

# FOLIA FORESTALIA 111

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1971

---

---

KAUKO AHO—KLAUS RANTAPUU

METSÄTRAKTORIEN VETO— JA  
NOUSUKYVYSTÄ RINTEESSÄ

ON SLOPE—ELEVATION  
PERFORMANCE FOR FOREST TRACTORS

- N:ot 1—18 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 1—41.  
 Nos. 1—18 are listed in publications 1—41 of the Folia Forestalia series.
- N:ot 19—55 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 19—96.  
 Nos. 19—55 are listed in publications 19—96 of the Folia Forestalia series.
- 1969 No 56 Terho Huttunen: Länsi-Suomen havusahatukkien koko ja laatu vuonna 1966.  
 The size and quality of coniferous sawlogs in western Finland in 1966. 1,50
- No 57 Metsäntutkimuslaitoksen päätös puutavaran mittauksessa käytettävistä muuntoluvuista ja kuutioimistaulukoista.  
 Skogsforskningsinstitutets beslut beträffande omvandlingskoefficienterna och kuberings-tabellerna, som används vid virkesmätning. 28,80
- No 58 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 2. Maan eteläpuoliskon mänty, kuusi ja koivu.  
 No 59 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 3. Männyn ja kuusen uudet paperipuutaulukot.  
 No 60 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 4. Maan pohjoispuoliskon mänty ja kuusi. 2,—
- No 61 Matti Aitolahti ja Olavi Huikari: Metsäojien konekaivun vaikeusluokitus ja hinnoittelu.  
 Classification of digging difficulty and pricing in forest ditching with light excavators.
- No 62 Kullervo Kuusela ja Alli Salovaara: Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan mestävarat vuonna 1968.  
 Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1968. 3,—
- No 63 Arno Uusvaara: Maan ja metsän omistus Suomessa v. 1965 alussa ja sen kehitys v. 1957—65.  
 Land and forest ownerships in Finland 1965 and their development during 1957—65.
- No 64 Timo Kurkela: Haavanruosteen esiintymisestä Lapissa.  
 Leaf rust on aspen in Finnish Lapland. 1,—
- No 65 Heikki Ravela: Metsärunko-ojien mitoitus.  
 Dimensioning of forest main ditches. 1,50
- No 66 Matti Palo: Regression models for estimating solid wood content of roundwood lots.
- No 67 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1967—69.  
 Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1967—69. 2,50
- No 68 Lauri Heikinheimo, Seppo Paananen ja Hannu Vehviläinen: Stumpage and contract prices of pulpwood in Norway, Sweden and Finland in the felling seasons 1958/59—1968/69 and 1969/70. 2,50
- No 69 U. Rummukainen ja E. Tanskanen: Vesapistooli ja sen käyttö.  
 A new brush-killing tool and its use. 1,—
- No 70 Metsätalastollinen vuosikirja 1968.  
 Yearbook of forest statistics 1968. 6,—
- No 71 Paavo Tiihonen: Rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvat puutavaralajitaulukot.
- No 72 Olli Makkonen ja Pertti Harstela: Kirves- ja moottorisahakarsinta pinotavaran teossa.  
 Delimiting by axe and power saw in making of cordwood. 2,50
- No 73 Pentti Koivulehto: Juurakoiden maasta irrottamisesta.  
 On the extraction of stumps and roots. 1,50
- No 74 Pertti Mikkola: Metsähuikkapuun osuus hakkuupoistumasta Etelä-Suomessa.  
 Proportion of wastewood in the total cut in southern Finland. 1,50
- No 75 Eero Paavilainen: Tutkimuksia levitysajankohdan vaikutuksesta nopealiukoisten lannoitteiden aiheuttamiin kasvureaktioihin suometsissä.  
 Influence of the time of application of fast-dissolving fertilizers on the response of trees growing on peat. 2,—
- 1970 No 76 Ukko Rummukainen: Tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L., ennakkotorjunnasta taimitarhassa.  
 On the prevention of *Hylobius abietis* L. in the nursery. 1,50
- No 77 Eero Paavilainen: Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä.  
 Experimental results of the afforestation of swampy fields. 2,—
- No 78 Veikko Koskela: Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskeokentällä.  
 On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. 2,—
- No 79 Olavi Huikari—Pertti Juvonen: Työmenekki metsäojituksessa.  
 On the work input in forest draining operations. 1,50
- No 80 Pertti Harstela: Kasausajan ja valtimonlyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen kokeiden, pulssitutkimuksen ja frekvenssianalyysin avulla.  
 Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set tests pulse study and frequency analysis. 1,50
- No 81 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1968—69.  
 Stumpage prices in private forests during cutting season 1968—69. 1,—
- No 82 Olavi Huuri, Kaarlo Kytökorpi, Matti Leikola, Jyrki Raulo ja Pentti K. Räsänen: Tutkimuksia taimityypiluokituksen laatimista varten. I Vuonna 1967 metsänviljelyyn käytettyjen taimien morfologiset ominaisuudet.  
 Investigations on the basis for grading nursery stock. I The morphological characteristics of seedlings used for planting in the year 1967. 1,50

Kauko Aho ja Klaus Rantapuu

METSÄTRAKTORIEN VETO- JA NOUSUKYVYYSTÄ RINTEESSÄ

About slope-elevation performance for forest tractors

Summary in English

ALKUSANAT

Tutkimus liittyy metsäntutkimuslaitoksen ja maatalouskoneiden tutkimuslaitoksen yhteistyönä tekemään laajempaan metsätraktoreita koskevaan tutkimukseen, jonka kenttätyöt suoritettiin Enon Pamilossa Enso-Gutzeit Osakeyhtiön alueilla kesällä 1970.

Käsillä olevassa tutkimuksen osassa on selvitetty vastarinteen vaikutusta metsätraktorien kuljetuskykyyn. Metsäntutkimuslaitos on ottanut kysymyksen tutkimuksen kohteeksi ja suunnitellut kenttäkokeet. VAKOLA on vastannut mittausten suorittamisesta ja tutkimuk-

sen teoreettisista laskelmista. Tutkitut traktorit luovutti Enso-Gutzeit Osakeyhtiö korvauksetta tutkittavaksi. Mittauslaitteiden asentamisessa saatiin apua myös Pamilo Osakeyhtiöltä. Tutkimuksen kenttätyövaiheeseen osallistuivat myös tekn. ylioppilas JUHA KÄTTÖ ja ins. oppilas TAPIO RANTA, joista ensiksi mainittu osallistui myös tulosten laskentavaiheeseen.

Tekn. tohtori KAUKO AHO on VAKOLAN ja metsänhoitaja KLAUS RANTAPUU metsäntutkimuslaitoksen palveluksessa.

Helsinki, kesäkuu 1971

Veijo Heiskanen

## SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ALKUSANAT .....	1
SISÄLLYSLUETTELO .....	2
SUMMARY .....	3
1. JOHDANTO .....	3
2. TEOREETTISEN TARKASTELUN PERUSTEET .....	5
21. Tasapainoyhtälöt .....	5
22. Kehävoiman suhde akselikuormaan .....	6
23. Vierimisvastus .....	6
24. Pintapaine .....	7
3. MOOTTORIN TEHO RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ .....	7
4. PYÖRIEN LUISTO RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ .....	8
5. TRAKTORIN PYSTYYNNOUSU RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ .....	11
6. PINTAPAINEN RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ .....	12
7. RENKAIDEN KANTAVUUS RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ .....	13
8. SUORITETUT VETOKOKEET .....	14
81. Suurin mahdollinen vetovoima .....	14
82. Vetokokeet soratierinteessä .....	14
83. Vetokokeet metsämaastossa .....	15
9. TIIVISTELMÄ .....	16
KIRJALLISUUSLUETTELO .....	17

## SUMMARY

The efficiency of traction and slope elevation performance of a forest tractor could be limited by (A) slip on the wheels or tracks, (B) capacity of the engine, (C) front wheels leaving the ground, (D) ground pressure between the ground and wheels or tracks, and (E) load capacity of the tires.

Keeping this in mind six forest tractors have been studied. Three of them are skidders Clark Ranger 666, Juonto-Lokkeri, and Valmet 880 S, and two forwarders Teli-Lokkeri, and Volvo SM 868, and Volvo SM 661, which is 3/4-tracked and draws the load with a trailer.

An empirical investigation would demand such a great number of measurements that there would be enough material for statistical examination. Then pictures of the terrain and of the distribution of its properties, in the place where the measurements are done, should also be taken using statistical methods. Consequently we can only talk about the moving possibilities of terrain vehicles within a certain probability.

Any large field testing has not been done, but the effects of various factors have been examined using certain equilibrium equations of mechanics. So it has been possible to examine the influence of rolling resistance due to the roughness of terrain or the sinkage of wheels or tracks, the soil thrust of traction members, and the steepness of the slope as average entities, and it has been easy to compare the properties of different structures.

Travel reduction is a limiting factor especially in the tractors which pull the load with a trailer, the wheels of which do not draw. When

the steepness of slope is  $10^\circ$ , but the circumstances of the terrain are otherwise good, the nominal load may decrease to about 1/5 of the load on horizontal ground, and in a  $15^\circ$ 's slope it is impossible to draw, in the same circumstances, a load any more. However, the soil thrust of the pneumatic tires of a skidder or a forwarder may also easily slip in a forest terrain.

Capacity of the engine is also realized to be a limiting factor for forwarders. When starting they, as a matter of fact, develop with the help of a hydraulic torque converter, quite a big torque to the drawing wheels, but then the efficiency of the transmission stays small. In good terrain circumstances slopes, which are from  $15^\circ$  to  $20^\circ$ , do not cause much trouble to the forwarders.

The fact that the front wheels leave the ground often limits the load of a skidder. In good circumstances the decrease is from 1.5 to 3.5 per cent, and in difficult places from 2.0 to 4.5 per cent per a degree of a slope.

The ground pressure of the tractors here concerned is too big when they are loaded, in order to move in swamp areas. In the skidders the ground pressure decreases when the slope steepens. With the forwarders the situation is the opposite. In the slope the wheel load, of course, changes in the same way as the ground pressure does. In some tractors it is frequently possible to exceed the nominal maximum load of the tires.

In the drawing tests done on gravel road and terrain track results, which correspond the theoretical calculations, were gotten.

## 1. JOHDANTO

Traktorin pyörien kehävoima tai telaketjujen vetovoima eli siis traktoria eteenpäin vievä voima riippuu paitsi moottorin tehosta ja välityssuhteista myös pyörien tai telaketjujen mitoista, renkaiden joustavuudesta ja tartuntaripojen laa-

dusta sekä toisaalta vetoalustan laadusta ja tilasta. Lisäksi kehävoimiin vaikuttaa vetävien pyörien tai telaketjujen kuormitus. Toisaalta traktorin kulkua vastustavat vierintävastus, vastarinne ja vedettävä kuorma.

Traktorin pyörän tai telaketjun kehävoima riippuu useasta vetoalustan ominaisuudesta. BEKKER (1960) on jakanut nämä tekijät seuraavasti:

- maan koheesiovoima ( $\text{kp}/\text{cm}^2$ )
- maan sisäinen kitka, kitkakulma
- maan muodonmuutoksen koheesiokerroin ( $\text{kp}/\text{cm}^{n+1}$ )
- maan muodonmuutoksen kitkakerroin ( $\text{kp}/\text{cm}^{n+2}$ )
- pyörän tai telaketjujen painuma (cm)
- painumakerroin  $n$ , joka ilmaisee maan vastuksen lisäyksen painuman kasvaessa
- pyörän tai telaketjun ja maan välinen kosketuspinta-ala ja lähinnä sen pienin ulottuvuus (cm)

Useimmat näistä tekijöistä ovat pintamaan koostumukselle ominaisia ja maan kosteudesta riippuvia.

Traktorin vetovoimaa vähentävä vierimisvastus voidaan katsoa renkaiden muodon kimmoisesta muuttumisesta, raiteiden muodostumisesta eli vetoalustan kimmoisesta ja pysyvästä muodon muutoksesta ja maan pinnan epätasaisuudesta johtuvaksi. Tässä yhteydessä lähemmin tarkasteltava vastarinteen vaikutus on oikeastaan rinnastettavissa vierimisvastukseen. Nousuvastuksen kerroin on sama kuin nousukulman sini.

Pintamaan koostumus ja kosteus sekä vetoalustan epätasaisuus vaihtelevat samalla työmaalla jopa usein samassa rinteessäkin paljon, niinmuodoin myös traktorin suurin mahdollinen vetokyky. Jos tunnettaisiin em. seitsemän muuttuvan tekijän jakautuma ajoreitillä, voitaisiin laskea todennäköisyys, jolla traktori pystyy kuljettamaan tietyn kuorman tuolla välillä. Maastoajoneuvon veto- ja kulkuominaisuuksista puhuttaessa ei voidakaan puhua varmoista luvuista vaan todennäköisyydestä, jolla ajoneuvo selviää annetusta tehtävästä.

Päätelmien teko traktorin veto- ja nousukyvyistä rinteessä maastossa suoritettujen kokeiden perusteella on erittäin vaikea tehtävä, joka vaatii onnistuakseen laajan ja vetoalustasta systemaattisesti kerätyn ja mitattavien tunnuksin kuvatun aineiston olemassaoloa. Suppea selvitys saattaa antaa saman suuruusluokan traktoreiden vertailusta joskus harhaanjohtavan kuvan. Maaperän fysikaalisten ominaisuuksien ja pinnan muodon yksityiskohtainen mittaaminen ja inventointi parantaisivat metsä-

traktorin veto- ja kulkumahdollisuuksien teoreettisen tarkastelun tulosten käyttömahdollisuuksia.

Tällainen teoreettinen tarkastelu traktoreiden vertailemiseksi ja esim. vastarinteen vaikutuksen selvittämiseksi tietyissä oloissa on kuitenkin mahdollista. Tulokset pitävät paikkansa samalla todennäköisyydellä. Traktorin selviytymismahdollisuuksien suuruus riippuu hetkelisestä tilanteesta.

Tarkasteltaessa vastarinteen jyrkkyyden vaikutusta metsätraktorin suurimpaan mahdolliseen vetovoimaan tai kuormaan on kiinnitettävä huomiota rajatilanteessa veto- tai nousukykyä rajoittaviin seikkoihin. Tällaisia seikkoja ovat:

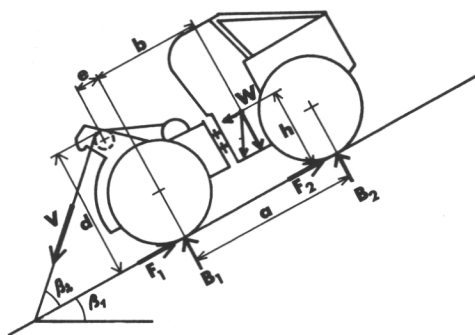
- a) Renkaiden tai telaketjujen luisto.
- b) Moottorin teho eli tarkemmin vetäville akselille siirretyt vääntömomentit tai vetävien pyörien kehällä vaikuttavat voimat
- c) Traktorin etupään irtoaminen maan pinnasta, jolloin ohjaus tulee mahdottomaksi ja ajajan turvallisuus vaarantuu
- d) Renkaiden tai telaketjujen ja maan välinen pintapaine
- e) Renkaiden kantavuus

Eri tilanteissa saattaa rajoittava tekijä vaihdella. Samoin se riippuu traktorityypistä. Niinpä juonto- eli vetotraktoreissa ei vetävien pyörien voima yleensä ole minimitekijä, vaan vetovoimaa rajoittavana tekijänä on joko pyörien luisto tai traktorin pystyynnousu. Itse asiassa pystyynnousu ei saisi koskaan olla vaarallisuutensa vuoksi rajoittava tekijä, mutta käytännössä sitä kuitenkin ilmenee. Kuormaakantavissa eli kuormatraktoreissa ei sen sijaan ole pystyynnousun vaaraa, vaan moottorin teho ja samalla pyörien kehävoima rajoittavat kuorman suuruutta vastarinteessä. Ellei kuorma ole vetävien pyörien päällä, tuntuu vastarinne helposti siten, että vetävät pyörät luistavat.

Traktorin nousua vastustavat tekijät voidaan ryhmitellä kolmeen osaan: nousuvastus, vierimisvastus sekä vetotraktoreissa kuorman liukuvastus.

Tässä yhteydessä tarkastellaan kolmea edellään mainittua metsätraktorityyppiä: kuormatraktoria, vetotraktoria sekä traktoria, joka vetää kuormaa perävaunulla. Kuormatraktoreita ovat Teli-Lokkeri ja Volvo SM 868, vetotraktoreita Juonto-Lokkeri, Michigan Clark Ranger 666 ja Valmet 880 S sekä Marttiini Oy:n valmistamalla





Kuva 1. Kaavakuva vetotraktoriin vaikuttavista voimista rinteessä.

Fig. 1. Diagram showing forces acting on skidder in slope elevation.

$W$  = traktorin paino – weight of the tractor  
 $h$  = painopisteen korkeus – height of center of gravity

$b$  = painopisteen etäisyys taka-akselista – distance between center of gravity and rear axle

$V$  = vaijerissa vaikuttava vetovoima – force in wire

$B_1$  ja  $B_2$  = akselikuormituksia – weights on front and rear axle

Rinnettä vastaan kohtisuorat voimat:

$$V \sin \beta_2 + W \cos \beta_1 = B_1 + B_2 \beta \quad (2)$$

Takapyörien ja maan kosketuskohdan suhteen lasketut vääntömomentit, jotka myös ovat tasapainossa:

$$d V \cos \beta_2 + e V \sin \beta_2 + h W \sin \beta_1 + fR (W \cos \beta_1 + V \sin \beta_2) + a B_2 = b W \cos \beta_1 \quad (3)$$

Jos kyseessä on kuormatraktori, yksinkertaistuvat yhtälöt, koska vetovoima  $V$  on nolla.

Haluttaessa selvittää kuinka suuren vetovoiman traktori pystyy kehittämään vetovaijeriin silloin, kun pystyynnousse rajoittaa, asetetaan yhtälössä (3) tukivoima  $B_2 = 0$  ja ratkaistaan  $V$ .

$$V = \frac{W (b - fR) \cos \beta_1 - h \sin \beta_1}{d \cos \beta_2 + (e + fR) \sin \beta_2} \quad (4)$$

Vastaavan kehävoiman suuruus saadaan yhtälöstä (1) sijoittamalla siihen yhtälöstä (4) saatu vetovoima.

## 22. Kehävoiman suhde akselikuormaan

Vetävien pyörien luistoon vaikuttaa maan pitävyyden lisäksi tarvittavan kehävoiman ja vastaavan akselikuormituksen suhde. Tätä suhdetta, joka on kitkakertoimen luonteinen, nimitetään usein kehävoimakertoimeksi  $\mu = F/B$ . Saavutettavissa oleva kehävoimakerroin on erityisesti maan pinnan laadusta, mutta myös vetävistä renkaista ja niiden lisävarusteista kuten ketjuista riippuvainen. Tilanteen pysyessä muutoin samana kehävoimakertoimen suurentuessa myös luisto lisääntyy. Kehävoimakerroin saattaa pitävällä soratiellä nousta lähelle yhtä. Kuivassa edullisessa maastossa ilmakumirenkaita käytettäessä päästään SAE Coop. Tractor Tire Test Committeeen (1938) tutkimusten mukaan arvoihin  $\mu = 0.5 - 0.6$  ja epäedullisissa oloissa  $\mu = 0.1 - 0.2$ . Erytisesti talvella joudutaan kerointo parantamaan erilaisilla ketjuilla. Käytännössä traktorin vetovoiman mittaaminen on usein tämän ”kitkakertoimen” ja luston mittaamista. Kaikki muut tekijät voidaan riittävän tarkasti laskea. Moottorin ominaisuudet on silloin tietenkin tunnettava. Jos traktorin kaikki pyörät vetävät, saadaan tiettyä rinnettä ja vetovoimaa vastaava kehävoimakerroin jakamalla yhtälöstä (1) saatava kehävoima  $F$  yhtälöstä (2) saatavalla rinnettä vastaan kohtisuoralla voimalla  $B_1 + B_2$ .

## 23. Vierimisvastus

Vierimisvastus lasketaan prosentteina traktorin pyörille tulevasta maan pintaa vastaan kohtisuorasta voimasta. Vierimisvastuskerroin 0.1 eli 10 % tarkoittaa helponlaisen metsämaaston aiheuttamaa keskimääräistä vastusta. Tasaiseltakin näyttävässä pintamaastossa on yleensä kuitenkin epätasaisuuksia, jotka hetkellisesti lisäävät vierimisvastuskerrointa huomattavasti ja jotka varsinaisesti ratkaisevat traktorin selviytymisen ja kuorman suuruuden. Vierimisvastus on 50 % ajoneuvon painosta erittäin vaikeasti kuljettavassa maastossa. Lumen aiheuttama vastus ei ole niin paljoa riippuvainen traktorin painosta kuin otsapinnan suuruudesta ja muodosta sekä ajonopeudesta. Upottava maasto tai lumi saattavat nostaa ajovastuksen jopa suuremmaksi kuin 100 % traktorin painosta. Tällöin ei kuitenkaan voida puhua enää normaalista työskentelystä. Yleensä kohtaa, jossa vierimisvastus on 50 %, pidetään jo esteenä, jota pyritään kiertämään.

Vierimisvastuskerroin on riippuvainen renkaiden lukumäärästä, sijoituksesta, kiinnitystavasta, mitoista, rakenteesta ja tartuntarivoista sekä vetoalustan mekaanisista ominaisuuksista.

#### 24. Pintapaine

Renkaan ja maan välinen pintapaine saattaa upottavilla mailla tulla rajoittavaksi tekijäksi. Vaikka lepotilassa traktorin etupää saattaa painaa enemmän kuin takapää, siirtyy vedon aikana painoa takapyörille siten, että takapään uppoamisvaara on todennäköisempi. Takapyörille tuleva kuormitus saadaan yhtälöstä (3) ratkaisemalla se  $B_2$ :n suhteen ja sijoittamalla saatu kuormitus yhtälöön (2).

Pyörän ja maan välisen kosketuskohdan ala on sovittu laskettavaksi tilanteessa, jolloin rengas on uponnut tai litistynyt 15 % säteestään. Tätä tilannetta vastaava pinta-ala saadaan likimain kaavasta

$$A = Rb \quad (5)$$

Pintapaine saadaan

$$p = \frac{B}{nA}$$

$B$  = takapyörille tai telipyörästä tuleva kuormitus

$R$  = renkaan säde

$b$  = renkaan leveys

$n$  = pyörien lukumäärä telissä

### 3. MOOTTORIN TEHO RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ

Kuormaa kantavissa metsätraktoreissa kuormaa rajoittavana tekijänä on joko moottorin teho tai pyörien luisto. Usein käytettävä hydrodynaaminen vääntömomentin muutin vaikeuttaa tarkastelua.

Kuormatraktorin suurin mahdollinen kuorma voidaan laskea kaavasta (1) asettamalla  $V = 0$  ja  $W = W_{\text{kuorma}} + W_{\text{traktori}}$

$$W_{\text{kuorma}} = \frac{F}{\sin\beta + f \cos\beta} - W_{\text{traktori}} \quad (6)$$

Pyörien kehävoiman summa saadaan kaavasta:

$$F = \frac{T_m \cdot i \cdot \eta}{R} \quad (\text{kp}) \quad (7)$$

$T_m$  = moottorin vääntömomentti (kpm)

$i$  = välityssuhde moottorista vetoakseleille

$R$  = vetävien pyörien säde (m)

$\eta$  = voimansiirron hyötysuhde

Tutkimuksessa mukana olleissa kuormatraktoreissa, Teli-Lokkerissa ja Volvo SM 868:ssa, suurin teoreettinen vääntömomentti riittää aina  $10^\circ$  rinteisiin saakka valmistajan ilmoittamaa nimelliskuormaa suuremman kuorman kuljetukseen vaikeassakin maastossa, kun vierimisvastus on 50 %. Vastarinteen jyrkkyyden ollessa  $20^\circ$  ja vierimisvastuksen 50 % voidaan Teli-Lokkeriin kuormata vielä n. 11 000 kg ja Volvo SM 868 n. 5000 kg. Vierimisvastuksen ollessa n. 40 % pystyvät kumpikin traktori kuljettamaan nimelliskuormansa  $20^\circ$  rinnettä ylös.

Tässä käyttötilanteessa hydrodynaaminen momentinmuutin kuumenee kuitenkin liikaa ja näin suuret kuormitukset voivat olla vain lyhytaikaisia. Lisäksi traktorin etenemisnopeus on hyvin pieni. Jos muuttimen hyötysuhde halutaan säilyttää esim. yli 70 %, on kuormia pienennettävä huomattavasti, taulukko 2.

Taulukko 2. Teli-Lokkerin ja Volvo SM 868:n teoreettinen kuormitus, kun hydrodynaamisen momentinmuuttimen hyötysuhde halutaan pitää yli 70 %

Table 2. Theoretic load of the forwarders Teli-Lokkeri and Volvo SM 868, when efficiency of hydraulic torque converter is more than 70 per cent

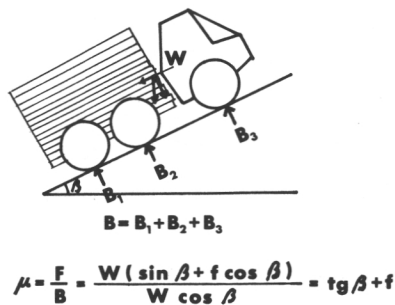
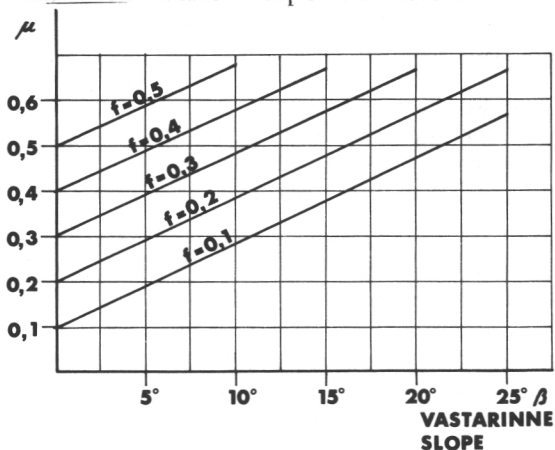
Vierimisvastus Rolling resistance %	Kuorma, kg Weight of the load, kg					
	Teli-Lokkeri			Volvo SM 868		
	Vastarinne – Slope			Vastarinne – Slope		
	0°	10°	20°	0°	10°	20°
10	> 15000	> 15000	13000	> 8000	> 8000	6700
20	> 15000	> 15000	9000	> 8000	> 8000	3500
30	> 15000	12000	6000	> 8000	5500	1200
50	10000	5000	2000	4400	400	–

#### 4. PYÖRIEN LUISTO RAJOITAVANA TEKIJÄNÄ

Traktorin vetävien pyörien luistoherkkyyden vertailemiseksi on tarkastettava kuinka suuria kehävoimakertoimia eri traktorityypit ja traktorit edellyttävät vastaavissa oloissa. Erityisesti on syytä huomata, että kuormatraktorin kehävoimakertoimen lauseke supistuu muotoon:

$$\mu = \frac{F}{B} = \operatorname{tg} \beta + f \quad (8)$$

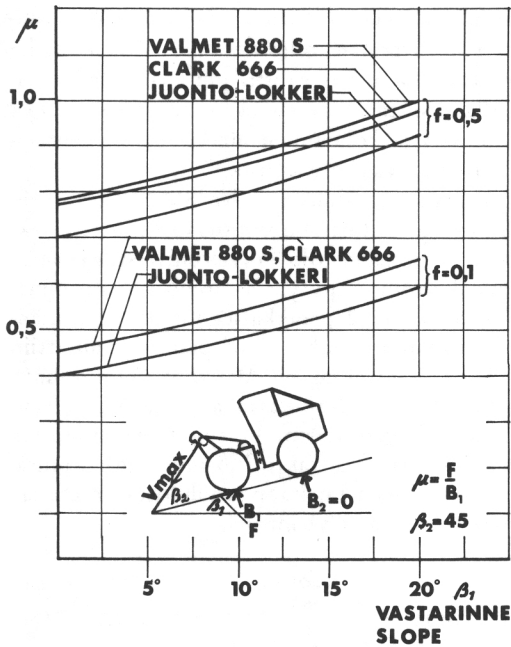
Kehävoimakerroin on siis riippumaton kuorman suuruudesta (kuva 2).



Kuva 2. Kuormatraktorin vaatiman kehävoimakertoimen riippuvuus vastarinteestä ja vierimisvastuksesta. Kehävoimakerroin on riippumaton traktorin kuormasta, jos vierimisvastuskerroin pysyy samana. Fig. 2. Traction coefficient, which is demanded by forwarder, versus steepness of slope and of rolling resistance. Traction coefficient does not depend on the load of the forwarder, if rolling resistance coefficient stays the same.

Kuvassa 3 nähdään vetotraktorien vaatimia kehävoimakertoimia tilanteessa, jossa pystyynousu rajoittaa vetovoimaa. Kerroin on riippu-

vainen vastarinteen jyrkkyydestä, vierimisvastuksesta ja vetovoiman suuruudesta sekä suunnasta. Vierimisvastus 0,5, joka käytännössä



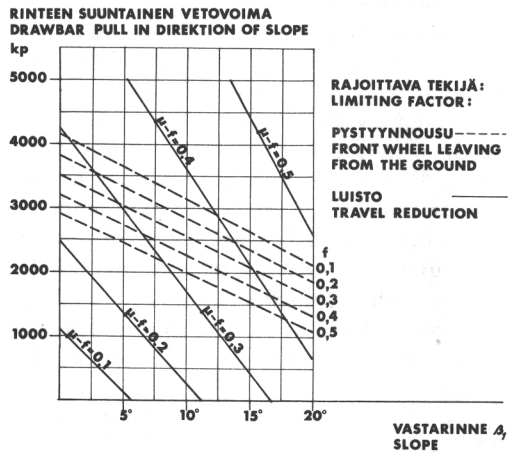
Kuva 3. Vetotraktoreiden vaatiman kehävoimakertoimen riippuvuus vastarinteestä ja vierimisvastuksesta traktorin pystyynnouksen rajoittaessa vetovoimaa.

Fig. 3. Traction coefficient, which is demanded by skidder, versus steepness of slope and of rolling resistance, when drawbar pull is limited by front wheels leaving the ground.

saattaa tarkoittaa esim. takapyörän nousemista 0.5 m korkealle kivelle tai n. 60–80 cm vahvuista lumihankea edellyttää jo niin suuria kehävoimakertoimia, että täyden kuorman liikuminen on hyvin epätodennäköistä. Kuvan esittämässä tapauksessa vetovoiman suunta on 45° maan pintaan nähden. Jukka-juontopihdillä varustetun Juonto-Lokkerin toisia pienemmät luvut johtuvat siitä, että sen etupää nousee pystyyn kokonaispainoon nähden pienemmän vetovoiman vaikutuksesta kuin toisissa tarkasteltavissa vetotraktoreissa.

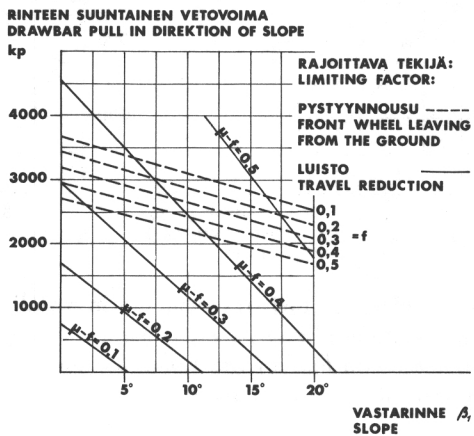
Kuvissa 4 ja 5 nähdään Juonto-Lokkerin ja Valmet 880 S-traktorin maanpinnan suuntaista vetovoimaa rajoittavat tekijät. Jyrkempi käyräparvi esittää vierimisvastuksen ja kehävoimakertoimen mahdollista rajoittavaa vaikutusta. Liviemmasta käyräparvesta nähdään traktorin pystyynnouksen asettama yläraja maanpinnan suuntaiselle vetovoimalle vierimisvastuksen vaihdella 0.1–0.5. Kuvista voidaan päätellä, että

kehävoimakertoimen ja samalla pyörien luiston vetovoimaa rajoittava vaikutus riippuu paljon voimakkaammin vastarinteen jyrkkyydestä kuin traktorin pystyynnousta.



Kuva 4. Juonto-Lokkerin rinteeseen suuntaista vetovoimaa rajoittavat tekijät.

Fig. 4. Factors that limit the drawbar pull of the skidder Juonto-Lokkeri in the direction of the slope.



Kuva 5. Valmet 880 S-vetotraktorin rinteeseen suuntaista vetovoimaa rajoittavat tekijät.

Fig. 5. Factors that limit the drawbar pull of the skidder Valmet 880 S in the direction of the slope.

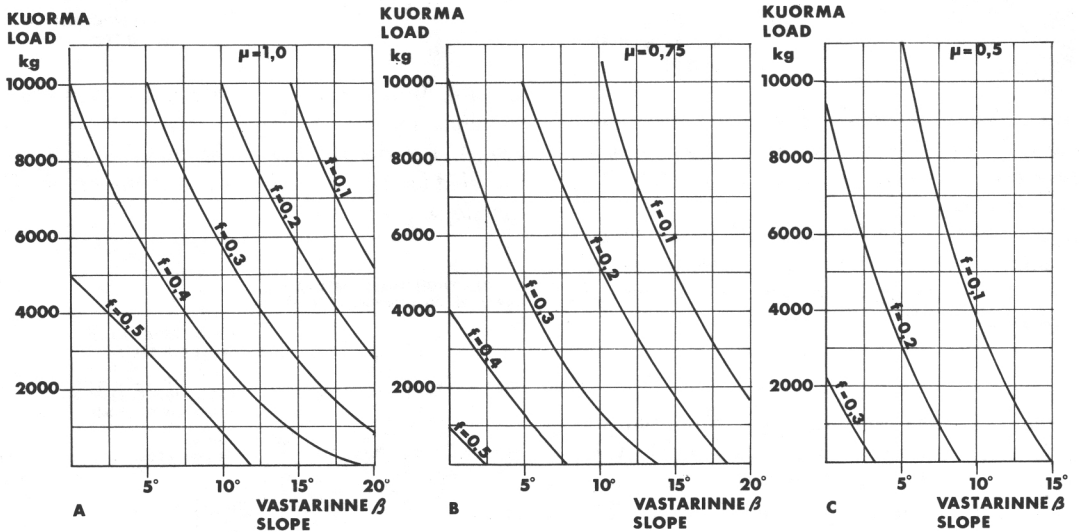
Vastaavissa oloissa (vierimisvastus ja rinteeseen jyrkkyys) tarvitsee vetotraktori suuremman kehävoimakertoimen eli pitävämmän otteen maasta kuin kuormatraktori, jotta siitä voitaisiin

ottaa suurin mahdollinen vetovoima. Tämä johtuu siitä, että vain vetovoiman pystysuora komponentti lisää traktorin painoa, kun taas kuormatraktorissa kaikki kuormitus on vetävien pyörien päällä eikä ulospäin vaikuttavaa veto-voimaa ole ollenkaan.

Kuorman ollessa perävaunulla, jonka pyörät eivät ole vetäviä, kuten on laita Volvo SM 661-traktorissa, traktorien pyörien luisto on useimmiten rajoittavana tekijänä. Koska kuorman lisääminen tuntuu vain vähän vetävien pyörien kuormituksessa, kasvaa kehävoimakertoimen vaatimus vastarinteen ja vierimisvastuksen johdosta helposti liian suureksi. Tällaiset traktorit varustetaan usein telaketjuilla luiston ja vierimisvastuksen vähentämiseksi. BEKKER (1953 ja 1960) on todennut, että luisto on kaikissa oloissa kääntäen verrannollinen pyörän tai tela-

ketjun ja maan välisen kosketuspinnan pituuteen vetovoiman ollessa sama. Vähentämällä traktorin ja maan välistä pintapainetta ne samalla rajoittavat raiteiden muodostumista sekä kuoppien ja kohoamien merkitystä pienentäen myös siten vierimisvastusta.

Kuvassa 6 nähdään Volvo SM 661-traktorin suurin mahdollinen kuormitus vastarinteen jyrkkyyden funktiona olojen (vierimisvastus ja veto-voimakerroin) pysyessä muuttumattomina. Kuormana on 2 peräkkäistä nippua 2 m mäntykuitupuuta, jonka p-m<sup>3</sup>-painoksi mitattiin 625 kg. Perävaunu on Marttiini Oy:n valmistama telivaunu. Rajoittavana tekijänä on yleensä telaketjujen luisto. Pystyynnousu rajoittaa mahdollisesti, jos traktori jo muutoinkin pinta- maaston, kiven tai kuopan johdosta on etupää selvästi takapäätä ylempänä.



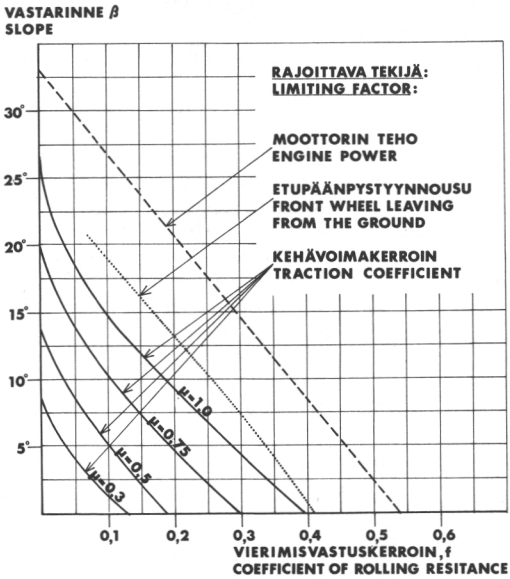
Kuva 6. Volvo SM 661-traktorin suurin mahdollinen kuorma vastarinteesä kehävoimakertoimen ja vierimisvastuksen ollessa parametrina.

Fig. 6. Maximum load of the Volvo SM 661 tractor in slope elevation, when traction coefficient and rolling resistance are parameters.

Verrattaessa nimelliskuorman tai suurimman mahdollisen kuorman kuljetusta vetävien pyörien päällä, perävaunulla ja hinaten juontotaakkana nähdään kuvista 2, 3 ja 6, että vastarinteen ollessa 10° ja vierimisvastuksen 10 %, kuljettaa Volvo SM 661-traktori nimelliskuormaa 10000 kg, jos kehävoimakerroin on n. 0.75, kuormaa kantavan traktorin vaatiessa kertoimeksi vain 0.28. Vetotraktorin vastaava vaatimus on 0.48...0.54. Tilanteessa f = 0,1,

$\beta = 10^\circ$  ja  $\mu = 0.28$  ei perävaunulla varustettu traktori pysty vetämään edes tyhjää vaunuaan.

Kuvasta 7 nähdään Volvo SM 661-traktorin teoreettiset mahdollisuudet kuljettaa 10000 kg:n nimelliskuormaa erilaisissa oloissa. Kuvasta ilmenee, että vaatimus kehävoimakertoimeen nähden, eli käytännössä luistoon on kuorman suuruutta rajoittava tekijä tämän tapaisissa traktoreissa.



Kuva 7. Volvo SM 661-traktorin teoreettinen mahdollisuus kuljettaa nimelliskuormansa, 10000 kg erilaisissa maastoissa, kun telaketjujen otteen pitävyys traktorin etupään pystyynnousu tai moottorin teho ovat rajoittavana tekijänä.

Fig. 7. Theoretical possibility of the Volvo SM 661 tractor to carry its nominal load, 10000 kg, in different terrains, when the thrust of tracks, front wheel leaving from the ground or the capacity of engine are limiting factors.

## 5. TRAKTORIN PYSTYNNOUSU RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ

Yhtälöstä (3) voidaan laskea se vetovoima, jonka kehittäminen irroittaa traktorin etupyörät maan pinnasta. Tällä tarkastelulla on merkitystä vain vetotraktoreiden osalta. Taulukoista 3 ja 4

sekä kuvista 4 ja 5 ilmenee miten vastarinteen jyrkkyys ja traktorin vierimisvastus vaikuttavat pystyynnousun rajoittamaan suurimpaan mahdolliseen vetovoimaan.

Taulukko 3. Vastarinteen ja traktorin vierimisvastuksen vaikutus suurimpaan mahdolliseen pystyynnousun rajoittamaan maanpinnan suuntaiseen vetovoimaan

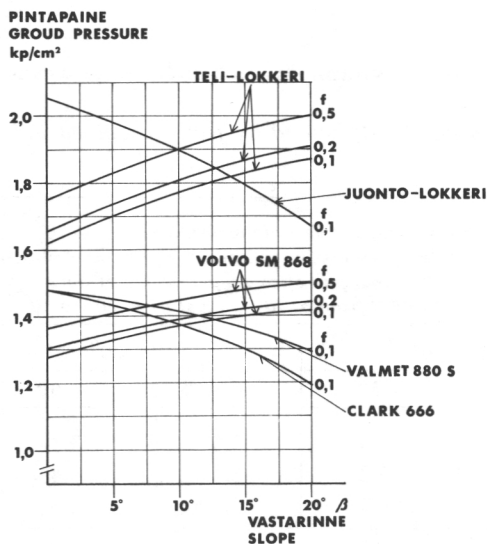
Table 3. Influence of slope and rolling resistance on maximum pull limited by front wheel leaving from the ground

Traktori Tractor	Vetovoima tasaisella, vierimisvastus 10 %, Drawbar pull on horizontal ground, when rolling resistance is 10 %, kp	Vetovoiman pienentyminen, kun vastarinne jyrkkenee $0^\circ \rightarrow 10^\circ$ ja $10^\circ \rightarrow 20^\circ$ , laskettuna prosentteina jyrkkenemisen astetta kohden The percentage of the drawbar pull decrease per degree of the steepness, when the slope steepens from $0^\circ$ to $10^\circ$ , and from $10^\circ$ to $20^\circ$			
		$0^\circ \rightarrow 10^\circ$		$10^\circ \rightarrow 20^\circ$	
		f = 10 %	f = 50 %	f = 10 %	f = 50 %
Clark 666	3850	1.8	2.2	2.5	3.3
Juonto-Lokkeri	4100	2.3	3.3	3.5	4.4
Valmet 880 S	3650	1.4	1.9	2.1	2.3

Taulukko 4. Vierimisvastuksen vaikutus suurimpaan mahdolliseen pystyynnousoin rajoittamaan maanpinnan suuntaiseen vetovoimaan vastarinteen jyrkkyyden pysyessä samana  
 Table 4. Influence of rolling resistance on maximum pull limited by front wheel leaving from the ground, the steepness staying the same

Traktori Tractor	Vastarinteen jyrkkyyden Steepness	Vetovoima, vierimisvastuksen ollessa 10 %, Drawbar pull when rolling resistance is 10 %, kp	Vetovoiman pieneneminen %, kun vierimisvastus kasvaa 10 % → 50 % The percentage of the drawbar pull decrease, when rolling resistance increases from 10 % to 50 %
Clark 666	0°	3850	29.9
	10°	3150	33.3
	20°	2350	40.4
Juonto-Lokkeri	0°	4100	37.8
	10°	3150	46.0
	20°	2050	53.7
Valmet 880 S	0°	3650	26.0
	10°	3140	29.9
	20°	2500	32.0

## 6. PINTAPAINEN RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ



Kuva 8. Nimelliskuormalla tai pystyynnousoinrajalle kuormitettujen traktorien takapyörien tai telipyörien ja maan välinen laskettu pintapaine vastarinteen funktiona vierimisvastuksen ollessa 0.1, 0.2 ja 0.5.

Kuvasta 8 nähdään tarkastelussa mukana oleiden metsätraktoreiden takapyörien ja maan välinen pintapaine traktoreiden ollessa kuormitettuna. Vetotraktoreiden osalta pystyynnousoin on otettu vetovoimaa rajoittavaksi tekijäksi. Kuormatraktoreiden kuormitukseksi on otettu valmistajien ilmoittamat nimelliskuormat eli Teli-Lokkeri 15 000 kg ja Volvo SM 868 8 000 kg.

Vetotraktoreiden osalta pintapaine pienenee n. 7 % vierimisvastuksen kasvaessa 10 %:sta 50 %:iin. Vastarinteen jyrketessä pintapaine samoin pienenee, koska etupää nousee entistä helpommin pystyyn.

Kuormatraktoreissa pintapaine kasvaa vierimisvastuksen kasvaessa ja vastarinteen jyrketessä.

Fig. 8. Ground pressure versus slope, calculated between the ground and rear wheels of skidders, or tandem wheels of forwarders loaded with their nominal load, or up to the point when front wheels leave the ground, when coefficient of rolling resistance is 0.1, 0.2 and 0.5.

Perävaunulla oleva kuorma lisää lähinnä alla olevien telipyörien ja maan välistä pintapainetta. Volvo SM 661-traktorin perävaunun renkaiden ja maan välinen paine on vaunun ollessa kuormattuna 10000 kg kuormalla 1.0...1.2 kp/cm<sup>2</sup> rinteiden jyrkkyydestä riippuen. Pintapaine suurenee vastarinteen jyrketessä. Vierimisvastus ei vaikuta tässä tapauksessa pintapaineeseen.

Tarkasteltavilla traktoreilla ei ole syytä tämän perusteella mennä ainakaan täysin kuormitettuna suoperäiselle maalle, koska pintapaineen tulisi olla silloin alle 0.5 kp/cm<sup>2</sup>. Kiinteäpohjaisilla mailla pintapaine ei kuitenkaan ole

rajoittava tekijä.

BEKKER (1969) on osoittanut, että pintapaineen pienentyessä traktorin mahdollisuudet selviytyä tietyistä tehtävistä paranevat. Tämä ilmiö käy erityisen merkitykselliseksi kehävoimakertoimen kasvaessa eri paikoissa, missä tarvitaan mahdollisimman suuria kehävoimia kuten vastarinteessä.

Kuormituksen kohdistuessa moneen pyörään pienenee yksittäisten esteiden kulkua vaikeuttava merkitys, joka sitten tuntuu vierimisvastuksen pienemisenä.

## 7. RENKAIDEN KANTAVUUS RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ

Tarkasteltavana olevien traktorien takarenkaiden tai telirakenteen renkaiden kantavuus

sekä laskettu suurin mahdollinen kuormitus käyvät ilmi taulukosta 5.

Taulukko 5. Takarengastuksen kantavuus ja suurin mahdollinen staattinen kuormitus, joka voi esiintyä  
Table 5. Load capacity of rear tires and the maximum static load that can occur

Traktori <i>Tractor</i>	Renkaat <i>Tires</i>	Takarengastuksen kantavuus, <i>Load capacity of rear tires,</i> kp	Suurin takarengastuksen staattinen kuormitus, <i>Maximum static load that can occur,</i> kp	
			$\beta = 0^\circ$	$\beta = 20^\circ$
Clark Ranger 666	18.4–34/10	2 x 3850 = 7700	10700	8800
Juonto-Lokkeri	18.4–34/14	2 x 4850 = 9700	14000	11300
Teli-Lokkeri	17.5–25/12	4 x 4300 = 19600 4 x 6150 = 24600 <sup>1)</sup>	21000	25500
Valmet 880 S	18.4–34/14	2 x 4850 = 9700	10500	8900
Volvo SM 868	500–22.5/14	4 x 6500 = 26000	14000	15300
Volvo SM 661/ Martini	500–22.5/12	4 x 5900 = 23600	12000	11700

1) STRO-Normin E 106.02 mukaan renkaan kantavuus tasaisella ajoalustalla ajettaessa korkeintaan 10 km/h on 6150 kp.

1) According to STRO-standard, E. 106.02, load capacity of the tire is 6150 kp, if maximum speed does not exceed 10 km/h, and the travel surface is smooth.

Taulukosta nähdään, että vetotraktoreilla takarengastuksen suurin mahdollinen kuormitus pienenee vastarinteen jyrkentyessä ja samoin käy myös maaston vierimisvastuksen kasvaessa.

Kuormatraktoreissa tilanne on päinvastainen. Eräissä traktoreissa saatetaan ilmeisesti aikajoin ylikuormittaa renkaita.

## 8. SUORITETUT VETOKOKEET

### 81. Suurin mahdollinen vetovoima

Vetovoiman mittaukset suoritettiin tasaisella soratiellä kitkaolosuhteiden ollessa hyvät. Vetotraktoreiden vetovoimaa rajoitti traktoreiden pystyynnousu. Tulokset vastaavat laskettuja vetovoimia ja olivat:

Clark Ranger 666	n. 5000 kp
Juonto-Lokkeri Jukka-juontopihdillä varustettuna	n. 5000 kp
Valmet 880 S	n. 5200 kp

Volvo 661:n kuormana oli  $18.6 \text{ p-m}^3$  eli 11000 kg 2 nippua 2 metristä kuitupuuta. Tällä traktorilla oli telaketjujen luiston ohella myös traktorin pystyynnousu vetovoimaa rajoittavana tekijänä. Suurin vetovoima oli n. 7200 kp. Tällainen vetovoima vastaa em. tavalla kuormatun traktorin kulkuvastusta tasaisella maalla vierimisvastuskertoimen ollessa n. 0.3.

Kuormatraktoreiden suurimpia vetovoimia ei voitu todeta siksi, ettei kenttäoloissa kyetty ankkuroidaan riittävän suurta kuormaa.

### 82. Vetokokeet soratierinteessä

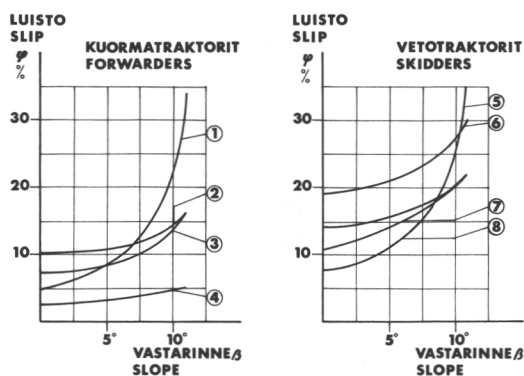
Kokeissa pyrittiin selvittämään suurin mahdollinen kuorma, mikä vetotraktorilla voitiin saada mäen päälle. Eräitä kuormia vedettiin sekä latvat että tyvet edellä.

Rinteen jyrkkyys vaihteli vaakasuorasta  $11^\circ$ :een. Sää oli kokeiden aikana poutainen.

Suoritettujen kokeiden yhteydessä mitattiin vetävien pyörien luisto, hydrodynaamisen kytkimen luisto, moottorin pyörimisnopeus sekä traktorin etenemisnopeus jatkuvana mittauksena. Mittausta varten sijoitettiin valokennoanturi moottorin kampiakselin päässä olevan kiilahihnapyörän sekä traktorin takapyöriin voimaa siirtävän akselin läheisyyteen. Lisäksi traktorin alle kiinnitettiin matkaa mittaava ilmakumirenkailla varustettu pyörä, joka antoi sähköisen impulssin 12 cm välein. Valokennoista ja em. pyörästä saadut pulssit rekisteröitiin jatkuvasti nousukokeen aikana mittaussauhurilla.

Kuvasta 9 nähdään vetävien pyörien keskimääräinen luisto suoritetuissa rinnekokeissa. Siitä ilmenee eri rakenteiden ja vetomenetel-

mien periaatteellinen luistoalttius. Vähäisten erojen perusteella ei ole kuitenkaan syytä menä tekemään pitkälle meneviä johtopäätöksiä, mutta tulokset osoittavat vallitsevan suunnan.



Kuva 9. Keskimääräinen luisto soratiellä suoritetuissa nousukokeissa rinteen jyrkkyuden funktiona.

Fig. 9. Average slip on a gravel road in slope elevation tests, versus slope.

1. Volvo SM 661, kuorma – load  $13.4 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (11000 kg)
2. Volvo SM 868, telaketju telipyörillä – *tracks over tandem wheels*, – kuorma – load  $8.46 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (6900 kg)
3. Volvo SM 868, kuorma – load  $8.4 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (6900 kg)
4. Teli-Lokkeri, kuorma – load  $12.3 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (11100 kg)
5. Valmet 880 S, kuorma – load  $6.01 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (4900 kg) latvat edellä – *top foremost*
6. Juonto-Lokkeri, kuorma – load  $10.17 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (8200 kg), latvat edellä – *top foremost*
7. Juonto-Lokkeri, kuorma – load  $6.56 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (5300 kg), juontopihti – *grapple*
8. Valmet 880 S, kuorma – load  $6.58 \text{ k-m}^3$  – *cu.m (s)* (5300 kg), tyvet edellä – *butt foremost*.

Tämän tapaisten vetokokeiden järjestäminen on erittäin työlästä ja edellyttää varsin suuria tutkimusvaroja. Vertailukelpoisten tulosten saa-

minen vaatisi soratielläkin, saati sitten varsinaisessa maastossa enemmän mittauksia kuin tämän tutkimuksen yhteydessä oli mahdollista tehdä. Näidenkin mittausten aikana tien pinta kului ja muuttui ominaisuuksiltaan jonkin verran, suurimmat rinnettä ylös vedetyt kuormat eivät myöskään täysin samalla tavalla vastaa eri traktoreiden veto- tai nousukykyä.

Kokeiden antamien tulosten perusteella voidaan kuitenkin päätellä seuraavaa:

1) Vetotraktoreiden vetokyky rajoitti näissä oloissa traktorin etupään pystyynousu, joskin myös pyörien luisto latvat edellä vedettäessä oli suuri.

2) Kitkan ollessa niin suuri, kuin se on puun ja soratien välillä vetotraktorilla on selvästi edullisempaa vetää puita tyvet edellä. Tällöin vastustava kitkavoima jää pienemmäksi, samoin pyörien luisto ja lisäksi traktori pysyy paremmin etupyörät maassa. Tätä osoittivat selvästi kokeet Valmet 880 Sillä.

Koska liukukitka hakkuujätteiden peittämässä maastossa ja etenkin talvella on pienempi kuin soratiellä ja koska kuormaus- ja purkausvaiheet latvat edellä juonnettaessa ovat nopeampia, ovat RANTAPUU (1970) kesäolosuhteissa ja SALMINEN (1970) talviolosuhteissa todennet latvat edellä juonnon johtavan suurempiin tuotoksiin. Näissä tutkimuksissa ei havaittu eroa keskimääräisen kuorman koossa juonnettaessa latvat tai tyvet edellä.

3) Telaketjujen käyttö kuormatraktorin takapyörien päällä teki traktorin kulun selvästi raskaammaksi kuin ilman telaketjuja.

Tämä kävi ilmi noustaessa Volvo SM 868-traktorilla samalla tavalla kuormattuna rinnettä. Telaketjuja käytettäessä oli hydraulisen momentinmuuttimen luisto rinteeseen jyrkimmässä kohdassa 21 % suurempi kuin ilman niitä.

4) Kuormatraktoreiden pyörien luisto pitävällä soratiellä oli vähäistä.

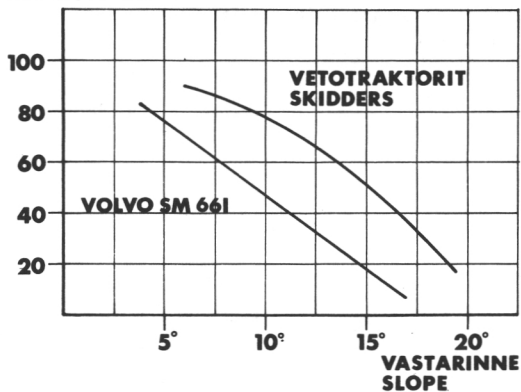
5) Volvo SM 661:n telaketjut luistivat jyrkimmässä kohdassa pitävästä alustasta huolimatta runsaasti, kuten teoreettisen tarkastelun perusteella voitiin jo odottaa.

### 83. Vetokokeet metsämaastossa

Maasto, jossa kokeet suoritettiin oli pinta- maastoltaan silmävaraisesti arvioituna tasaista. Se kuului ruotsalaisen luokituksen mukaan luokkaan I. Rinteeseen kaltevuus vaihteli välillä 0°–17°. Sää oli kokeiden aikana poutainen. Maaston pinnan muuttuminen kokeiden kuluessa arvioitiin vähäiseksi.

Rinteeseen vaikutus pääteltiin kuorman koon avulla siten, että tutkituissa kaltevuuksissa kuorman koko vähennettiin sellaiseksi, että traktori jaksoi sen suurimmista vaikeuksista vetää. Kokeissa saadut tulokset on esitetty kuvassa 10. Teli-Lokkeri ja Volvo SM 868 selvisivät maastoradan jyrkimmästä kohdasta vielä täydellä kuormalla. Siitä havaitaan, että eri traktoreilla saadut tulokset ovat saman suuntaiset kuin teoreettisesti lasketut. Kuorman rajoituksen perimmäisenä syynä maastossa on aina jokin keskimääräistä epäedullisempi kohta, joka laadultaan voi vaihdella paljonkin (esim. vierimisvastuskertoimena laskettuna 0.2...0.5).

### SUHT. KUORMA RELATIVE LOAD



Kuva 10. Suhteellinen kuormankoko vastarinteiden funktiona maastoradalla. Pintamaastoluokka I (ruotsalainen luokitus).

Fig. 10. Relative load versus steepness of slope on a terrain track. Ground roughness class 1 (Swedish terrain classification).

## 9. TIIVISTELMÄ

Metsätraktorin veto- tai nousukykyä saattavat rajoittaa vastarinteessä: a) renkaiden tai telaketjujen luisto, b) moottorin teho, c) traktorin pystyynnousu, d) renkaiden tai telaketjujen ja maan välinen pintapaine ja e) renkaiden kantavuus.

Kokeellinen tutkimus vaatii suuren määrän mittauksia, jotta tuloksia olisi riittävästi luotettavaa todennäköisyystarkastelua varten. On ilman muuta selvää, että tällöin myös maasto ja sen ominaisuuksien jakautumat mittauspaikoilla on selvitettävä mitattavin suurein.

Koska maastoajoneuvojen liikkumismahdollisuuksista maastossa voidaan puhua vain tietyn todennäköisyyden puitteissa, ei tämän tutkimuksen yhteydessä ryhdytty laajaan kenttä-tutkimukseen, vaan erilaisten tekijäin vaikutusta tarkastellaan lähinnä mekaniikan tasapainoyhtälöiden avulla. Niinpä maaston epätasaisuudesta tai raidemuodostuksesta johtuvaa vierimisvastusta, pyörän otteen pitävyyttä maan pinnasta sekä rinteiden jyrkkyyttä voidaan tarkastella täten keskimääräisinä suureina ja helposti vertailla erilaisten rakenteiden ominaisuuksia metsämaaston rinteessä.

Tässä mielessä on tarkasteltu kolmea veto-traktoria, Michigan Clark Ranger 666, Juonto-Lokkeri ja Valmet 880 S, kahta varsinaista kuormatraktoria Teli-Lokkeri ja Volvo SM 868 sekä Volvo SM 661, joka vetää kuormaa teli-perävaunulla.

Luisto on rajoittavana tekijänä lähinnä traktoreissa, joissa kuorma on perävaunulla, jonka

pyörät eivät vedä. Vastarinteen jyrkkyyden ollessa  $10^\circ$  saattaa nimelliskuorma pienentyä muuten hyvissä oloissa n. 1/5 osaan eikä  $15^\circ$ :een rinteessä voida enää maastossa vetää kuormaa. Myös veto- ja kuormatraktorien ilmakumirenkaan ote saattaa helposti lipsahtaa metsämaastossa.

Myös moottorin teho on todettu kuormaa rajoittavaksi tekijäksi kuormatraktoreilla. Hydrodynaamisen momentinmuuttimen avulla ne tosin kehittävät hyvinkin suuria kehävoimia vetäviin pyöriin, mutta voimansiirron hyötysuhde jää rajatilanteessa pieneksi. Teoreettiset laskelmat ja suoritettavat maastokokeet osoittavat, että hyvissä maasto-oloissa kuormatraktoreita eivät  $15^\circ \dots 20^\circ$ :n vastarinteet paljoa haittaa.

Traktorin pystyynnousu rajoittaa usein veto-traktoreiden kuormaa. Hyvissä oloissa rajoitus on 1.5...3.5% ja vaikeissa paikoissa 2.0...4.5% rinteiden astetta kohden.

Tarkasteltavien traktoreiden pintapaine on kuormitettuna liian suuri sulalla suoperäisellä maalla liikkumista varten. Vetotraktoreissa kuormitetun traktorin pintapaine pienenee rinteiden jyrkentyessä. Kuormatraktoreissa tilanne on päinvastainen. Renkaiden kuormitus muuttuu rinteiden vaikutuksesta samalla tavoin kuin pintapaine. Eräissä, tutkimuksessa mukana olleissa traktoreissa voidaan aika-ajoin ylittää renkaiden nimellinen kantavuus.

Soratiellä ja metsämaastossa suoritetuissa vetokokeissa saatiin teoreettista tarkastelua vastaavia tuloksia.

## KIRJALLISUUSLUETTELO – REFERENCES

- BARGER, E.L., LILJEDAHL, I.B., CARLETON, W.M. & McKIBBEN, E.G. 1963. Tractors and their power units, second edition, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- BEKKER, M.G. 1953. Methods of evaluation of off-road-locomotion. Operations Res. Office, The Johns Hopkins Univ., TM-217, Washington, D.C., (Ref. BEKKER, 1969).
- BEKKER, 1960. Off the Road Locomotion. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- BEKKER, 1969. Introduction to terrainvehicle systems p. 633 and 698. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- RANTAPUU, K. 1970. Tutkimus juontomene-  
telmän ja leimikkotekijöiden vaikutuksesta  
runkojuontoon – The effect of the skidding  
method and marked-stand factors on tree-  
length skidding. Metsätehon tiedotus-Met-  
säteho Report 297.
- S A E Coop. Tractor Tire Test Committee,  
SAE Trans., January, 1938 (Ref. BARGER,  
E.L., LILJEDAHL, I.B., CARLETON, W.M.  
& McKIBBEN, E.G. 1963).
- SALMINEN, J. 1970. Vertaileva tutkimus run-  
kojuonnosta tyvet ja latvat edellä Michigan  
Ranger 666 Clark-metsätraktorilla – Compa-  
rative study on the skidding of tree lengths  
with bott and top ends foremost by a  
Michigan Ranger 666 Clark Skidder. Metsä-  
tehon tiedotus – Metsäteho Report 291.
- Terrängtypsschema för svenskt skogsbruk –  
Terrain classification for swedish forestry,  
Skogarbeten, redogörelse – report 9/1969.  
Stockholm.







- No 83 Ole Oskarsson: Pluspuiden fenotyypissä valinnassa sovellettuja valinnan asteita. Selection degrees used in the phenotypic selection of plus trees. 1,50
- No 84 Kari Keipi ja Otto Kekkonen: Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Laskelmia metsän lannoituksen edullisuudesta. 2,—
- No 85 S.—E. Appelroth — Pertti Harstela: Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Kourukuokka, kenttälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutuskoneet Heger ja LMD-1 istutettaessa kuusta peltoon. Studies on afforestation work I. The use of semi-circular hoe, the field spade, plant basket, plant bag and the Heger and LMD-1 tree planters in planting spruce in fields. 3,—
- No 86 Pertti Veckman: Metsäalan toimihenkilöiden koulutustarve 1970-luvulla. Educational requirements of professional forestry staff in the 1970s. 4,—
- No 87 Michael Jones and David Cope: Economics Research in the Finnish Forest Research Institute, 1969—1974. 4,—
- No 88 Seppo Ervasti, Lauri Heikinheimo, Kullervo Kuusela ja Veikko O. Mäkinen: Forestry and forest industry production alternatives in Finland, 1970—2015. 6,—
- No 89 Risto Sarvas: Establishment and registration of seed orchards. 2,—
- No 90 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1968—70. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1968—70. 5,—
- No 91 Pertti Harstela ja Teemu Ruoste: Kokonaisten puiden esijuonto kaksirumpuvintturilla käytävä- ja riviharvennuksessa. Laitteiden ja menetelmien kehitteilyä sekä tuotoskokeita. Preliminary full-tree skidding by two-drum winch in strip and row thinning. 2,50
- No 92 Pentti Hakkila ja Pentti Rikkinen: Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Spruce saw logs as raw material of pulp. 1,50
- No 93 Kari Löytyniemi: Havupunkin ja kuusen neulaspunkin torjunta. Control of mites *Oligonychus ununguis* and *Nalepella haarlovi* var. *piceae-abietis*. 2,50
- No 94 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 5. Koivun uudet paperipuutaulukot. Sortimentafeln 5. Neue Papierholztafeln für Birke. 2,50
- No 95 Jorma Rajala: Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964—68. 2,50
- No 96 Metsätilastollinen vuosikirja 1969. Yearbook of forest statistics 1969. 8,—
- No 97 Juhani Numminen: Short-term forecasting of the total drain from Finland's forests. Suomen metsien kokonaispoistuman lyhytjaksainen ennustaminen. 1,50
- No 98 Juhani Nousiainen, Jukka Sorsa ja Paavo Tiihonen: Mänty- ja kuusitukkkipuiden kuutiomismenetelmä. Eine Methode zur Massenermittlung von Kiefern- und Fichtenblochholz. 4,—
- 1971 No 99 Yrjö Vuokila: Harvennumallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd i Finland. Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. 2,—
- No 100 Esko Leinonen ja Kalevi Pullinen: Tilavuuspaino-otanta kuitupuun mittauksessa. Green density sampling in pulpwood scaling. 2,—
- No 101 IUFRO, Section 31, Working Group 4: Forecasting in forestry and timber economy. 5,—
- No 102 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1969/70. Stumpage prices in private forests during cutting season 1969/70. 1,—
- No 103 Matti Ahonen: Tutkimuksia kanto- ja juuripuun korjuusta I. Kokeilu puiden kaatamisesta juurakkoineen. Studies on the harvesting of stumps and roots in Finland I. Experiment with the felling of trees with their rootstock. 2,—
- No 104 Ole Oskarsson: Plusmetsiköiden valintaero ja jalostusvoiton ennuste. Selection differential and the estimation of genetic gain in plus stands. 1,50
- No 105 Pertti Harstela: Työjärjestyksen vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa. The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m, rough-limbed spruce pulpwood. 2,50
- No 106 Hannu Vehviläinen: Metsätyömiesten moottorisahakustannukset 1969—1970. Power-saw costs of forest workers in 1969—1970. 3,—
- No 107 Olli Uusvaara: Vaneritehtaan jätetuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista. On the properties of chips prepared from plywood plant waste. 2,50
- No 108 Pentti Hakkila: Puutavaran vaurioitumisesta leikkuuterää korjuutyössä käytettäessä. On the wood damage caused by shear blade in logging work. 2,—
- No 109 Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö. Report of the committee on the costs of forest planting and seeding.
- No 110 Kullervo Kuusela — Alli Salovaara: Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969—70. Forest resources in the Forestry Board Districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969—70.

No 111 Kauko Aho ja Klaus Rantapuu: Metsätraktorien veto- ja nousukyvyistä rinteessä.  
On slope-elevation performance for forest tractors. 2,—

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, Helsinki 10, p. 645 121  
Merkintä O D C tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää