
- Renkaat, sama kuin kuvan 9 kohdissa 1...4 — wheels, same as in picture 9, tests 1...4.

4.3. Vetokokeet jäisellä tiellä

Kokeet jäisellä tiellä tehtiin samanaikaisesti kuin lumihangessa. Tien pinta pehmeni kokeiden aikana ilman lämpötilan kohotessa ja ketjujen rikkoessa tien pintaa. Ajovaihde valittiin siten, että moottori sai pyörät hyvin luistamaan.

Koetraktorina oli Valmet 702. Traktorin akselipainot ja varusteet selviävät kuvasta 7.

Kuvan 7 käyristä 1 ja 5 sekä 2 ja 6 nähdään akselikuormitusten ja erilaisten takarenkaiden vaikutus. Varuste 2 on pienentänyt luistoa pienillä vetovoimilla, mutta suurin vetovoima on pysynyt lähes samana (käyrät 2 ja 6). Varusteilla 1 ja 5 mitatuissa vetovoimissa ei ole suurta eroa (käyrät 1 ja 5). Ketjuja käytettäessä tulosten hajonta pienentyi, vetovoima kasvoi nopeammin luiston kasvaessa ja vierimisvastuskerroin suurentui. Vierimisvastuskerroin oli ilman ketjuja noin 0,03 ja ketjuja käytettäessä noin 0,04.



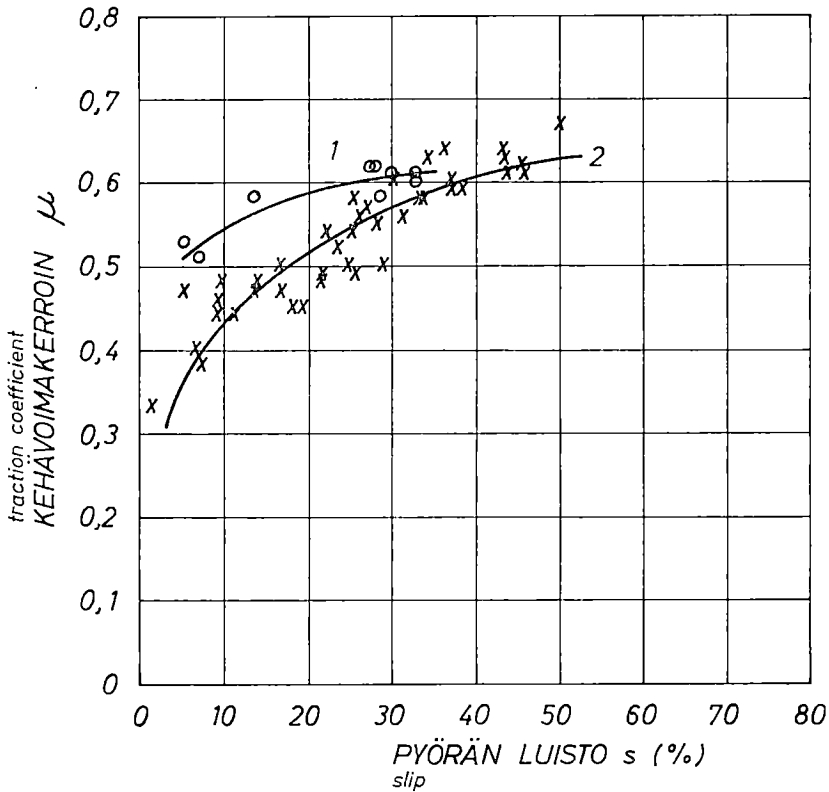
Kuva 11. Mulloksella tehtyjen vetovoimamittausten tuloksia — drawbar pull of a Fiat 640 DT 3 tractor on a dry newly-plowed field.
Staattiset akselipainot — axle loads:

1. ja 2. katso kuvan 9 kohtia 1 ja 2 — see picture 9, axle loads 1 and 2
 3. Nelipyöräveto — four wheel drive¹⁾
 $R_{s1} = 1\ 120\ \text{kg}$ $R_{s2} = 2\ 830\ \text{kg}$
 4. Kaksipyöräveto — two wheel drive¹⁾
 $R_{s1} = 1\ 120\ \text{kg}$ $R_{s2} = 2\ 830\ \text{kg}$

Renkaat, sama kuin kuvan 9 kohdissa 1...4 — wheels, same as in picture 9, tests 1...4.

¹⁾ Akselikuormitukset saatiin perävaunun avulla — axle loads were obtained with a trailer.

Kuvassa 8 on jäisen tien kehävoimakerroinkäyrät. Käyrät on piirretty kuvan 7 ja Leyland 384:llä tehtyjen kokeiden perusteella. Ketjujen kanssa akselikuormitus on vaikuttanut vetovoimaan siten, että pienellä kuormituksella on saatu hieman suurempia kehävoimakertoimia kuin suurella kuormituksella. Tämä johtui siitä, että pyörä luisti vähemmän ketjun sisällä. Muuten erisuuret akselikuormitukset ja tien pinnan pehmeneminen eivät vaikuttaneet kehävoimakertoimiin. Käyrien ero suurenee luiston kasvaessa ja suurimmillaan ketjujen kanssa saadaan n. 50 % suurempi kehävoimakerroin kuin ilman ketjuja. Ketjuja käytettäessä vähenee pyörien luisto huomattavasti. Esimerkiksi jos tarvittava kehävoimakerroin on 0,3, ketjujen kanssa luisto on noin 6 % ja ilman ketjuja noin 25 % (myös 45 %).



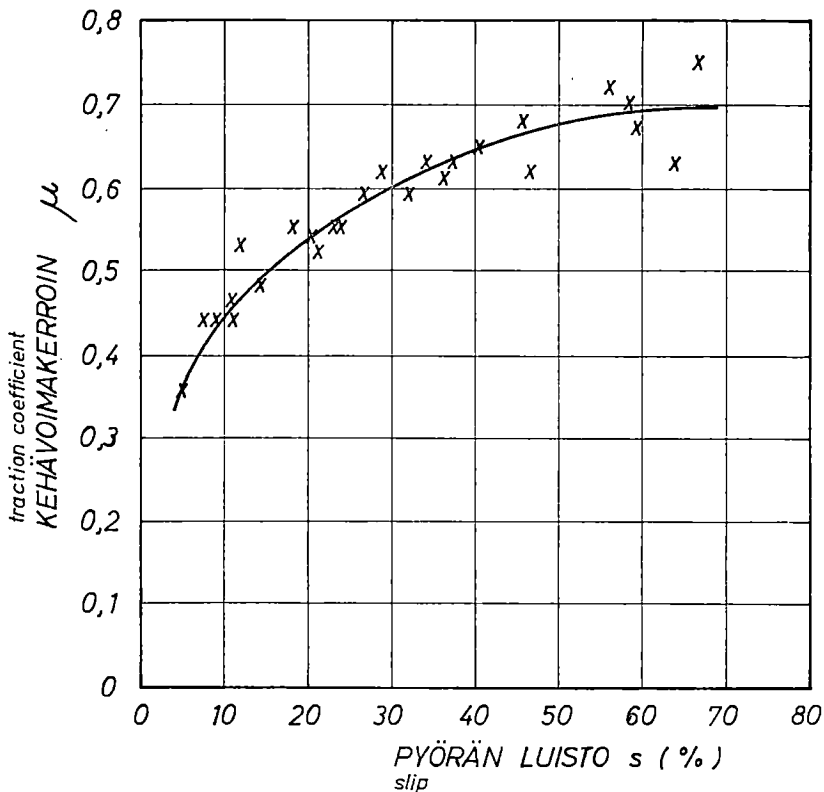
Kuva 12. Soratien kehävoimakerroinkäyriä — coefficient of traction on a gravel road ($f = n. 0,04$).

1. Kova pinta — hard surface
2. Pehmeä pinta — softened surface

4.4. Nelipyörävetoisen traktorin vetokokeet

Vetokokeet tehtiin kesällä soratiellä, kynöksellä ja mulloksella. Koetraktorina oli Fiat 640 DT 3. Traktorin akselipainot, varusteet ja kokeiden tulokset on esitetty kuvissa 9, 10 ja 11.

Soratiellä saatiin kuvan 9 vetovoimakäyriä. Vetokoukun pystysuoran kuormituksen lisääntyessä (taka-akselikuormituksen suureutuessa) neli- ja kaksipyörävetoisen ero pienenee. Kun kuormitus oli lähellä suurinta tieliikenneasetuksen sallimaa kuormitusta (käyrät 5 ja 6), ei käyriä ole enää paljoakaan eroa. Traktorin etupää oli tällöin niin ke-

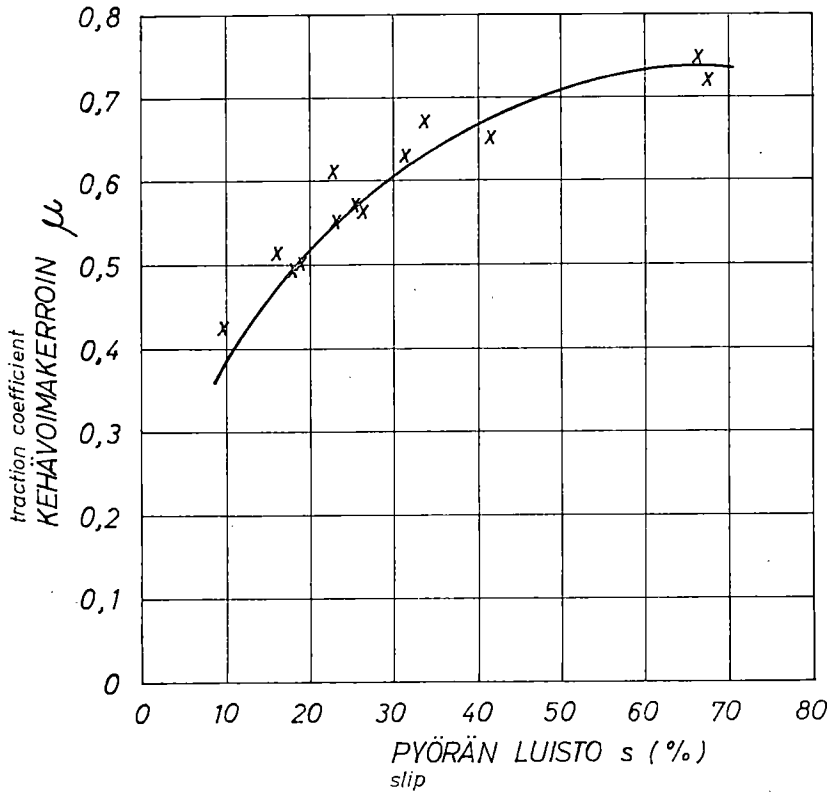


Kuva 13. Kuivan kynnöksen kehävoimakerroinkäyrä — coefficient of traction on a dry ploughed field ($f = n. 0,08$).

veä, että ohjaaminen tuotti vaikeuksia ja käyrien 5 ja 6 yhtymäkohdassa etupyörät irtoavat maasta. Ilman perävaunua saadaan suurimpien vetovoimien suhteeksi noin 1,5. Myös pyörien luistoissa on huomattava ero. Esimerkiksi jos tarvitaan 10 kN:n vetovoimaa, käyrällä 1 pyörien luisto on noin 8 % ja käyrällä 2 noin 35 %.

Soratiellä saatu kehävoimakerroinkäyrä on esitetty kuvassa 12. Tien pinnan ollessa vielä kovan saatiin alle 40 % luistolla hieman laakeampi käyrä kuin pehmenneellä pinnalla. Kuvan 8 kaikki käyrät on piirretty pehmenneellä pinnalla saaduista tuloksista. Vierimisvastusker-toimen keskiarvoksi saatiin noin 0,04.

Kuivalla kynnöksellä saatiin kuvan 10 vetovoimakäyriä. Suurim-pien vetovoimien suhde on noin 1,5 ja kuvan 9 lailla pyörien luistossa



Kuva 14. Kuivan mulloksen kehävoimakerroinkäyrä — coefficient of traction on a dry newly-plowed field ($f = n. 0,07$).

on huomattava ero. Kehävoimakerroinkäyrä on kuvassa 13. Vierimisvastuskertoimen keskiarvoksi saatiin noin 0,08.

Kuivalla mulloksella saadut vetovoimäkäyrät ovat kuvassa 11. Käyrien muoto ei poikkea paljoakaan kuvan 10 käyristä. Ilman perävaunua suurimpien vetovoimien suhde on noin 1,7 (käyrät 1 ja 2). Perävaunun kanssa käyrät lähenevät, ja kaksipyörävetoisella traktorilla saatiin perävaunun kanssa hieman suurempia vetovoimia kuin nelipyörävetoisella ilman perävaunua (käyrät 1 ja 4). Nelipyörävetoisen traktorin pyörien luisto oli edellisten kohtien mukaisesti huomattavasti pienempi. Mulloksella saatu kehävoimakerroinkäyrä on kuvassa 14. Vierimisvastuskertoimen keskiarvoksi saatiin noin 0,07, mikä on hieman pienempi kuin kynöksellä.

5. YHTEENVETO

5.1. Ajovastus

Ajovastukseen kuuluu useimmiten vain vierimisvastus ja rinnevastus. Huonoissa olosuhteissa siihen voi kuulua myös puskuvastus, hankausvastus ja estevastus.

Puskuvastusta esiintyy silloin, kun kovan pohjan päällä on pehmeä pintakerros (esim. lumi tai lieju). Tällöin traktori puskee pehmeää pintaa joko pyörien edessä, tai jos alusta ottaa maahan kiinni, myös alustan edessä. Alustaan kohdistuva puskuvastus voi moninkertaistaa ajovastuksen. Puskuvastuksen kannalta suuresta maavarasta on etua.

Hankausvastus liittyy läheisesti puskuvastukseen. Hankausvastuksella tarkoitetaan traktorin alustan ja renkaiden sivujen hankausta maata vasten. Myös tältäkin kannalta suuresta maavarasta on etua.

Estevastusta esiintyy liikuttaessa epätasaisessa maastossa. Esteinä ovat tällöin ylitettävät esteet (ojat, kivet, kannot ja kaatuneet puunrungot) ja kaadettavat esteet (puut). Nelipyörävetoisella traktorilla pystytään ylittämään paljon korkeampia esteitä kuin kaksipyörävetoisella traktorilla. Myös esteen ylityksessä traktorin suuresta maavarasta on etua.

/4/, /26/

5.2. Vinon vedon ja rinteiden jyrkkyyden vaikutus

Käsitteellä vino veto tarkoitetaan tilannetta, jolloin vedon suunta poikkeaa vetoalustan suunnasta (katso taulukko 1, kuvan kulma β). Vinon vedon vaikutus on suurimmillaan silloin, kun traktorin vetovoima on suuri ja liikutaan myötärinteessä. Vastarinteen jyrkentyessä ja pito-ominaisuuksien heikentyessä vinon vedon vaikutus pienenee. Vino veto vaikuttaa myös silloin, kun traktori jo on rinteessä, mutta vetovoima on vielä vaakasuora. Tällaisessa kulmakohdassa traktorin vetovoima voi olla pienempi kuin vaakasuoralla maalla tai rinteessä liikuttaessa.

Rinteen vaikutus johtuu traktorin painopisteen rinteiden suuntaisesta komponentista. Koska se on yhdensuuntainen vierimisvastusvoiman kanssa, se otetaan toisinaan huomioon vastusvoimien yhteydessä. Kui-

tenkaan rinteiden vaikutusta ei voida pitää pelkästään vastusvoimana, koska traktorissa tapahtuu voimakasta painonsiirtoa akselilta toiselle, mikä myöskin vaikuttaa vetovoimaan. Lisäksi rinteiden vaikutus vastusvoimana olisi kaksinainen; alamäessä vetovoima suurensi ja ylämäessä pienenisi. Rinteiden vaikutus traktorin vetovoimaan saadaan suoraan käyttämällä taulukoita 1 ja 2.

5.3. Maan tiivistymisen eli polantumisen vaikutus traktorin vetovoimaan.

Polantumisella tarkoitetaan pyörän alla tapahtuvaa maan tai lumen tiivistymistä eli polanteiden muodostumista. Jos pehmeän pinnan (esim. lumi) alla on kova pohja, liikkuminen polanteessa on helpompaa, ja jos pehmeän pinnan alla on pehmeä pohja (esim. suo), liikkuminen polanteessa on vaikeampaa kuin koskemattomassa maassa. Polantumisen vaikutus johtuu siitä, että vierimisvastus ja kehävoimakerroin ovat eri suuret polanteessa ja koskemattomassa alustassa. Liikkumisen helpottuessa vierimisvastuskerroin on pienentynyt huomattavasti ja kehävoimakerroin on hieman suurentunut. Suurin vetovoimien ero saadaan ensimmäisen ja toisen ajokerran välillä. Ajokertojen lisääntyessä vetovoimien suurentumiset ovat melko vähäisiä. Polantumista käytetään hyväksi etenkin lumessa liikuttaessa. Lumen polantuminen riippuu lämpötilasta. Pakkasella kovettuminen tapahtuu vasta useiden tuntien kuluessa. Lämpötilan ollessa nollassa lähellä liikkuvuus polanteessa paranee heti. Pakkasella tehty polanne pettää kuitenkin lämpötilan kohotessa nollassa lähelle ja seurauksena on liikkuvuuden nopea heikentyminen niin pitkäksi aikaa kunnes uusi polanne muodostuu. Polantumista voi tapahtua aina lämpötilaan $+3 \dots +4^{\circ} \text{C}$ asti.

/7/, /12/, /10/, /26/

5.4. Voimansiirtojärjestelmän vaikutuksesta traktorin vetovoimaan

Maataloustraktoreissa on yleisimmin mekaaninen voimansiirtojärjestelmä. Mekaanisen kytkimen ja vaihteiston lisäksi traktoreissa on taaspyörästäön lukko. Joihinkin malleihin on myös saatavissa hydraulinen kertojavaihte. Se pienentää tai suurentaa perusvaihteen nopeutta ja mahdollistaa vaihtamisen vedon katkeamatta. Momentinmuuntimia on metsä- ja teollisuustraktoreissa.

Traktoreiden vaihteiden suuren lukumäärän ja välityssuhteiden tiheyden ansiosta moottorin vääntömomentti on hyvin harvoin vetovoimaa rajoittavana tekijänä. Valittu ajovaihte vaikuttaa vetovoimaan ajonopeuden ja pyöriin saatavissa olevan vääntömomentin kautta. Ajo-

vaihteen suuretuessa traktorin ajonopeus ja samalla myös liike-energia suurenevät. Näin pystytään paremmin ylittämään maan epähomogeenisuudesta aiheutuvat huonot kohdat. Pyöriin saatavissa oleva vääntömomentti vaikuttaa siten, että jos ajovaihde on pieni, vääntömomentti voi olla liian suuri ja joudutaan helposti vetovoiman lakipisteen ohi (esim. kuva 5 käyrä 2). Liian suuri ajovaihde ei puolestaan saa pyöriä tarpeeksi suureen luistoon. Sopiva ajovaihde on näiden kahden tapauksen välillä.

Tasauspyörästäön lukitus vaikuttaa vetovoimaan silloin, kun vetävät pyörät ovat erilaisilla alustoilla. Esimerkiksi kynnettäessä vaossa oleva pyörä on paljon liukkaammalla alustalla kuin pellolla oleva. Tasauspyörästäön pyöriessä vapaasti vetävien pyörien kehävoimat ovat yhtä suuret ja luistot erisuuret. Tasauspyörästäön ollessa lukittuna pyörien luistot ovat yhtä suuret ja kehävoimat erisuuret. Lukituksen vaikutus vetovoimaan riippuu siitä kuinka paljon vetävien pyörien alla olevien pintojen pito-ominaisuudet eroavat toisistaan. Vetovoiman lisäys voi olla jopa 50 %.

5.5. Ilmakumirenkaan vaikutus vetovoimaan

Vetovoiman lisäämiseksi on pyrittävä renkaan ja maan välisen kosketuspituuden lisäämiseen, sillä se suurentaa vetovoimaa paljon enemmän kuin kosketuslevyden suurentaminen. Tähän päästään käyttämällä vyörenkaita tai matalailmatilaisia renkaita, alentamalla rengaspainetta ja suurentamalla halkaisijaa.

Vyörenkaiden kestävyys traktoreissa on huono ja ne ovat kalliita, joten niiden käyttö ei ole yleistynyt. Matalailmatilaisten renkaiden hankintahinta on niin korkea, etteivät nekaan ole yleistyneet.

Sallittu rengaspaine riippuu renkaan kuormituksesta, ja siksi kuormituksen huomattavasti muuttuessa myös rengaspainetta olisi muutettava. Rengaspaine pitäisi pitää renkaan valmistajan suositteluissa arvoissa.

Renkaan leventämisen etuna renkaan ilmatila suurenee ja tällöin voidaan vastaavasti alentaa rengaspainetta, jolloin kosketuspituus lisääntyy. Renkaan leventäminen ei kuitenkaan aina johda toivottuun tulokseen. Jos pinnan kantavuus on niin pieni, että renkaan leventämisestä huolimatta pintapaine on liian suuri pienentääkseen renkaan upoumaa (esim. pehmeä lumi), traktorin vierimisvastus kasvaa ja veto-voima pienenee.

Sopiva kulutuspinnan muoto riippuu siitä, missä rengasta käytetään. Kovalle tielle soveltuu parhaiten aivan sileä rengas ja liukkaalle savipinnalle soveltuu hyvin korkearipainen rengas. Näin ollen renkaan kulutuspinnan muoto on kompromissi erilaisista vaatimuksista.

Renkaiden sijoittelusta todettakoon, että telirakenne on paripyöriä paljon parempi. Tämä aiheutuu siitä, että vierimisvastus on pienempi, ja jos teli on vetävä, takimmaisen pyörän pito on polantumisen ansiosta parempi kuin etummaisen. Lisäksi teli on paripyörää parempi esteenylityksessä. Teli- tai parirenkaita käytettäessä rengaspaine voidaan laskea noin 0,6:een osaan yhden renkaan rengaspaineesta tai kuormitus voidaan nostaa 1,7-kertaiseksi yhden renkaan kantavuuteen verrattuna.
/5/, /6/, /11/, /14/, /15/, /16/, /17/ /18/, /19/, /20/, /25/

5.6. Neli- ja kaksipyörävetoisen traktorin vetokyvyn ero

Nelipyörävedon edut tulevat esille silloin, kun olosuhteet ovat huonot ja traktorille tuleva painonsiirto on pieni. Nelipyörävetoisen ja vastaavan kokoisen kaksipyörävetoisen traktorin vetovoimien suhde voi olla liukkaalla, pehmeällä maalla noin 2...3 ja pitävällä, kovalla maalla noin 1,3...2,0.

Nelipyörävetoisen traktorin pyörien luisto on paljon pienempi kuin kaksipyörävetoisen, ja tällöin renkaat kuluvat paljon vähemmän. Nelipyörävetoa ei kuitenkaan ole syytä käyttää hyvin pitävillä alustoilla, sillä tämä rasittaa suuresti voimansiirtoa.

Jos traktorin taakse kiinnitettävästä työkonesta siirtyy painoa traktorille, neli- ja kaksipyörävetoisen traktorin ero pienenee. Tämä johtuu traktorin etupään kevenemisestä. Jos traktoria käytetään paljon tällaiseen työhön, kannattaa harkita ostetaanko nelipyörävetoinen traktori vai yhtä kallis, suurempitehoinen, kaksipyörävetoinen traktori.

Jotta nelipyörävedosta saataisiin suurin hyöty, etuakselipainon pitäisi olla suurempi kuin taka-akselipainon ja etu- ja takarenkaiden pitäisi olla yhtä suuret. Polantumisen vaikutus on tällöin tehokkaimmillaan, sillä etu- ja taka-akselikuormitukset ovat vedon aikana lähes yhtä suuret ja takapyörät kulkevat etupyörien polanteessa. Lisäksi esteenylityskyky on parempi. Suomessa myytävillä nelipyörävetoisilla maataloustraktoreilla on yleensä etuakselipaino pienempi kuin taka-akselipaino ja etupyörät ovat takapyöriä pienemmät.

/10/, /12/

5.7. Liukusteiden vaikutus vetovoimaan

5.7.1. Ketjut

Ketjujen rakenne riippuu siitä, missä niitä aiotaan käyttää. Jäiselle pinnalle suunnitellut ketjut eivät aina sovellu pehmeälle maalle ja päinvastoin. Talvella ketjuilla halutaan saada pitävä ote joko suoraan jäisestä pinnasta tai halutaan tunkeutua pehmeän lumen läpi kovaan pintaan. Tällaiseen soveltuvat piikkiketjut hyvin. Pidon kannalta ketjujen

muodolla ei ole paljoakaan merkitystä, pääasia on, etteivät ne pääse kiemurtelemaan pitkin renkaan kuvioita.

Pehmeille ja liukkaille maille soveltuvat hyvin ketjut, joissa on konkeat telaketjun ripojen malliset rivat. Tällaiset ketjut rikkovat kuitenkin tien pinnan ja lisäksi ne ovat työläät asentaa. Talvella käytetyt piikkiketjut eivät sovellu tällaisille maille, saatava vetovoimanlisäys aiheutuu melkein yksinomaan suurentuneesta taka-akselipainosta.

Ketjujen kiristystiukkuus vaikuttaa ketjujen pitävyyteen. Ketjujen kireys on silloin sopiva, kun rengas pääsee hieman luistamaan ketjun sisällä. Tällöin luiston ansiosta ketjut puhdistuvat niihin kiinni tarttuneesta maasta. Jos ketjut ovat liian tiukalla, kiinni tarttuva maa ei irtoa ja vetovoima voi jopa pienentyä. Liian löysään kiinnitetyissä ketjuissa rengas pääsee luistamaan ketjun sisällä.

/21/, /24/

5.7.2. *Levikepyörät*

Levikepyöriä on sekä kantavia että vetäviä. Kantavien levikepyörien pääasiallisena tarkoituksena on pienentää pintapainetta, mutta samalla ne yleensä myös suurentavat vetovoimaa. Vetävät levikepyörät ovat kapeita ja niissä on lapiomaisia ripoja, joiden tehtävänä on pelkistään kehävoimakertoimen suurentaminen.

Kantavat levikepyörät suurentavat vetovoimaa huomattavasti vain silloin, kun pyörien uppouma pienenee merkittävästi. Hyvin kantavilla maille vetovoima lisääntyy suurentuneen taka-akselipainon ansiosta ja huonosti kantavilla maille vetovoima voi jopa pienentyä suurentuneen vierimisvastuksen takia.

Vetävät levikepyörät voivat olla säädettäviä tai kiinteitä. Säädettävien levikepyörien lapioiden korkeutta voidaan muuttaa, ja tiellä ajon ajaksi ne saadaan pois käytöstä. Etenkin maille, joilla on pehmeä ja liukas pinta, mutta kova pohja (esim. märkä savi), vetävät levikepyörät suurentavat vetovoimaa huomattavasti. Niitä käytettäessä voidaan saada suurempi vetovoima kuin puoliteloja käytettäessä.

/3/, /13/, /23/

5.7.3. *Telat*

Teloja käyttäen saadaan pintapainetta pienennettyä. Teloissa olevat rivat parantavat myös pito-ominaisuuksia. Telojen avulla pyritään pysymään pehmeän pinnan päällä, jolloin ajovastus on pieni. Jos kuitenkin pintapaine on niin suuri, että traktori ei pysy pehmeän pinnan päällä, seurauksena on traktorin kulun vaikeutuminen. Se joutuu yhä uudestaan kaivautumaan pintakerroksen läpi kovaan pohjaan saakka pitävän otteen saamiseksi.

/7/, /13/

5.8. Painonsiirto ja lisäpainot

Traktorissa voi painoa siirtyä joko akselilta toiselle tai työkoneesta traktorille. Akselilta toiselle tuleva painonsiirto riippuu vetopisteen korkeudesta, vetovoiman suuruudesta ja akselivälistä. Työkoneesta saatavaa painonsiirtoa voidaan suurentaa nostolaitteen tai hydraulisen sylinterin avulla. Esimerkiksi työkoneen vetoaisaan kytketään ketjun toinen pää ja toinen pää nostolaitteeseen. Muuttamalla nostolaitteen nostopainetta saadaan halutun suuruinen painonsiirto. Tällöin on kuitenkin tarkattava, ettei traktorin etupää kevene liikaa, jolloin ohjattavuus voi heikentyä. Työkoneesta saatavan painonsiirron avulla voidaan lisätä vetovoimaa jopa 100 %.

Lisäpainot lisäävät traktorin vetovoimaa, jos pyörien uppouma ei suurene huomattavasti. Pyörien uppouman suureneminen riippuu pintapaineen ja maan kantavuuden suhteesta. Lisäpainojen vaikutusta vetovoimaan voidaan arvioida taulukkojen 1 ja 2 avulla. Näissä on tällöin otettava huomioon painopisteen paikan muutos.

/22/

Liite 1. Maalajien kehävoima- ja vierimisvastuskertoimia

| Maan pinnan laatu | suurin kehävoima-kerroin | kehävoimakerointo vastaava luisto (%) | vierimisvastuskerroin |
|--|--------------------------|---------------------------------------|---|
| kuiva asfaltti ja betoni | 0,8 ... 1,0 | n. 15 | 0,01 ... 0,02 |
| märkä asfaltti | 0,3 ... 0,5 | n. 45 | 0,01 ... 0,02 |
| kova soratie | 0,4 ... 0,7 | n. 50 | 0,02 ... 0,05 |
| pehmyt soratie | 0,3 ... 0,4 | — | 0,05 ... 0,10 |
| hakamaa | 0,3 ... 0,6 | — | 0,06 ... 0,10 ¹⁾ |
| metsämaasto | 0,2 ... 0,5 | — | 0,06 ... 0,09 ¹⁾ ; 0,08 ... 0,10 ²⁾ ; 0,09 ... 0,12 ³⁾ |
| hiekoitettu, kova lumitie ⁴⁾ | 0,3 ... 0,4 | — | 0,01 ... 0,04 |
| kova lumitie ⁴⁾ | 0,1 ... 0,3 | n. 40 | 0,01 ... 0,04 |
| pehmeä lumitie ^{4, 5)} | 0,1 ... 0,3 | n. 50 | 0,03 ... 0,15 |
| jäätie ⁴⁾ | 0,1 ... 0,3 | n. 40 | 0,01 ... 0,04 |
| kuiva hiesusavi, sänki, kynnös ja mullos | 0,5 ... 0,8 | n. 50 | 0,06 ... 0,12 |
| märkä savi | 0,2 ... 0,4 | n. 50 | 0,10 ... 0,20 |
| liejusavi | 0,1 ... 0,2 | n. 60 | 0,12 ... 0,30 |

¹⁾ kivetön

²⁾ hieman kivinen

³⁾ kivinen

⁴⁾ lämpötila n. —10°C

⁵⁾ korkeintaan n. 25 cm upottavaa, pehmeää lunta

/2/, /15/, /26/

Liite 2. Maalajien kantavuuksia

| Maan pinnan laatu | kantavuus (N/cm ²) |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| moreeni, kuiva | 40 ... 80 |
| „ kostea, hienorakeinen | 20 ... 50 |
| „ kostea, karkearakeinen | 30 ... 60 |
| sora, kuiva | 30 ... 70 |
| „ kostea | 40 ... 80 |
| hiekkä, kuiva ¹⁾ | 15 ... 25 |
| „ kostea | 30 ... 50 |
| savi, kuiva | 40 ... 120 |
| „ kostea ¹⁾ | 20 ... 30 |
| „ märkä ¹⁾ | 5 ... 15 |
| suo, puita kasvava ¹⁾ | 4 ... 7 |
| „ muut ¹⁾ | 1 ... 4 |
| lumi, vastasatanut ²⁾ | 1 ... 3 |
| „ vanha, liikkumaton (—10 ... —20°C) | 5 ... 10 |
| „ tiivistynyt (—10 ... —20°C) | 20 ... 50 |
| „ kovaksi tiivistynyt (—10 ... —20°C) | 40 ... 80 |
| jää | 100 ... 250 |

¹⁾ Kantavuus huononee ajokertojen lisääntyessä.

²⁾ Kantavuus paranee ajokertojen lisääntyessä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. *K. Aho—K. Rantapuu*, Metsätraktorin veto- ja nousukyvyistä rinteessä. Folia Forestalia N:o 111, Metsäntutkimuslaitos, Helsinki 1971.
2. *J. Ahokas*, Traktorin vetovoima ja sen lisääminen. Diplomityö, Helsingin teknillinen korkeakoulu, Helsinki 1974.
3. *P. H. Bailey*, The Comparative Performance of Some Traction Aids. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 1, N:o 1 1956, s. 12...22.
4. *M. G. Bekker*, Introduction to Terrain Vehicle Systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1969.
5. *E. L. Borger, J. B. Liljedahl, W. M. Carleton & E. G. McKibben*, Tractors and Their Power Units. Second Edition, John Wiley & Sons, 1963.
6. *S. J. Clark & J. B. Liljedahl*, Model Studies of Single, Dual and Tandem Wheels. Transactions of the ASAE, Vol. 12, N:o 2 1969, s. 240...245.
7. *M. Kantola—O. Puoskari*, Tutkimuksia maatalouspyörätraktorin lumikelpoisuuden lisäämiseksi. Työtehoseuran julkaisuja N:o 86, Helsinki 1960.
8. *J. Kättö*, Maataloustraktorin vetokyky. VAKOLAn moniste.
9. *E. D. Luow*, Theorie des Schleppers. VEB Verlag Technik, Berlin 1954.
10. *L. E. Osborne*, A Field Comparison of the Performance of Two- and Four-wheel Drive and Tracklaying Tractors. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 16, N:o 1 1971, s. 46...61.
11. *F. J. Sonnen*, Ein Überblick über Ergebnisse von Feldversuchen mit Trieb- radreifen von Ackerschleppern. Landtechnische Forschung, 11. Jahrgang, Heft 5/1961, s. 117...122.
12. *F. J. Sonnen*, Zur Frage des Allradantriebes von Ackerschleppern. Land- technische Forschung, 12. Jahrgang, Heft 1/1962, s. 1...6.
13. *P. H. Southwell*, An Investigation of Traction and Traction Aids. Transactions of the ASAE, Vol. 7, N:o 2 1964, s. 190...193.
14. *H. Steinkampf*, Probleme der effizienten Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen der Landtechnik, Band 24, N:o 1 1974, s. 14...20.
15. *W. Söhne*, Agricultural Engineering and Terramechanics. Journal of Terra- mechanics, Vol. 6, N:o 4 1969, s. 9...30.
16. *J. H. Taylor*, Lug Angle Effect on Traction Performance of Pneumatic Tractor Tires. Transactions of the ASAE, Vol. 16, N:o 1 1973, s. 16...18.
17. *T. J. Thaden*, Operating Characteristics of Radial-Ply Tractor Tires. Transactions of the ASAE, Vol. 5, N:o 2 1962, s. 109...110.
18. *G. E. Vanden Berg & I. F. Reed*, Tractive Performance of Radial-Ply and Conventional Tractor Tires. Transactions of the ASAE, Vol. 5, N:o 2 1962, s. 126...129.
19. *G. H. Vasey & I. T. Naylor*, Field Tests on 14—30 Tractor Tyres. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 3, N:o 1 1958, s. 1...8.
20. *R. L. Wann*, Durability Characteristics of Radial-Ply Tractor Tires. Transactions of the ASAE, Vol. 5, N:o 2 1962, s. 111...112.
21. Meddelande 1667, 1668, 1729. Statens maskinprovningar, Uppsala 1963, 1963, 1964.
22. NIAE Test Report 493. Massey-Ferguson Pressure Control System, 1965.
23. NIAE Test Report N:o 72. Report on Test of Humberside Extension Wheels Fitted to a New Fordson Major Tractor, 1953.
24. NIAE Test Report N:o 93, Report on Test of Prototype Tyre Girdles on Fordson Major Tractors, 1954.
25. Rengastiedot. The Scandinavian Tire and Rim Organization, 1972.
26. Terrängmaskinen 1 & 2. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stockholm.