

FOLIA FORESTALIA 692

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1987

MATTI SIRÉN, JARI ALA-ILOMÄKI
& TORE HÖGNÄS

HARVENNUKSIIN SOVELTUVAN METSÄ-
KULJETUSKALUSTON MAASTOKELPOISUUS

MOBILITY OF FORWARDING VEHICLES
USED IN THINNINGS



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyysönen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n.150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallista ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 692

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1987

Matti Sirén, Jari Ala-Ilomäki & Tore Högnäs

HARVENNUKSIIN SOVELTUVAN METSÄKULJETUSKALUSTON
MAASTOKELPOISUUS

Mobility of forwarding vehicles
used in thinnings

Approved on 29.5.1987

SIRÉN, M., ALA-ILOMÄKI, J. & HÖGNÄS, T. 1987. Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus. Summary: Mobility of forwarding vehicles used in thinnings. *Folia Forestalia* 692. 60 p.

Tutkimuksessa on selvitetty harvennuspuun metsäkuljetukseen soveltuvien traktoreiden maastokelpoisuutta. Tutkimuskohteina ovat olleet koneiden lumesakulkukyky sekä raiteenmuodostus ja selviytymiskyky huonosti kantavilla mailla. Kokeisiin osallistui 15 konetta, jotka edustavat eri metsäkuljetusvaihtoehtoja.

Koneiden maastokelpoisuudessa oli suuria eroja sammassakin kokoluokassa. Huomionarvoista oli joidenkin kuormatraktoreiden hyvät maasto-ominaisuudet. Myös turvemaille suunnitellut tela-alustaiset koneet osoittautuivat kokeissa varsin maastokelpoisiksi ja ympäristöystävällisiksi.

Mobility of forwarding vehicles used in thinnings was examined. The study focused on mobility in snow and rutting on soils with a poor bearing capacity. There were 15 machines that participated in the experiments. They represent a cross-section of various forwarding alternatives.

There were great differences in mobility between machines in the same machine size class. The good mobility of some forwarders is worthy of notice. The rubber tracked machines designed for use on peatlands also proved to be quite suitable for soft soil in level terrain and left few traces on the environment.

Keywords: Forwarding, mobility, rut formation

ODC 333 + 375.4 + 377.44 + 462

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-0784-0
ISSN 0015-5543
Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. SUOMEN METSÄMAASTO PUUNKORJUUN KANNALTA	6
3. AJONEUVON LIIKKUVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	7
31. Liikkuvuuden teoriaa	7
311. Yleistä	7
312. Vetovoima	8
313. Kulkuvastus	11
32. Ajoneuvon rakenteen vaikutus liikkuvuuteen	12
33. Kulkualustan vaikutus liikkuvuuteen	14
331. Yleistä	14
332. Kivennäismaa kulkualustana	14
333. Turvemaata kulkualustana	15
334. Lumi kulkualustana	15
4. LUMEN VAIKUTUS KESKIKOKOISEN KUORMATRAKTORIN LIKKUVUUTEEN	17
41. Tutkimusmenetelmä ja -olot	17
42. Tutkitun kuormatruktorin liikkuvuus lumessa	18
43. Tulosten tarkastelu	19
5. HARVENNUSPUUN METSÄKULJETUKSEEN SOVELTUVIEN TRAKTOREIDEN LIIKKUVUUS LUMESSA	20
51. Tutkimukseen osallistuneet koneet	20
52. Tutkimusolot	22
53. Tutkimusmenetelmä	24
54. Tutkimustulokset	25
541. Ajonopeudet	25
542. Ajanmenekki kuljetussuoriteyksikköä kohti	27
55. Tulosten tarkastelu	28
6. HARVENNUSPUUN METSÄKULJETUKSEEN SOVELTUVIEN TRAKTOREIDEN RAITEENMUODOSTUS JA LIIKKUVUUS HEIKOSTI KANTAVALLA MAALLA	31
61. Tutkimukseen osallistuneet koneet	31
62. Tutkimusolot ja -menetelmä	32
621. Tutkimuspaikat	32
622. Tutkimuspaikkojen kantavuusolot	32
623. Käytetty ajotekniikka	35
63. Tutkimustulokset	36
631. Raiteenmuodostus turvepellolla	36
632. Raiteenmuodostus rämeellä	38
64. Tulosten tarkastelu	39
7. KONEIDEN SOVELTUVUUS ERILAISIIIN KÄYTTÖOLOIHIN	40
8. YHTEENVETO	41
KIRJALLISUUS - REFERENCES	42
SUMMARY	43

1. JOHDANTO

Harvennushakkuut ovat yksi metsätalouksemme ongelma-alueista. Koneellistaminen on vaikeaa harvennusemetsissä, joissa jäävä puusto ja maaperä asettavat rajoituksensa käytettäville koneille. Osasyynä metsänhoidollista tarvetta vähäisempiin harvennusemääriin on metsänomistajien pelko huonosta korjuujärjestä.

Viime vuosina metsäkonepolitiikassa on tapahtunut suunnanmuutos. Kevyemmän kaluston tarve harvennuksiin on tiedostettu sekä metsäkoneiden valmistajien että puunkorjaajien piirissä. Uusien materiaalien ja paremman suunnittelun avulla on yleisimmän kuormatraktorityypin, keskikokoisen kuormatraktorin, omapainoa kyetty alentamaan kantavuuden ja tehokkuuden kärsimättä. Maastoystävällisyyttä ovat lisänneet myös leveiden pallorenkaiden käyttöönotto sekä eräät muut tekniset ratkaisut. Markkinoille on tullut myös pienempiä kuormatraktoreita sekä tela-alustaisia koneita, joiden kehittäminen on jouduttanut turvemaiden ojitusalueiden tulo harvennusikään. Perinteisellä pyörätraktorikalustolla ojitusalueiden puunkorjuu on vaikeaa ja säiden armoilla.

Viime vuosina metsänomistajat ovat aktiivisesti hankkineet maataloustraktorin metsävarusteita. Tähän on osaltaan vaikuttanut metsäkäyttöön takavetoisia paremmin soveltuvien nelivetoisten maataloustraktoreiden määrän nopea lisääntyminen maatiiloilla.

Puun korjuu on ympärivuotista toimintaa. Puun tasainen virta metsästä on teollisuudelle tärkeää. Koneiden on pystyttävä toimimaan sekä talvella vaikeissa lumioloissa että kesällä huonosti kantavilla mailla.

Perustiedon lisäämiseksi ja eri koneenkoluokkien suhteiden ja erilaisten teknisten ratkaisujen vaikutuksen selvittämiseksi tehtiin vuonna 1984 koneiden maastokelpoisuutta selvittävä kolmiosainen koesarja. Tutkimuskohteina olivat kyky kulkea lumessa, raiteenmuodostus ja liikkuvuus huonosti kantavalla maalla. Ensimmäisessä osatutkimuksessa seurattiin läpi talven 1983-1984 Volvo BM Valmet 862 -kuormatraktorin liikumista lumessa normaalissa leimikkotyökentelyssä Rovaniemen hoitoalueen eteläosan leimikoilla. Helmi-maaliskuun vaihteessa 1984 järjestettiin tutkimuksen toisena osa-

na Rovajärvellä vertaileva koe, jossa selvitetiin 15 koneen lumessakulkuominaisuuksia. Kolmannessa osakoikkeessa, joka järjestettiin Metsähallinnon Iin hallintoalueessa elo-syyskuussa 1984, selvitettiin koneiden raiteenmuodostusta ja liikkuvuutta huonosti kantavalla maalla. Mukana olivat pääosin samat koneet kuin Rovajärven kokeessa.

Kokeet järjestettiin Metsäntutkimuslaitoksen, Metsähallituksen kehittämisjaoston ja Veitsiluoto Oy:n metsäosaston yhteistyönä. Metsäntutkimuslaitos ja Metsähallituksen kehittämisjaosto huolehtivat tutkimusjärjestelyistä. Kauko Parviainen Veitsiluoto Oy:stä edusti puunkorjuun ammattimiehen näkemystä kokeen suunnittelussa. Metsäntutkimuslaitoksen osalta koesarja liittyy yhteispohjoismaiseen NSR-projektiin 'Gallingsteknik i klen skog'.

Tutkimuksen toteuttaminen olisi ollut mahdotonta ilman pohjoismaisten metsäkoneenvalmistajien aktiivista mukanaoloa. Heidän edustajinaan mukana olivat erityisesti Pertti Huusko Kockums Industri Oy:stä, Stefan Björkman Konetehdas Norcar Oy:stä, Kauko Papunen ja Seppo Taatila Lokomo Forest Oy:stä, Kyösti Pitkänen Normet Oy:stä, Einari Vidgren ja Jouko Kelppe Ponsse Oy:stä, Timo Hietala Rovaniemen Konepaja Oy:stä, Sauli Meriläinen Suokone Oy:stä sekä Markku Luoma-aho ja Kauko Savolainen Valmet Oy:stä.

Aineiston keruuseen osallistui runsaasti henkilökuntaa sekä Metsäntutkimuslaitoksesta että Metsähallituksen kehittämisjaostosta. Metsäntutkimuslaitoksesta tutkimuksen eri vaiheisiin osallistuivat Olli Eeronheimo, Timo Heikka, Kari Kautto, Antti Maukonen, Erkki Oksanen ja Leo Tervo. Metsähallituksen kehittämisjaostosta olivat mukana erityisesti Lasse Halme, Teuvo Kumpare, Kalevi Moilanen ja Antti Mustonen.

Arto Rummukainen Helsingin yliopistosta johti olosuhteiden mittausta Iin kokeessa ja laski maaperän kantavuustiedot. Hän osallistui myös luvun 622 laatimiseen tältä osin.

Kirjoittajat suunnittelivat ja johtivat kenttätöitä yhteistyössä. Tulosten laskennasta vastasivat Matti Sirén ja Jari Ala-Ilomäki Metsäntutkimuslaitoksesta. Alustavan käsikirjoituksen laativat yhteistyössä Matti Sirén ja Jari Ala-Ilomäki, ja sen viimeistelystä oli mukana myös Tore Högnäs. Käsikirjoituksen teoreettisen tarkastelun ja lumessakulkua koskevan osan pohjana on Jari Ala-Ilomäen (1986) pro-gradu -työ "Harvennushakkuisiin soveltuvan maastokuljetuskaluston liikkuvuus lumessa".

Tutkimuksen kuvat piirsi Leena Muronranta. Konekirjoituksesta vastasivat Maija Tuuri ja Heidi Koskinen. Aineiston atk-käsittelyn suoritti Hannu Aaltio. Englannin kielen tarkisti Elva Nurmi. Professori Riikko Haarlaa, professori Pentti Hakila ja tutkimusaseman johtaja Pertti Harstela tarkistivat käsikirjoituksen.

Tutkimuksen toteuttamisessa oli korvaamattomana apuna työhön osallistuneiden innostus ja kiinnostus aiheeseen. Kirjoittajat lausuvat parhaat kiitoksensa kaikille, jotka ovat olleet mukana tutkimuksen toteuttamisessa.

2. SUOMEN METSÄMAASTO PUUNKORJUUN KANNALTA

Maaston vaikutusta metsäkuljetukseen voidaan lähestyä tarkastelemalla kuljetusmaksun perustana olevaa taksaa (Puutavaran... 1984). Yksi sen tärkeimmistä tekijöistä on maastoluokka. Maastoluokka määräytyy kantavuuden, pintamaaston ja kaltevuuden perusteella, ja se ryhmitellään neljään luokkaan: helppo (1), keskinkertainen (2), vaikea (3) ja erittäin vaikea (4). Lisäksi maastoloista otetaan huomioon lumi, joka vaikuttaa taksaan lumen syvyyden ylittäessä 60 cm.

Suomen metsämaasto on varsin vaihteleva. Valtaosa leimikoista sijaitsee nykyaikaisen kuormatrazektorin suorituskykyyn nähden helpohkoissa maastoissa. Maaston keskimääräistä vaikeutta kuvaa esimerkiksi Metsähallituksen PMP-leimikoiden metsäkuljetuksen maastovaikeus, joka oli vuosina 1975-1984 keskimäärin 1,4. Perä-Pohjolan piirikunnassa maastoluokka oli keskimäärin 1,2, Pohjanmaalla 1,2 ja Etelä-Suomessa 1,7 (Pohjola 1985).

Metsäteho kokoa vastaavasti vuosittain tiedot metsäteollisuusyritysten korjaamien PMP-leimikoiden työoloista. Vuonna 1984 koko maassa 77 % leimikoista kuului metsäkuljetuksen maastoluokkaan 1, 20 % luokkaan 2 ja 3 % luokkaan 3. Myös tämän tilaston mukaan Pohjois-Suomen leimikot olivat maastoluokaltaan hieman helpompia kuin Etelä-Suomen leimikot (Peltonen 1985). On huomattava, että esimerkiksi hyvin huonosti kantava suo saattaa olla maastoluokaltaan helppo, jos se korjataan maan ollessa rouhdassa. Kuitenkin huono kantavuus asettaa tällaisissa tapauksissa vaatimuksia korjuun suunnittelulle, ja korjuussa ollaan sääoloista riippuvaisia.

Maastoluokkaan vaikuttavista tekijöistä pintamaasto ja kaltevuus ovat valtakunnallisesti vähemmän tärkeitä, vaikkakin tietyillä alueilla niidenkin merkitys on varsin suuri. Haarlaa (1971b) selvitti metsämaaston vaikeuden alueittaista vaihtelua. Erityisesti Savossa todettiin olevan runsaasti jyrkkiä maastoja. Runsa kivisyys haittaa paikallisesti etenkin meren rannikolla.

Varsinainen ongelma puunkorjuuta ajatellen on maaperän huono kantavuus. Ongelma on erityisen suuri turvemaidella, mutta korjuuvaurioriski ja raiteenmuodostus ovat ongel-

mana myös huonosti kantavilla kivennäismaidella. Kuusikot, joiden pinnanmyötäinen juuristo vaurioituu helposti, kasvavat usein huonosti kantavilla mailla.

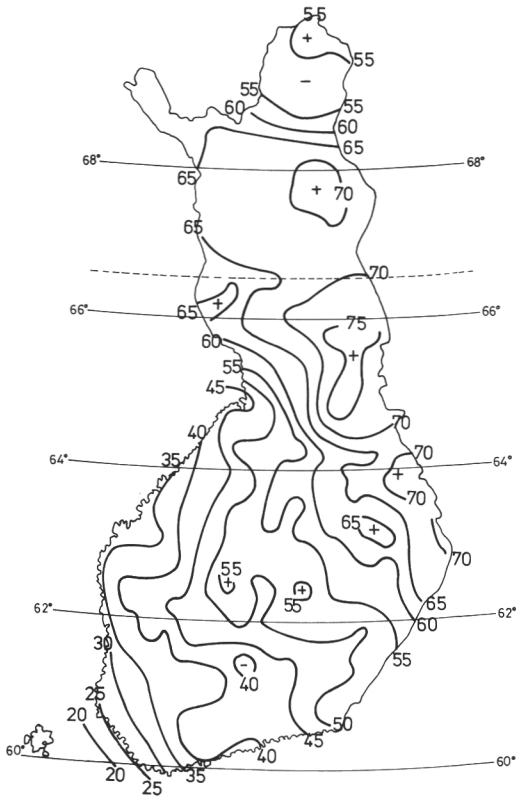
Saarilahden (1982b) turpeen leikkauslujuuteen perustuvien laskelmien mukaan normaaliavarusteisilla keskikokoisilla kuormatrazektoreilla ei voida kesäaikana vaikeuksitta korjata puuta turvemailta. Vuonna 1978 tapahtui kutakin turvemaalta korjattua 2 400 m³ puutavaraerää kohti yksi kiinnijuuttuminen, johon tarvittiin ulkopuolista apua (Saarilahti 1981).

Metsätaloudessa soiksi ja turvemaiiksi määritellään kasvupaikat, joille on muodostunut turvetta tai joiden pintakasvillisuudesta yli 75 % on suokasvillisuutta (Kuusela ja Salminen 1983). Geologisesti soiksi määritellään suokasvien hitaan maatumisen seurauksena muodostuneet turvekerrostumat, joiden paksuus on yli 30 cm ja tuhkapitoisuus alle 10 % (Lappalainen ym. 1978). Metsätalouden maasta Suomessa turvemaita on kolmasosa (9,4 milj. ha). Tästä on ojitettu 4,1 milj. ha (44 %) (Metsätalostollinen... 1984).

Metsänparannustoimenpiteet ovat lisänneet suometsien puuntuotannollista merkitystä. Heikuraisen (1961) mukaan turvemaiden vuotuiset hakkuumahdollisuudet olivat ilman ojitusta noin 5,0 milj. m³, mutta ojituksen ansiosta 1980-luvulla 7,5 milj. m³ ja vuosituhannen vaihteessa jo 14,0 milj. m³.

Toisaalta ojitus kuitenkin vaikeuttaa turvemaiden puunkorjuuta. Ojat haittaavat sekä hakkuuta että kuljetusta. Roudan syvyydessä ei Päiväsen (1973) eikä Hanneliuksen (1975) mukaan ole systemaattista eroa ojitetuilla ja luonnontilaisilla soilla, kun taas Willisin ym. (1961) ja Heikuraisen (1980) mukaan routa ilmeisesti ulottuu ojitetuilla turvemaidella syvemmälle. Koska jäätyneen kuivan turpeen mekaaninen lujuus on kuitenkin märkää alhaisempi (Hakkarainen 1949, Macfarlane 1968), ojitetun turvemaan kantavuus on luonnontilaisista alhaisempi. Näin suometsien korjuu on etenkin Etelä-Suomessa säiden armoilla.

Puiden juuristo on turvemaidella erittäin pinnallinen. Esimerkiksi isovarpuisilla rämeillä 71 % juurista on todettu olevan 0-5 cm:n syvyydessä ja 93 % 0-10 cm:n syvyydes-



Kuva 1. Lumen syvyys (cm) maaliskuun 15. päivänä vuosien 1921—1960 keskiarvona (Kolkki 1969).
 Fig. 1. Snow depth on the 15th of March as an average 1921—1960 (Kolkki 1969).

sä. Kuivatuksen vaikutuksesta juuristo syvenee vähän (Heikurainen 1955). Pinnanmyötäinen juuristo on vaurioaltis ja asettaa omat vaatimuksensa korjuujäljelle.

Lumi on tärkeä korjuuseen vaikuttava tekijä. Vähäinenkin lumipeite tasoittaa maaston epätasaisuuksia ja helpottaa koneiden liikkumista. Paksu lumi sen sijaan vaikeuttaa koneiden liikkumista ja saattaa estää niiden käytön kokonaan.

Etelä-Suomessa lumiolot ovat oleellisesti helpommat kuin Kainuussa ja Pohjois-Suomessa (kuva 1). Vaikeimmillaan ne ovat helmi-, maalisi- ja huhtikuussa. Esimerkiksi Sodankylässä keskimääräinen lumen syvyys on helmi-huhtikuussa 60-70 cm (Kolkki 1969). Myös Etelä-Suomessa saattavat lumiolot olla vaikeat, mistä esimerkkinä oli talvi 1983-1984.

Maamme puunkorjuuolot asettavat puunkorjuussa käytettävälle kalustolle ja korjuun suunnittelulle suuria vaatimuksia. Vaikeat olosuhteet ovat myös haasteena koneenrakentajille, ja osittain olosuhteiden takia pohjoismaiset puunkorjuukoneet ovat pitkälle kehitettyjä.

3. AJONEUVON LIIKKUVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

31. Liikkuvuuden teoriaa

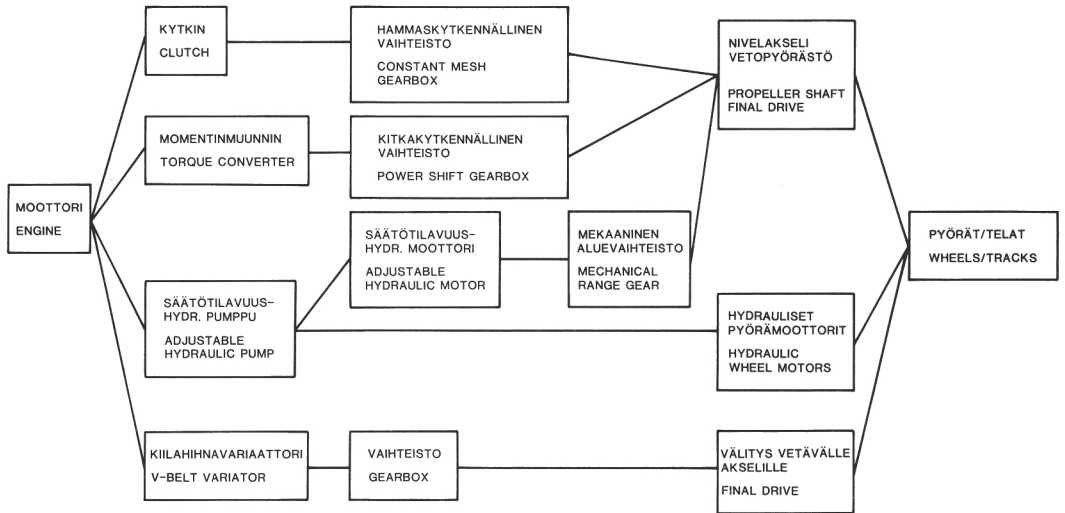
311. Yleistä

Kun ajoneuvo liikkuu maastossa, tasapaino renkaiden tai telojen välittämän vetovoiman ja liikettä vastustavien voimien välillä järkkyy. Nämä voimat vaikuttavat ilmanvastusta, rinnevastusta ja liukumisvastusta lukuun ottamatta renkaan tai telan ja kulkualustan kosketusalueella. Ajoneuvolla on edellytykset liikkua, mikäli liikkeen suuntainen voima ylittää liikettä vastustavan voiman.

Voimien välinen suhde muuttuu jatkuvasti ajotilanteen ja ajoneuvon kuormituksen mukaan. Ajoneuvon massasta aiheutuva kuor-

mittava voima kohdistuu pyörien ja telojen välityksellä kulkualustaan, johon muodostuu painevyöhyke. Paine alenee vyöhykkeessä kontaktipinnasta syvemmälle kulkualustaan siirryttäessä. Mikäli kuormitus ylittää kulkualustan mekaanisen lujuuden, tapahtuu painevyöhykkeessä kokoonpuristumista, kunnes kulkualustan uppoamista vastustava kuormituksen vastavoima on kuormittavan voiman suuruinen.

Edellä mainitun pystysuoran kuormituksen lisäksi ajoneuvo kuormittaa kulkualustaa myös vaakasuorassa suunnassa pyörien ja telojen kohdistuessa siihen ajoneuvoa liikuttavan voiman. Voiman kohdistamiseksi on pyörien ja telojen saatava ote kulkualustasta,



Kuva 2. Metsäkoneissa käytettyjä voimansiirtojärjestelmiä.
 Fig. 2. Transmission systems used in forest machines.

minkä vuoksi ne on varustettu kulkualustaan tunkeutuvilla ulokkeilla. Pyörien ja telojen tartunta perustuu siten kitkavoiman lisäksi kulkualustan leikkauslujuuteen. Ajoneuvon liikkuvuuteen liittyvät ongelmat voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Ajoneuvon on täytettävä maastoliikkuvuuden teho-vaatimukset. Tämä korostaa moottorin tehoa ja voimansiirtokomponenttien vaikutusta.
2. Ajoneuvon renkaiden ja telojen otteen kulkualustasta on oltava riittävä, jotta teho voidaan käyttää hyväksi. Tämä korostaa pyörä- ja telavarustuksen sekä myös voimansiirtojärjestelmän merkitystä.
3. Kulkuvastuksen on pysyttävä mahdollisimman alhaisena, jotta se olisi aina käytettävissä olevaa veto-voimaa pienempi. Tällöin ratkaiseviksi tekijöiksi muodostuvat ajoneuvon massa sekä pyörä- ja telavarustus.

312. Vetovoima

Liikkuakseen ajoneuvon täytyy pystyä kohdistamaan kulkualustaan vetovoima. Sen suuruus riippuu pyöriin ja teloihin moottorista voimansiirtolaitteiden välityksellä siirrettävästä tehosta sekä pyörien tai telojen ja kulkualustan välisestä kitkasta. Etenkin hyvään lumessakulkukykyyn pyrittäessä suuri vetovoima on tärkeimpiä puutavaran maastokuljetukseen käytettävän ajoneuvon ominaisuuksia.

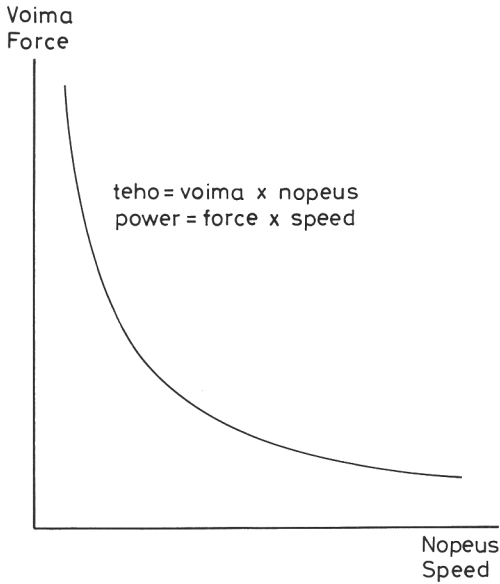
Ensimmäisenä vetovoiman suuruuteen vaikuttavana tekijänä voimansiirtojärjestelmässä on moottorin vääntömomentti, jonka

huippuarvon suuruus riippuu käytännössä lähinnä moottorin iskuilavuudesta sekä toimintaperiaatteesta. Vääntömomentti voidaan johtaa pyöriin esimerkiksi kuvan 2 osoittamalla tavalla.

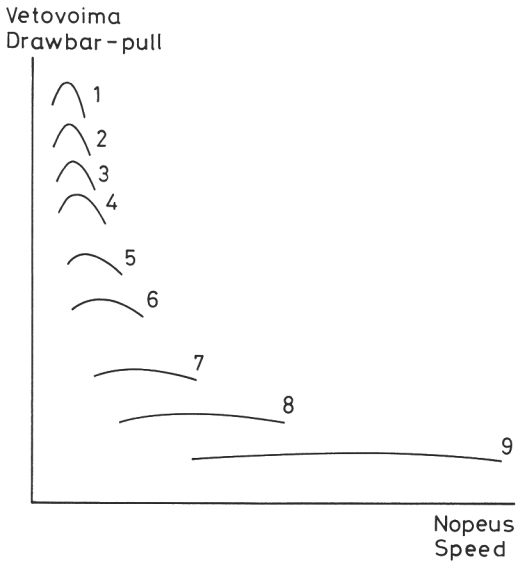
Eri voimansiirtojärjestelmistä on hydrodynaamisin mekaaninen kuormatraktoreissa eniten käytetty, mutta myös hydrostaattis-mekaanista, täyshydrostaattista sekä mekaanista järjestelmää käytetään. Maataloustraktoriperustaisissa koneissa voimansiirto on yleensä mekaaninen. Telamaastureiden voimansiirto on yleensä hydrostaattinen, mutta variaattorivoimansiirtoakin käytetään.

Nopeuden ja voiman välinen riippuvuus on kuvan 3 mukainen. Moottorin teho on nopeuden ja voiman tulo, joten se voidaan siis käyttää joko suuren vetovoiman tai suuren nopeuden tuottamiseen. Voimansiirron tyypistä ja hyötysuhteesta (ρ) riippuu, kuinka suuri osa vetovoimasta saadaan käytettävällä nopeudella välitetyksi pyöriin. Pyörien kehävoimaa kutsutaan teoreettiseksi vetovoimaksi. Liikkuvuuden kannalta on sitä parempi, mitä tarkemmin teoreettisen vetovoiman kuvaaja seuraa moottorin tehon kuvaajaa, kuten jäljempänä esitettävistä kuvista havaitaan.

Mekaanisessa voimansiirrosta välityssuhteet eri vaihteilla ovat kiinteät. Näin ollen tarvitaan useita välityssuhteita, jotta toisaalta saataisiin vaikeissa olosuhteissa riittävän suuri vetovoima kuormattuna liikkumista varten ja toisaalta suuri nopeus esimerkiksi

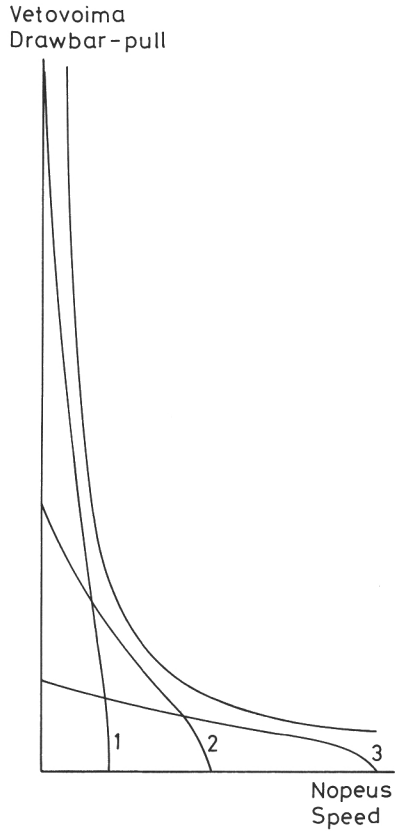


Kuva 3. Voiman ja nopeuden välinen riippuvuus.
Fig. 3. The interdependence between force and speed.



Kuva 4. Mekaanisen voimansiirron vetovoimakäyrät eri vaihteilla.
Fig. 4. Drawbar pull curves of a mechanic transmission on different gears.

siirtoajoa varten (kuva 4). Eri vaihteiden vetovoimakäyrät ovat muodoltaan moottorin vääntömomenttikäyrän kaltaisia. Vaihteiden lukumäärästä ja porrastuksen tiheydestä riippuu, miten lähelle moottorin tehokuvaajaa päästään eri nopeuksilla. Kulkuvastuksen ollessa suuri voi ajo muodostua työlääksi, sillä



Kuva 5. Momentinmuuntimella varustetun voimansiirron vetovoimakäyrät eri vaihteilla.
Fig. 5. Drawbar pull curves of a hydrodynamic transmission with torque converter on different gears.

välityssuhdetta voidaan joutua muuttamaan jatkuvasti vetovoiman tarpeen tai nopeuden muuttuessa. Mekaanisen voimansiirron etuna on korkea hyötysuhde.

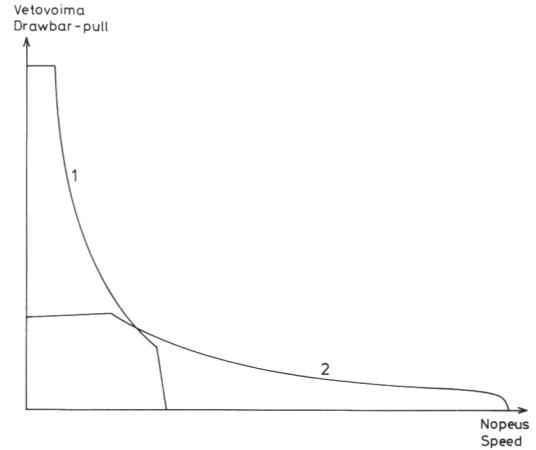
Hydrodynaamisessa voimansiirrossa moottorin vääntömomentti johdetaan momentinmuuntimeen, jonka avulla vääntömomentti voidaan nostaa 2—3 -kertaiseksi, kun muuntimen pumppupyörän ja turbiinipyörän pyörimisnopeuksien ero on suuri. Momentinmuuntimen rakenteesta riippuen voi muuntosuhde olla viisinkertainenkin. Näiden seikkojen ansiosta muuntimella voidaan korvata normaalisti 2—3 vaihdetta. Yleensä muuntimen jälkeen on voimansiirtoketjussa 2—3 -nopeuksinen powershift-vaihteisto, 2-portainen aluevaihteisto ja edelleen mekaanista voimansiirtoa vastaavat komponentit. Kuvasta 5 nähdään, kuinka momentinmuuntimen ansiosta vähäisellä vaihteiden määrällä voidaan hyvin seurata moottorin tehokäyrää.

Koska momentinmuuntimessa nesteen liike-energia välittää voiman, on voimansiirto joustavaa, eikä liikkeellelähdössä tarvita kitkakäytintä. Lisäksi kulkuvastuksen noustessa muuntimen toimintaperiaatteesta johtuva vääntömomentin nousu pyrkii kompensoimaan ajonopeuden alenemista. Koska momentinmuuntimessa voimansiirron perustuessa nesteen liike-energiaan tapahtuu aina luistoa, on hydrodynaamisen voimansiirron hyötysuhde mekaanista huonompi. Hyvään hyötysuhteeseen pyrittäessä on tärkeää, että momentinmuunnin on ominaisuuksiltaan moottoriin sopiva.

Hydrostaattisessa voimansiirrosta nesteen tilavuusvirta välittää voiman moottorista pyöriin. Järjestelmässä moottori käyttää iskutilavuudeltaan säädettävää aksiaalimäntähydraulipumppua. Täyhydrostaattisessa järjestelmässä nestevirta johdetaan pyörämoottoreihin. Hydrostaattis-mekaanisessa järjestelmässä hydraulipumpun tuotto johdetaan hydraulimoottorille, jolta voima välitetään mekaanisesti pyöriin. Nopeusaluejärjestelyt tapahtuvat vastaavasti kytkemällä eri määrä pyörämoottoreita toimintaan tai mekaanisen aluevaihteiston avulla. Periaatteessa hydrostaattisessa voimansiirrosta saavutetaan tuotoltaan säädettävän pumpun ansiosta hyvin suuri vetovoima. Rakenteellisista syistä täytyy järjestelmän paine kuitenkin rajoittaa varoventtiilillä tiettyyn maksimiarvoon, joten vetovoimakäyrän huippu on tasainen. Vastaavasti pumpun suurin tuotto rajoittaa suurinta nopeutta. Näiden ääriarvojen välillä vetovoimakäyrä seuraa hyvin ideaalista moottorin tehokäyrää (kuva 6).

Hydrostaattisen järjestelmän suurimpana etuna pidetään hyvää jarrutuskykyä; yhteys moottorin ja pyörien välillä on periaatteessa kiinteä, joten moottorijarrutus on mahdollinen. Lisäksi pumpun tuotto voidaan säätää nollaan, jolloin moottorien toimiessa pumpuina paine ja jarruttava voima kasvavat, kunnes varoventtiili aukeaa. Hydrostaattisen voimansiirron hyötysuhde on yleensä hydrodynaamista alhaisempi johtuen vuoto-, kitka- sekä virtaushäviöistä. Järjestelmän toiminta saattaa häiriytyä pakkasessa.

Maastoliikkuvuutta ajatellen on hydrodynaamista ja hydrostaattista järjestelmää pidettävä mekaanista parempana, sillä niillä saavutetaan moottoritehon asettamien rajoitusten puitteissa suuri vetovoima tasaisesti laajalla nopeusalueella, ts. vetovoimakäyrä seuraa hyvin moottorin tehokäyrää. Hydro-



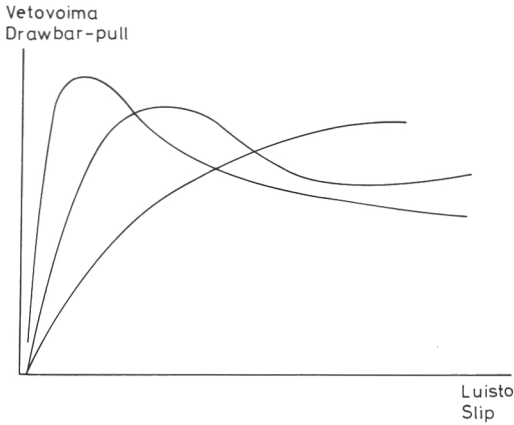
Kuva 6. Hydrostaattisen voimansiirron vetovoimakäyrät eri vaihteilla.

Fig. 6. Drawbar pull curves of a hydrostatic transmission on different gears.

dynaamisen järjestelmän etuna hydrostaattiseen nähden on tietyllä moottoriteholla korkeampi vetovoiman maksimiarvo, jota tosin ei voida hyödyntää yhtäjaksoisesti kovin pitkään momentinmuuntimen ylikuumentumisen johdosta. Hydrostaattisessa voimansiirrosta saattaa paineenrajoitusventtiilin aukeamisen tai hydraulioiljyn lämpenemisestä johtuvan ohenemisen seurauksena muodostua tilanne, jossa voimansiirto ei pumpun täydestä tuotosta huolimatta toimi. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi vetovoimatarpeen äkillisesti kasvaessa, mikäli esimerkiksi joudutaan pysähtymään lumi- ja kaltevuusoloiltaan vaikeaan paikkaan. Sekä hydrodynaamisen että hydrostaattisen järjestelmän etuna mekaaniseen verrattuna on voiman tasainen lisäämisen mahdollisuus esimerkiksi liikkeellelähtötilanteessa.

Ajoneuvon renkaiden tai telojen tartunnan eli niiden ja kulkualustan välisen kitkavoiman suuruudesta riippuu, kuinka suuri osa teoreettisesta vetovoimasta voidaan kovalla kulkualustalla käyttää hyväksi. Saavutettava vetovoima on korkeintaan kitkavoiman $F\mu$ suuruinen. $F\mu$ voidaan laskea kitkakertoimen μ ja kosketuspintaa vastaan kohtisuoran voiman N tulona. Hyväksi käytettävän vetovoiman yläraja riippuu maasto-oloissa viime kädessä kosketuspinnalle vaikuttavasta paineesta, joka määrää renkaan tai telan pinnan rakenneosien tunkeuman kulkualustaan.

Renkaan tai telan tartunta vallitsevissa maasto-oloissa aiheutuu kahdesta kosketus-



Kuva 7. Vetovoiman riippuvuus luistosta erilaisilla renkailla (Blaisdell 1985).

Fig. 7. Typical traction curves for various tires (Blaisdell 1985).

pinnalla vaikuttavasta prosessista. Ensinnäkin renkaan tai telan ja kulkualustan välillä vaikuttaa adheesivoimia. Näihin kuuluvat sekä molekulaariset vetovoimat kahden kapaleen välillä että mekaaninen lukkiutuminen renkaan ja telan sekä kulkualustan pienten epätasaisuuksien välillä (Browne 1974). Pääosa tartunnasta muodostuu kuitenkin renkaan pintakuvion ja telan ripojen tunkeutuessa kulkualustaan. Tartunta perustuu tällöin kulkualustan leikkauslujuuteen.

Renkaan tai telan kontaktipinnalla vaikuttavat voimat voidaan jakaa kolmeen komponenttiin (Blaisdell 1985). Pystysuuntainen voima johtuu pyörään akselin välityksellä ja on maaston epätasaisuuksien aiheuttamaa vaihtelua lukuun ottamatta vakio. Kontaktipinnan suuntaisina vaikuttavat pituussuuntainen ja sivusuuntainen voima, jotka ovat toisaalta ajoneuvon liikkeen ja renkaiden sekä telojen suorittaman työn ja toisaalta kulkualustan ominaisuuksien välisen monimutkaisen vuorovaikutuksen tuloksia. Näiden kontaktipinnan suuntaisina vaikuttavien voimien resultantti on renkaan tai telan vetovoima tietyllä hetkellä. Mikäli sivusuuntainen voima vaikuttaa, ei resultantti ole renkaan pituusakselin suuntainen. Mikäli sivusuuntaista voimakomponenttia ei ole, ei ajoneuvoa voida ohjata eikä sillä voida liikkua sivukaltevuuksissa. Tällöin ei maastossa liikkuvan ajoneuvon renkaiden tai telojen pituussuuntaista voimakomponenttiakaan voida käyttää hyväksi. Kun kontaktipinnalla tiettyyn suuntaan vaikuttava voima on suu-

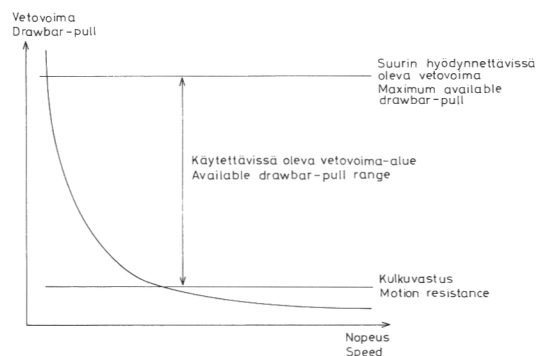
rempi kuin tartunta ko. suunnassa, toimii rengas tai tela luistossa. Saavutettava vetovoima on tällöin suurempi verrattuna toimintaan ilman luistoa, sillä kulkualustassa tapahtuvat muodonmuutokset kuluttavat energiaa. Vetovoiman riippuvuutta luistosta erilaisilla renkailla on esitetty kuvassa 7.

313. Kulkuvastus

Ajoneuvon liikkuvuuteen vaikuttaa teoreettisen vetovoiman sekä suurimman hyödynnettävissä olevan vetovoiman lisäksi kulkuvastus, joka aiheuttaa suunnaltaan vetovoimalle vastakkaisen voiman. Hyödynnettävissä olevan vetovoiman ja kulkuvastuksen erotusta voidaan nimittää käytettävissä olevaksi vetovoimaksi tai vetovoima-alueeksi (kuva 8). Samallakin ajoneuvolla hyödynnettävissä olevan vetovoiman ja kulkuvastuksen suuruus voi vaihdella olosuhteiden mukaan muuttaen näin käytettävissä olevaa vetovoima-alueetta. Kulkuvastuksen ylittäessä suurimman vetovoiman on seurauksena kiinni-juuttuminen. Ajoneuvon kokonaiskulkuvastus muodostuu viidestä osavastuksesta:

1. vierintävastus
2. liukumisvastus
3. kaltevuuden aiheuttama vastus
4. ilmanvastus
5. kiihdytysvastus

Näistä osavastuksista ilmanvastus ja kiihdytysvastus eivät käytännössä muodosta esitettyä ajoneuvon liikkuvuudelle maastossa, vaan liikkuvuutta rajoittavat pääasiassa vierintävastus, liukumisvastus ja kaltevuuden aiheuttama vastus.



Kuva 8. Käytettävissä olevan vetovoima-alueen muodostuminen.

Fig. 8. Formation of available drawbar pull range.

Vierintävastus maasto-oloissa on seurausta pääasiassa pyörän tai telan uppoamisesta. Myös muut tekijät, kuten renkaan muodonmuutos sekä erilaiset kitkatekijät, aiheuttavat vierintävastusta. Telojen aiheuttama kulkuvastus johtuu sisäisen kitkan lisäksi niiden kulkualustan pintaa leikkaavasta vaikutuksesta. Telalapun kuperuudesta ja profiilista johtuen telan sivuketjun ja telalapun uloimman pinnan etäisyys pyörän navasta ja siten myös niiden kehänopeudet poikkeavat toisistaan. Telipyörien välissä telan nopeus on sama kuin sivuketjun nopeus. Ollessaan kosketuksessa kulkualustan kanssa kuperat telalaput siten aina kohdistavat siihen leikkaavan voiman.

Kulkualustan aiheuttama vierintävastus maastossa voidaan määrittellä ajoneuvon maastossa liikkumiseen sekä vastaavasti kokoonpuristumattomalla pinnalla liikkumiseen tarvittavien voimien erotukseksi. Ajoneuvo kuluttaa energiaa kulkualustan kokoonpuristamiseen painevyöhykkeessä, kunnes kulkualustan lujuus on riittävä vastaanottamaan ajoneuvon aiheuttaman pystysuoran kuormituksen sekä vetovoiman. Puristumista tapahtuu painevyöhykkeessä myös ajosuunnassa sekä sivusuunnassa. Puristumisprosessissa ajoneuvon pyörä tai tela pyrkii nousemaan kulkualustan pinnalle, ja puristumista vastustavien voimien vaakasuorien komponenttien summa muodostaa puristamisesta aiheutuvan kulkuvastuksen. Kulkuvastuksen suuruus riippuu näin ollen pyörän tai telan leveydestä, uppoaman suuruudesta sekä kulkualustan puristuslujuudesta. Upoaman suuruuteen vaikuttavat renkaan tai telan kulkualustaan kohdistama voima sekä pintapaine.

Myös liukumisvastus on tyypillinen kulkuvastuksen osatekijä maastossa. Se voidaan laskea kuormittavan normaalivoiman ja kitkakertoimen tulona:

$$F_{\mu_L} = \mu_L \cdot N, \quad (1)$$

missä F_{μ_L} = kitkavoima
 μ_L = liukukitkan kitkakerroin
 N = normaalivoima

Liukumisvastuksen vaikutus tulee selvemmin esille, kun ajoneuvon uppoama on suurempi kuin maavara. Tällöin ajoneuvon alustarakenteiden ja kulkualustan välillä syntyy liukukitkan vaikutuksesta liikettä vastustava voima. Lisäksi pyörien ja telojen kuormitus alenee massan kuormittaessa kulkualustaa osittain suoraan alustarakenteiden välityksel-

lä, minkä johdosta vetovoima alenee.

Kaltevuuden aiheuttama vastus voidaan laskea ajoneuvon massan ja rinteeseen kaltevuuden perusteella. Rinteessä ajoneuvon massavektori jaetaan maanpintaa vasten kohtisuoraan ja maanpinnan suuntaiseen komponenttiin, joista viimeksi mainittu on kaltevuuden aiheuttama kulkuvastus. Koska kohtisuoraan maanpintaa vasten kohdistuva voima on pienempi kuin vaakasuoralla pinnalla, myös suurin hyödynnettävissä oleva vetovoima pienenee, mikä tulee ottaa huomioon ajoneuvon liikkuvuutta tarkasteltaessa.

32. Ajoneuvon rakenteen vaikutus liikkuvuuteen

Ajoneuvon rakenteella on erittäin suuri vaikutus liikkuvuuteen. Lisäksi on usein niin, että suuren vetovoiman tuottavat ratkaisut eivät ole parhaita kulkuvastusta minimoitaessa. Kivennäismailla liikuttaessa pääpaino ajoneuvon suunnittelussa voidaan panna suurelle vetovoimalle, sillä kulkualustan kantavuus on yleensä hyvä. Lumessa ja turve- maalla kulkualustan kantavuus on rajoitettu, ja ajoneuvon on joko liikuttava pehmeän kerroksen päällä tai saatava ote pohjamaasta, jolloin huomiota on kiinnitettävä ajoneuvon massaan, pintapaineisiin sekä kulkuvastukseen.

Renkaan tai telan tartunta maasto-oloissa muodostuu pääosin niiden ulokkeiden tunkeutuessa kulkualustaan ja näin hyödyntäessä sen leikkauslujuutta. Vastaavasti vetovoima on sitä suurempi, mitä enemmän kulkualustaan tunkeutuvia ulokkeita on. Näin ollen suureen vetovoimaan pyrittäessä on tärkeää, että vetävien pyörien osuus pyörästöstä on suuri ja että jokaisen pyörän ja telan tartunta käytetään hyväksi. Yksittäisen pyörän tai telan vetovoimaa voidaan lisätä kontaktipintaa lisäämällä. Myös telan tartuntaa maksimoitaessa on kiinnitettävä huomiota tartuntaelementtien muotoon ja sijoitukseen. Renkaan kulutuspinnan toimintaa lumessa on tutkinut mm. Browne (1974). Koska kitkavoima on kitkakertoimen ja normaalivoiman tulo, normaalivoiman suuruus on ratkaiseva vetovoimamahdollisuuksia hyödyn-

nettäessä, mikäli kitkakerroin oletetaan renkaalle tai telalle tietyissä olosuhteissa ominaiseksi vakioksi.

Suureen vetovoimaan pyrittäessä tasainen painojakauma on eduksi, sillä tällöin etu- ja takapään vetovoimien summa on suurin mahdollinen. Vastaavanlainen tilanne vallitsee myös teliakselistossa, sillä telin vetovoima on suurin kuormituksen ollessa yhtä suuri sekä sen etu- että takapyörällä. Käytännön ajotilanteessa telin välittäessä voimaa etupyörä kuitenkin kevenee. Tämä on seurausta telin geometriasta sekä voimansiirrosta. Telin laakerointipisteen ja pyörännapojen välisen pystysuoran etäisyyden suhde vaikuttaa stabiliteettiin. Telikotelon voimansiirtoakselin vääntömomentti aiheuttaa voimansiirron välityssuhteen johdosta pyörässä suuremman momentin. Kuormituksen jakautuminen teli-pyörien välillä voidaan laskea telikotelon voima- ja momenttiyhdyksillä. Käytännössä etupyörällä on 12-46 % telin kuormituksesta, olosuhteista ja telin rakenteesta riippuen (Hallonborg 1983).

Myös tasauspyörästä lukkojen merkitys on tärkeä, sillä niiden avulla varmistetaan kunkin pyörän tartunnan hyväksikäyttö. Normaalityöiminen tasauspyörästä mahdollistaa saman akselin pyörien pyörimisen eri nopeuksilla. Eri pyörille välittyvä vääntömomentti on yhtä suuri, joten huonoimman tartunnan omaava pyörä määrää systeemin vetovoiman. Tasauspyörästä lukolla voidaan voimansiirtoakselit osittain tai kokonaan lukita toisiinsa, jolloin niille välittyvä vääntömomentti on suhteessa pyörien tartuntaan. Tämä on tärkeää liikuttaessa maastossa, sillä pyörien tartunta saattaa vaihdella suuresti. Lukolla varustetut tasauspyörästä ovat tyypiltään periaatteessa kahdenlaisia: lukitus voidaan kytkeä päälle tarvittaessa tai se voidaan vapauttaa tarvittaessa. Tyypistä riippumatta on tärkeää, että kytkeminen päälle ja pois voi tapahtua ajotilanteesta riippumatta, mieluiten automaattisesti. Automaattisen lukituksen avulla voidaan keskeyttämättä käyttää hyväksi suurin mahdollinen vetovoima.

Kun edellytykset pyörien ja telojen hyväälle tartunnalle on luotu, on suuren vetovoiman saavuttamiseksi huolehdittava teoreettisen vetovoiman riittävydestä. Erityisesti ääritilanteissa on tärkeää, että ajoneuvossa on runsaasti tehoa, sillä suurin vetovoima saavutetaan yleensä pyörien tai telojen toimiessa luistossa. Näin ollen moottoritien on oltava

riittävän suuri ja voimansiirron sellainen, että mahdollisimman suuri osa tehosta saadaan kullakin nopeudella välitetyksi pyöriin.

Maastossa huomattava osa ajoneuvon kulkuvastuksesta aiheutuu kulkualustan kokoonpuristumisesta. Ajoneuvon renkaan tai telan uppoaman suuruus tietyllä kulkualustalla määräytyy kuormittavan voiman sekä pintapaineen perusteella, joten näillä tekijöillä on huomattava vaikutus kulkuvastukseen.

Pintapaineeseen vaikuttavat pyörän tai telan kulkualustaan kohdistama voima sekä kosketuspinnan ala, joten pintapainetta voidaan alentaa joko massaa vähentämällä tai pyörien tai telojen kosketuspintaa lisäämällä. Leveän renkaan kulkuvastus voi olla kapeaa pienempi, sillä sen uppoama on yleensä vähäisempi. Renkaan halkaisijan suurentaminen alentaa aina kulkuvastusta. Yleensä ilmoitettavat pintapainearvot eivät kuvaa kovinkaan hyvin pyörän tai telan alla vallitsevaa painetta. Lasketut pintapaineet ovat keskimääräisiä ja staattisia, joten niissä ei ole otettu huomioon todellista painejakaumaa kosketuspinnalla eikä ajotilanteen tai kaltevuuden vaikutusta.

Brownin (1979 ja 1981) mukaan tela-ajoneuvon lumen kokoonpuristamiseen tarvitsema teho lisääntyy voimakkaasti pintapaineen kasvaessa. Alhaisella pintapaineella saavutettava parempi liikkumisen tehokkuus korostuu suurilla nopeuksilla, sillä tietyn nopeuden jälkeen lumen puristamiseen kulutettu energia on miltei vakio, kun taas pintapaineen ollessa suuri puristamiseen kulutettu energia kasvaa jatkuvasti. Korkean pintapaineen seurauksena ajoneuvo uppoaa lumeen suurillakin nopeuksilla kuluttaen energiaa lumen puristamiseen, kun taas alhaisten pintapaineiden ansiosta ajoneuvo nousee lähemmäs lumikerroksen pintaa. Näin säästynyt teho voidaan käyttää nopeuden lisäämiseen, jolloin liikkumisen hyötysuhde edelleen paranee (Brown 1981).

Puristamisesta aiheutuvaa vierintävastusta minimoitaessa tulee ajoneuvon etupään olla takapäätä kevyempi, jolloin sen pintapaine ja kulkualustaan kohdistama voima ovat takapäätä pienemmät. Etuakselin maata kuormittavaa voimaa voidaan pienentää joko rakenteita keventämällä tai koneen massan pysyessä ennallaan, painojakaumaa muuttamalla. Ajoneuvon etupään ollessa takapäätä kevyempi se pyrkii nousemaan lähemmäs kulkualustan pintaa, jolloin kulkuvastus alenee. Samankaltainen vaikutus saavutetaan etute-

lastolla, jolloin tosin etupään massa yleensä kasvaa eikä kuormittava voima pienene, vaikka pintapaine aleneekin. Telin osalta kulkuvastus alenee, mikäli teli geometrian ja rakenteen johdosta keventää etummaista pyörää, joka näin pyrkii kulkemaan takapyörää ylempänä. Brownin (1981) mukaan telan pituus/leveys -suhde vaikuttaa lumen puristamiseen kuluvaan tehoon siten, että tehontarve pienenee pituus/leveys -suhteen arvon kasvaessa, ts. pitkät ja kapeat telat ovat lyhyitä ja leveitä tehokkaammat, kun kosketuspinnan ala pysyy samana.

Liukumisvastuksen suuruuteen vaikuttavia rakenteellisia seikkoja ovat maavara sekä ajoneuvon rakenteiden muotoilu. Maavaraa voidaan lisätä pyörien halkaisijaa suurentamalla sekä telien ja portaalivälityksen käytöllä. Ajoneuvon alustarakenteiden muotoilun tulisi olla sellainen, että lumi ei pakkautuisi ajoneuvon alle, vaan alustarakenteet siirtäisivät lumen sivuille auran tavoin. Tällöin rungon ja pyörien välin on oltava lumen pakkautumisen estämiseksi riittävän suuri. Rakenteiden tulisi liukumisvastuksen minimoimiseksi olla tasaisia ja kulmien pyöristettyjä.

33. Kulkualustan vaikutus liikkuvuuteen

331. Yleistä

Maastossa liikkuva ajoneuvo on vuoro-vaikutussuhteessa kulkualustan kanssa. Kiinnijuttumisen voivat aiheuttaa joko maaston epätasaisuudet tai kulkualustan riittämätön mekaaninen lujuus. Liikkuessaan ajoneuvo kohdistaa kulkualustaan sekä puristavia että leikkaavia voimia. Pyörä tai tela kohdistaa kulkualustaan toisaalta ajoneuvon massasta aiheutuvia ja toisaalta sen liikkeestä aiheutuvia puristavia voimia. Leikkaavat voimat syntyvät pyörän tai telan kohdistuessa kulkualustaan ajoneuvoa liikuttavia voimia. Näin ollen tärkeimmät ajoneuvon liikkuvuuteen vaikuttavat kulkualustan ominaisuudet ovat puristuslujuus ja leikkauslujuus.

Ajoneuvon pyörän tai telan ja kulkualustan välinen vuoro-vaikutusprosessi on hyvin monimutkainen. Parhaiten on kyetty selvittämään ajoneuvon ja kivennäismaan vuoro-vaikutus, kun taas lumen käyttäytyminen kuormitettaessa on paljolti epäselvää. Kehi-

tetyt mallit ovat parhaimmillaankin vain todellisten tapahtumien yksinkertaistuksia.

332. Kivennäismaa kulkualustana

Kivennäismaan mekaanista lujuutta on yleensä kuvattu Mohr-Coulombin teorian avulla. Teoriassa käytetään kahta maalajille ominaista lujuustunnusta: koheesiota ja sisäistä kitkakulmaa. Maalajit voidaan jakaa kitka- ja koheesiomaalajeihin sekä näiden välimuotoihin, jotka eroavat toisistaan sekä rakenteeltaan että ominaisuuksiltaan.

Karkearakeisessa maassa ei ole mitattavissa olevaa koheesiota, joten sen käyttäytyminen kuormituksessa riippuu ainoastaan kitkaominaisuuksista. Kun maanpintaan kohdistuu normaalivoima σ , maa-aineksen leikkauslujuus τ saadaan Mohr-Coulombin teorian mukaan kaavasta $\tau = \sigma \tan \emptyset$, missä \emptyset on sisäinen kitkakulma. Näihin kitkamaalajeihin luetaan kuuluviksi mm. sora ja hiekka.

Kitkamaalajin leikkauslujuus aiheutuu pääasiassa sen kitkaominaisuuksista, joten maahiukkasten täytyy olla kosketuksissa toisiinsa leikkautumisen aikana. Leikkaantumista vastustava voima muodostuu maahiukkasten välisestä liukukitkasta eli mikrokooppisesta lukkiutumisesta sekä lähekkäisten maahiukkasten keskinäisen liikkeen estävän hiukkasen aseman muuttumisesta eli makroskooppisesta lukkiutumisesta (Yong ym. 1984).

Maalajin perusominaisuuksia kuvataan yleensä sen muodonmuutoksella kuormituksessa. Kuormitettaessa maa muuttaa muotoaan kunnes sen alkuperäinen rakenne lopulta hajoaa. Kitkamaalajin tiheys, eli koostumukseltaan tietyn maalajin kyseessä ollen sen rakenneosien pakkautuneisuus, on sen lujuuteen vaikuttavista ominaisuuksista tärkeimpiä. Tiheyden kasvaessa hiukkasten välisten kontaktipisteiden määrä lisääntyy ja näin leikkautumisen sekä tilavuusmuutosten kuluttama energia kasvaa. Näin ollen tiivistä kivennäismaata kuormitettaessa esiintyy myötöraja, jolla muodonmuutokseen tarvittava voima alenee, kun taas löyhärakenteisen kivennäismaan muodonmuutoksen kuluttama energia tiivistymisen johdosta kasvaa kuormituksen jatkuessa. Kosteuden vaikutus rakeisen kivennäismaan lujuuteen on pieni, ellei maa sisällä pieniä määriä hienorakenteista maalajia. Hienorakeinen maalaji toimii suurien rakeiden välissä sementin tavoin (Yong ym. 1984).

Hienojakoisen kivennäismaan, kuten esimerkiksi saven, mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttavat sekä kitka että koheesio. Leikkauslujuus (τ) voidaan ilmaista seuraavasti:

$$\tau = C + \sigma \tan \varnothing, \quad (2)$$

missä C = koheesio
 σ = normaalivoima
 \varnothing = sisäinen kitkakulma

Koheesio muodostuu maahiukkasten välisistä sidoksista, jotka vastustavat maan leikkautumista ja muodostavat sekä ylläpitävät maan sisäistä rakennetta. Sekä kitka- että koheesio-ominaisuuksia omaavaa maata kutsutaan yleensä yksinkertaisuuden vuoksi koheesiomaaksi. Tästä erotukseksi pelkästään koheesio-ominaisuuksia omaavaa maata kutsutaan puhtaaksi koheesiomaaksi (Yong ym. 1984). Tärkein koheesiomaan lujuteen maastossa vaikuttava tekijä on sen kosteus. Kuivana sen kulkukelpoisuus on yleensä hyvä, mutta kosteuden lisääntyessä lujuus alenee niin, että maaperän kantavuus on raskailla ajoneuvoilla maasto-oloissa liikuttaessa yleensä suurin ongelma.

333. Turvemaan kulkualustana

Suolla on mineraalimaan päällä epätäydellisesti maatuneiden kasvinjätteiden muodostama turvekerros, jota peittää elävien kasvinosien kerros. Ajoneuvon liikkuminen turvemaalla muistuttaa liikkumista lumessa. Ajoneuvon on joko pysyttävä turve- tai lumikerroksen päällä tai kaivauduttava pohjamaahan saakka. Suon turvekerros on yleensä kuitenkin niin paksu ja turpeen lujuus niin alhainen, että ainoaksi vaihtoehdoksi jää turvemaan pinnalla liikkuminen. Näin ollen turvemaan pintakerroksen merkitys on ratkaiseva.

Pintakerroksen alla olevan turpeen kokoonpuristuvuus on mineraalimaahan verrattuna suuri. Sen vesipitoisuus on korkea ja mekaaninen lujuus alhainen. Turpeen leikkauslujuus muodostuu pääasiassa koheesiovoimista (Wong ym. 1979, Rummukainen 1984 ja Yong ym. 1984). Leikkauslujuuden ohella turpeella on myös jännityslujuutta. Siipikairalla mitattu leikkauslujuus alenee kosteussuhteen, maatumisasteen ja tuhkapitoisuuden kasvaessa (Rummukainen 1984). Käytännössä hyvin maatuneiden turvekerrosten leikkauslujuus on suurempi kuin heikosti

maatuneiden, sillä ne ovat kuivempia (Saari-lahti 1982 a).

Yongin ym. (1984) mukaan turvemaan pintakerroksen mekaaninen lujuus muodostuu kitka- ja jännityslujuudesta sekä lisäksi koheesiovoimista. Näistä kaksi ensiksi mainittua ovat lujuuden kannalta tärkeimmät. Pintakerros on muodostunut pinnan suuntaisista taipuisista säikeistä, joten se voi vastustaa vain pinnan tangentin suuntaisia voimia, eikä siten omaa taivutuslujuutta (Wong ym. 1979). Pintakerroksen mekaaninen lujuus on huomattavasti turpeen lujuuksiin suurempi.

Ajoneuvon pyörän tai telan alla turvemaan painuu, joten pinnan juurimattoon muodostuu toisaalta jännityksiä aiheuttavia voimia ja toisaalta leikkaavia voimia (Bekker 1969). Malleja turvemaan kantavuudelle ja juurimaton murtumiselle ovat kehittäneet mm. Bekker (1969) sekä Lee ja Jarrett (1977). Helpoimmin juurimatto murtuu telan ripojen painuessa siihen tai läpäistessä sen, sillä tällöin suuri osa juurista katkeaa ja jännityslujuus alenee nopeasti. Rengas ei katkaise pintakerroksen juuria yhtä helposti kuin tela, joten jännityslujuus pysyy suurempana. Turvemaan kantavuus alenee juurimaton murtumisen myötä yhtä äkkisestään.

Turvemaan ominaisuuksien johdosta ajoneuvon tulisi olla riittävän kevyt, pyörien tai telojen ja kulkualustan välisen kosketuspinnan tulisi olla riittävän suuri ja niiden muotoilun sellainen, että ne eivät vahingoita juurimattoa. Periaatteessa pyörien muotoilu on yleensä telojen vastaavaa edullisempi, mutta huono kantavuus pakottaa usein alentamaan keskimääräistä pintapainetta telojen käytöllä. Tällöin juurimaton murtuu yleensä telalapun pysty reuna tai sen terävä pääty. Lisäksi telan geometriasta aiheutuva liukuminen maanpintaa pitkin aiheuttaa leikkautumista.

334. Lumi kulkualustana

Lumi on huokoinen ja ilmaa läpäisevä jääkiteistä muodostunut aine. Tunnusomaisia lumelle ovat alhainen lujuus sekä ominaisuuksien suuri riippuvuus lämpötilasta, mikä seurauksena suurin osa sen fysikaalisista ominaisuuksista muuttuu jatkuvasti (Bader 1962). Lumen ominaisuudet ovat ajoneuvon liikkuvuuden kannalta monimutkaiset, eikä tärkeitä tekijöitä ja prosesseja tunneta kovinkaan hyvin. Lumessakulkua ajatellen ajo-

neuvot voidaan jakaa lumen pinnalla kulkeviin ja siihen osittain uponneina kulkeviin.

Ajoneuvon liikkussa lumipeitteisessä maastossa lumi puristuu, kunnes se pystyy ottamaan vastaan sekä ajoneuvon aiheuttaman pystysuuntaisen kuormituksen että vetovoimaa muodostavien voimien aiheuttaman kuormituksen. Lumen mekaaninen lujuus vaikuttaa siten ajoneuvon liikkuvuuteen. Kuormittavat voimat vaikuttavat siten, että välittömästi renkaan tai telan pinnan läheisyydessä on ohut luistovyöhyke ja sen alla paksumpi kokoonpuristumisvyöhyke (Yong ja Harrison 1978). Lumen rakenne rikkoutuu ensiksi mainitussa vetovoimakomponenttien yhteisvaikutuksesta, kun taas alemmassa vyöhykkeessä lumen rakenteen rikkoo ajoneuvon massavoima. Jos ajoneuvo etenee osittain lumeen uponneena, lumen rakenne hajoaa puristavien, leikkaavien ja jännityksiä aiheuttavien voimien vaikutuksesta. Tyypillistä hajoamiselle on koheesion häviäminen ja rakenneosien välisten sidosten sekä myös itse rakenneosien murtuminen. Lumen rakenteen rikkoutumista seuraa jatkuva nopea muodonmuutos, jonka kohteina ovat lumijyvät joko yksittäin tai ryhminä. Jos lumi on kuivaa, rakenneosat saattavat murtua, kun taas märän lumen rakenneosat voivat muotoutua koossapysyväksi massaksi (Bader 1962). Lumen rakenteelle ja käyttäytymiselle on mallin kehittänyt mm. Brown (1979).

Yleisesti mitattavat lumipeitteen tunnuksot eivät välttämättä kuvaa liikkuvuuteen suoraan vaikuttavia lumen ominaisuuksia. Vaihtelut lumipeitteen lujuusominaisuuksissa ja rakenteessa ovat suuret. Edelleen lumen rakenne ja ominaisuudet vaihtelevat kuormituksen aikana, eikä ole olemassa lumityyppien luokittelua, joka perustuisi niiden käyttäytymiseen kuormituksessa. Näistä syistä on pääasiassa tyydytty mittaamaan tunnuksia, joista ajoneuvon liikkuvuuden on havaittu

riippuvan.

Ajoneuvon liikkuvuuden katsotaan riippuvan ainakin lumen syvyydestä, tiheydestä, kerroksellisuudesta ja kerrosten lumityypistä, raekokojakaumasta sekä vapaan veden määrästä. Lumen syvyys asettaa suoraan rajoituksia ainakin lumeen painuvan ajoneuvon liikkuvuudelle. Sen sijaan tiheyden, kerroksellisuuden ja kerrosten lumityypin vaikutus on monimutkaisempi. Periaatteessa lumen lujuus lisääntyy tiheyden kasvaessa, joten liikkuvuuden pitäisi parantua. Lujuuteen vaikuttaa kuitenkin myös lumen tyyppi eli lumen rakenneosien muoto, koko, sitoutuneisuus ja vapaan veden määrä sekä lumen aikaisemat lämpötilan muutokset. Näin täysin erityyppisten lumien tiheys voi olla sama. Esimerkiksi tiheydeltään suhteellisen suuren ryynimäisen lumen ominaisuudet ovat liikkuvuutta ajatellen huonot.

Lumen kerroksellisuuden suhteen on lisäksi todettava, että sen vaikutus liikkuvuuteen riippuu ajoneuvon kulkuperiaatteesta. Niinpä esimerkiksi kova hankikerros lumen pinnassa edistää lumen pinnalla liikkuvan ajoneuvon liikkuvuutta mutta haittaa lumeen painuvaa ajoneuvoa. Lumeen painuvan ajoneuvon liikkussa lumipeitteisessä maastossa lumen syvyys on tavallisesti niin pieni, että kulkualustaan muodostuva painevyöhyke ulottuu maanpintaan saakka. Ajoneuvo kohdistaa suuren osan pystysuorasta kuormituksesta maanpintaan, ja myös pyörät sekä telat saavat suuren osan tartunnasta maanpinnasta.

Lumen käyttäytymistä ajoneuvon pyörän tai telan alla sekä sen ominaisuuksien vaikutusta ovat tutkineet mm. Browne (1974), Yong ja Harrison (1978) ja Brown (1979 ja 1981). Tutkittaessa ajoneuvon liikkuvuutta lumessa ei eri tekijöitä pitäisi tarkastella irrallisina vaan kokonaisuutena.

4. LUMEN VAIKUTUS KESKIKOKOISEN KUORMATRAKTORIN LIKKUVUUTEEN

41. Tutkimusmenetelmä ja -olot

Liikkuvuuteen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi järjestettiin tutkimus, jossa seurattiin Volvo BM Valmet 862 -kuormatraktorin liikkumista käytännön leimikkotyöskentelyssä. Seuranta tapahtui metsähallituksen Rovaniemen hoitoalueen eteläosan työmailla. Samaa tyyppiä oleva traktori ajoi myös myöhemmin suoritettussa vertailukohteessa, jolloin saatiin kuva kuormatraktorin suorituskyvystä verrattuna muihin koneisiin.

Volvo BM Valmet 862 -kuormatraktorin liikkuvuutta seurattiin läpi talven noin viikon välein. Seuranta suorittivat kaksi metsähallituksen kehittämisjaoston työntutkijaa, joilla oli hyvä kokemus vastaavanlaisista työtehtävistä. Seurantakoneella oli kaksi vakituista, ammattitaitoista kuljettajaa.

Kuormatraktorin liikkuvuutta seurattiin jakamalla kulkureitti mittausjaksoihin, joiden jakoperusteena oli maasto- tai lumiolojen muuttuminen. Käytännössä jaksojen erottaminen tapahtui asettamalla merkki jakson vaihtumiskohtaan. Jaksojen pituudet ja olosuhteet mitattiin jälkikäteen. Liikkuminen jaksoilla jaettiin tyhjänä ja kuormattuna ajoon sekä kuormausajoon. Ajanmenekin tutkiminen jakson sisällä tapahtui mittaamalla kuormauksen tai kuorman purkamisten välisen ajon ajanmenekki. Näin jokaiselle olosuhteiden perusteella erotetulle jaksolle mitattiin ajanmenekki erikseen aina kuorman koon muuttuessa.

Liikkuvuutta kuvaavina tunnuksina olivat ajonopeus (m/min), kiinnijuuttumisten ajanmenekki (cmin) sekä kuorman koko (m³). Ajanmenekki mitattiin ns. kolmen kellon menetelmällä. Kuorman koko arvioitiin silmävaraisesti, minkä mahdollisti työntutkijoiden hyvän kokemuksen.

Leimikon hakkuutapa ja kuljetuksen maastoluokka saatiin kuljetusmaksun tilitystiedoista. Jokaisen jakson maastoluokka arvioitiin leimikolla. Kultakin jaksolta määritettiin havituksen esiintyminen ja pintamaasto, jota kuvattiin termeillä tasainen, kivinen, kantava ja huonosti kantava. Kiinnijuuttumisten syiksi merkittiin lumi, kaltevuus, pintamaasto,

huono kantavuus tai muu syy.

Kultakin jaksolta mitattiin kaltevuusmittarilla keskimääräinen ja suurin kaltevuus ajosuuntaan. Jakson lumipeitteestä mitattiin keskimääräinen lumen syvyys sekä lumen syvyyden vaihtelu. Lumen tiheys määritettiin lumivaa'alla. Lumipeitteen rakenne määritettiin jakamalla se kerroksiin silmä- ja käsivaraisesti lumityypin, kovuuden ja raekoon perusteella. Kerrokset luokiteltiin seuraavasti:

- kevyt uusi lumi
- hienorakeinen lumi
- karkearakeinen lumi
- hanki
- jää

Kunkin kerroksen paksuus mitattiin. Lumen sisältämän vapaan veden määrä määritettiin puristusmenetelmällä (Bader 1962). Lumen rakenteeseen vaikuttavana tekijänä myös seurantapäivän lämpötila mitattiin.

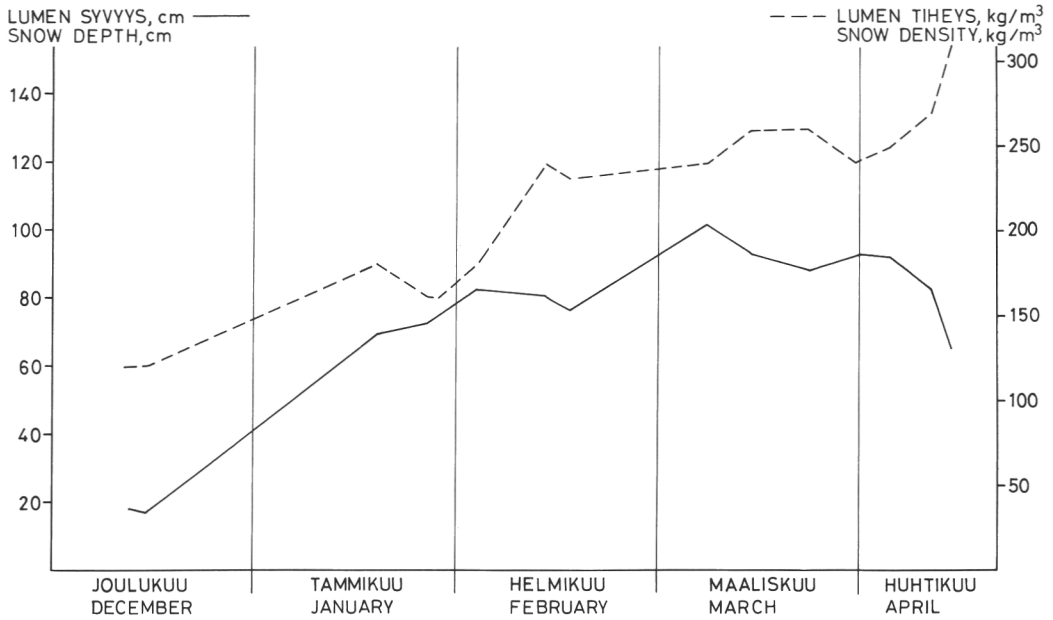
Seuranta-aika tutkimuksessa oli 30,9 h, josta ajoajan osuus oli 52 %. Aineisto käsitti 66 kuormaa kokonaisuusmäärän ollessa 452 m³. Keskimääräinen kuorman koko oli 6,8 m³. Kokonaisajomatka oli 37 600 m ja keskimääräinen ajomatka 570 m/kuorma.

Maastoluokan I osuus aineistosta oli huomattavan suuri. Tuulenskaatoleimikoiden osuus oli myös poikkeuksellisen suuri.

Seurantatutkimuspäivinä mittausjaksojen keskimääräinen lumen syvyys oli 17-102 cm ja tiheys 120-310 kg/m³. Lumen syvyyden ja tiheyden vaihtelu on esitetty kuvassa 9. Kuvaajien muoto vastaa tunnusten arvon normaalia kehitystä talven mittaan. Tyypillistä lumen rakenteelle on myös nyt todettu tiheyden nousu keväällä. Ilman keskilämpötila oli seurantatutkimuspäivinä -17 — +3°C.

Sääolojen ja metamorfoosin vaikutuksesta lumen rakenne kehittyi talven aikana seuraavasti:

- 11.12.-14.12. välisenä aikana lumi oli kevyttä uutta lunta
- 18.1.-3.2. lumen pinnassa oli paksuudeltaan 25 % lumen syvyydestä oleva kevyen uuden lumen kerros lopun jakaantuessa hieno- ja karkearakeisen lumen kesken
- 13.2.-10.4. välisenä aikana kevyen uuden lumen osuus aleni 14 %:iin
- 13.4. lumipeitteen pinnassa oli 18 cm paksu hanki-



Kuva 9. Lumen syvyyden ja tiheyden vaihtelu seurantatutkimuspäivinä.
 Fig. 9. The variation of snow depth and density during the follow-up study.

kerros, joka päivän kuluessa muuttui märeksi kärkearakeiseksi lumeksi. Hanki- ja jääkerroksien esiintymisessä ei tätä ennen ollut havaittavissa säännönmukaisuutta.

42. Tutkitun kuormatraktorin liikkuvuus lumessa

Tutkittu kuormatraktori liikkui lumessa hyvin. Seuranta-aikana sattui vain 4 kiinni-juuttumista, joiden yhteenlaskettu ajanmenekki oli 3,4 min eli 0,4 % kokonaisajoajasta. Ensimmäisen kerran traktori juuttui kiinni ojan kohdalla lumen syvyyden ollessa 84 cm. Toiseen ja kolmanteen juuttumiseen olivat syynä kaltevuus ja 80 cm lumen syvyys sekä neljanteen 102 cm paksu lumi.

Ajomatka ja -aika jakautuivat seuraavasti:

	Tyhjänä ajo	Kuormausajo % osuus	Kuormattuna ajo	Yhteensä
Ajomatka	36	36	28	100
Ajoaika	27	47	26	100

Aineiston pohjalta laadittiin ajonopeudelle seuraavat regressiomallit, joissa kutakin ajonopeushavaintoa painotettiin ajomatkan pituudella. Ajonopeuden riippuvuus tarkasteltavista muuttujista oli seuraava:

Tyhjänä ajo

$$Y_1 = -0,26399 x_4 x_1^{\frac{1}{2}} x_3^{***} + 2,15160 x_3^{***} - 0,78780 x_1 x_3^{\frac{1}{2}} x_3^{***} + 0,17115 x_2 x_3^{\frac{1}{2}} x_3^{**} + 57,63227 \quad (3)$$

Kuormausajo

$$Y_2 = -0,59390 x_1 x_3^{\frac{1}{2}} x_3^{***} - 0,00658 x_4 x_1^{***} - 356,99670 x_7 x_1^{-1} x_3^{***} - 4,77405 x_5 x_1^{\frac{1}{2}} x_3^{***} - 127,61195 x_6 x_1^{-1} x_3^{***} + 0,19978 x_1 x_3^{\frac{1}{2}} x_3^{***} + 0,45991 x_3^{***} + 0,02798 x_2 x_3^{\frac{1}{2}} x_3^{***} + 54,11715 \quad (4)$$

Kuormattuna ajo

$$Y_3 = -0,38185 x_1 x_3^{\frac{1}{2}} x_3^{***} + 1,15536 x_3^{***} - 1,32377 x_4^{***} - 1,65550 x_5^{**} + 67,00109 \quad (5)$$

Yhtälöissä käytetyt symbolit:

- x_1 = lumen syvyys, cm
- x_2 = lumen tiheys, kg/m³
- x_3 = ajokerran järjestysluku
- x_4 = kaltevuus ajosuuntaan, %
- x_5 = kuorman koko, m³
- x_6 = maastoluokka 2:n valemuuttuja: saa arvon 1, kun maastoluokka on 2 ja arvon 0, kun maastoluokka on 1 tai 3
- x_7 = maastoluokka 3:n valemuuttuja: saa arvon 1, kun maastoluokka on 1 tai 2

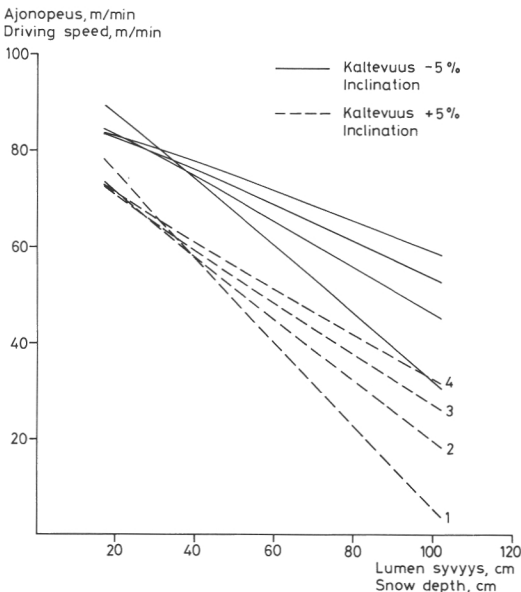
Y_1 = tyhjänäajonopeus, m/min
 Y_2 = kuormausajonopeus, m/min
 Y_3 = kuormattuna-ajonopeus, m/min

Mallien selityssasteet sekä keskivirheet on esitetty seuraavassa jaotelmassa:

Malli	Selityssaste %	Keskivirhe m/min
Tyhjänäajo	70,5	15,0
Kuormausajo	55,6	8,5
Kuormattuna-ajo	76,6	9,6

43. Tulosten tarkastelu

Tutkimustulosten luotettavuutta heikentävät aineiston epätasainen jakautuminen maastoluokkiin sekä havaintojen puuttuminen 19–64 cm lumen syvyydeltä. Mallien on siis katsottava kuvaavan parhaiten lumen vaikutusta koneen liikkuvuuteen syvässä lumessa, routaisessa maassa avohakkuuoloissa. Ajonopeuden korrelaatio eri muuttujien suhteen on kuitenkin samansuuntainen aikaisempien tutkimusten kanssa, ja regressiomallien selityssasteet melko korkeat. Lisäksi tutkimusaineisto on varsin laaja.



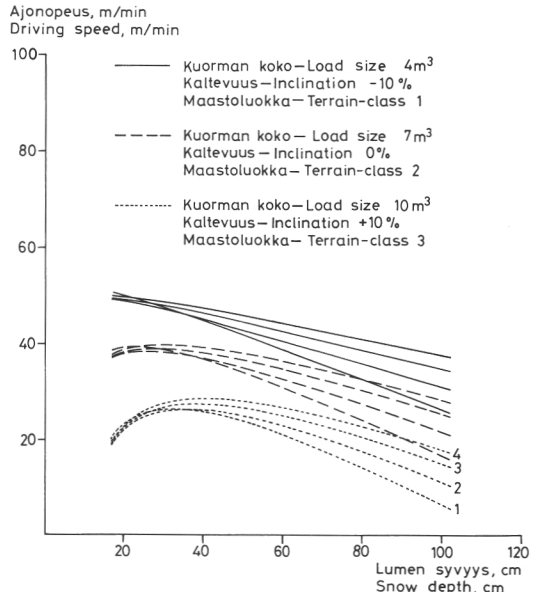
Kuva 10. Lumen syvyyden vaikutus ajonopeuteen tyhjänä ajossa 1.—4. ajokerralla regressiomallin mukaan (lumen tiheys 220 kg/m³).

Fig. 10. The effect of snow depth on driving speed when driving empty for from 1–4 hauls according to the regression model (snow density 220 kg/m³).

Traktorin liikkuvuus oli seurantaoloissa hyvä, mitä kuvaa kiinnijuuttumisten pieni osuus ajoajasta. Traktori juuttui kiinni vasta syvässä 80–102 cm:n lumessa.

Regressiomallin mukaan lumen syvyyden vaikutus ajonopeuteen tyhjänä on erityisesti ensimmäisellä ajokerralla suuri (kuva 10). Lisäksi kaltevuus ja lumen syvyys vaikuttavat nopeuteen yhdessä. Nämä seikat viittaavat kaivautuvaan kulkutapaan: pyörät kaivautuvat lumikerroksen läpi ja saavat otteen maanpinnasta eivätkä niinkään tiivistyneestä lumesta. Ohut lumipeite tasoittaa maaston epätasaisuuksia, mistä johtuen ajonopeus ensimmäisellä ajokerralla pienillä lumen syvyyksillä on seuraavien kertojen nopeutta suurempi. Kaltevuuden vaikutus ajonopeuteen on suuri. Mallin mukaan ajonopeus lisääntyy lumen tiheyden kasvaessa. Maastoluokka ei ole mallissa merkitsevä nopeutta selittävä muuttuja, mikä johtunee 1 maastoluokan hallitsevasta osuudesta aineistossa.

Ajonopeus kuormausajossa regressiomallin mukaan on esitetty kuvassa 11. Ajon rakenne on toistuvasta pysähtelystä ja liikkeelle lähdöstä johtuen erilainen, ja ajonopeus siten pienempi kuin tyhjänä ja kuormattuna ajossa. Vastaavasti lumen syvyyden, ajokaltevouden ja ajokertojen lukumäärän vaikutus



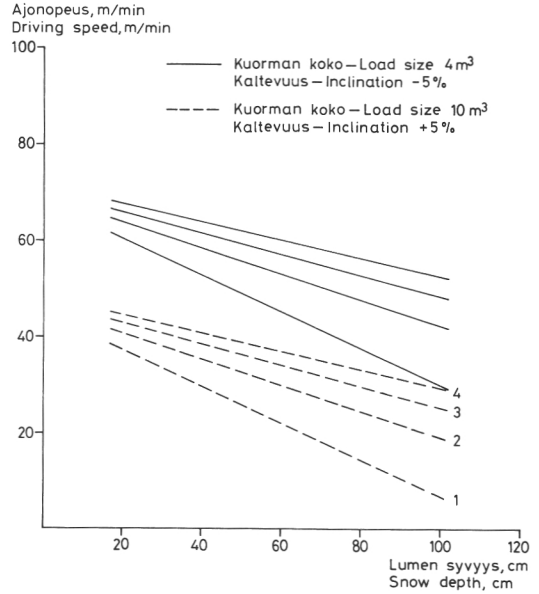
Kuva 11. Lumen syvyyden vaikutus ajonopeuteen kuormausajossa 1.—4. ajokerralla regressiomallin mukaan (lumen tiheys 220 kg/m³).

Fig. 11. The effect of snow depth on driving speed when driving between loadings for from 1–4 hauls according to the regression model (snow density 220 kg/m³).

ajonopeuteen on mallin mukaan pienehkö. Kuorman koon vaikutuksen pieneminen lumen syvyyden kasvaessa tukee oletusta kaivautuvasta kulkutavasta. Kuormattuna pyörät pystyvät kaivautumaan nopeammin lumikerroksen läpi. Högnäs ja Silvennoinen (1981) ovatkin todenneet kuormatraktorin liikkuvuuden lumessa parantuvan kuorman koon kasvaessa tiettyyn pisteeseen saakka. Myös ajokaltevyyden ja lumen syvyyden yhteisvaikutus viittaa kaivautuvaan kulkutapaan. Ajonopeuden lasku alhaisilla lumensyvyyksillä maasto-olojen vaikeutuessa ja kuorman koon kasvaessa sekä maastoluokan vaikutuksen väheneminen lumen syvyyden kasvaessa viittaavat lumen maaston epätasaisuuksia tasoittavaan vaikutukseen.

Kuormattuna ajossa (kuva 12) lumen syvyyden vaikutus on pienempi kuin tyhjänä ajossa, ja syvässä lumessa ajonopeus lähestyy tyhjänä ajon nopeutta. Nämä seikat viittaavat kaivautuvaan kulkutapaan. Mainittakoon, että juuttuessaan kiinni seurannan aikana kone oli tyhjä tai kuorman koko oli erittäin pieni. Kaltevyyden ja ajokerran vaikutus ajonopeuteen on suuri. Myös kuorman koon vaikutus on huomattava. Maastoluokka ei mallissa vaikuta ajonopeuteen.

Mallien mukaan lumen syvyys, ajokaltevuus sekä ajokerta vaikuttavat ajonopeuteen eniten. Vastaavansuuntaisia riippuvuuksia ovat todenneet mm. Haarlaa (1971a), Silvennoinen ja Haarlaa (1971), Sondell (1979) sekä Högnäs ja Silvennoinen (1981). Myös kuorman koon vaikutus on huomattava. Lumen rakenteen ja metamorfoosin vaikutus ajono-



Kuva 12. Lumen syvyyden vaikutus ajonopeuteen kuormattuna ajossa 1.—4. ajokerralla regressiomallin mukaan (lumen tiheys 220 kg/m³).

Fig. 12. The effect of snow depth on driving speed when driving loaded for from 1-4 hauls according to the regression model (snow density 220 kg/m³).

peuteen tulee esille lähinnä lumen tiheyden positiivisen regressiokertoimen muodossa. Vastaavan tuloksen ovat saaneet mm. Silvennoinen ja Haarlaa (1971). Maastoluokan vaikutus ajonopeuteen vastaa Kahalan (1979) tuloksia, mutta maastoluokan 1 hallitsevan osuuden johdosta on vaikutuksen suuruutta pidettävä lähinnä suuntaa antavana.

5. HARVENNUSPUUN METSÄKULJETUKSEEN SOVELTUVIEN TRAKTOREIDEN LIKKUVUUS LUMESSA

Volvo BM Valmet 862:n liikkuvuuden seuranta antoi tietoa olosuhteiden vaikutuksista yhden traktorityypin lumessakulkuominaisuuksiin. Eri koneenkokoluokkien ominaisuuksien vertailemiseksi järjestettiin Rovajärven ampuma-alueella Naarmankairassa vertailukoe, johon osallistui 15 konetta. Tarkoituksena oli selvittää erilaisten koneiden soveltuvuutta vaikeisiin lumioloihin ja teknisten ratkaisujen vaikutusta lumessakulkuominaisuuksiin.

51. Tutkimukseen osallistuneet koneet

Tutkimukseen osallistui 15 konetta, joiden kaaviokuvat sekä tekniset tiedot on esitetty liitteessä 1.

Kokeeseen haluttiin mukaan Suomessa yleisimmin käytössä olevat pienet sekä keskikokoiset kuormatraktorit. Lisäksi haluttiin vertailukelpoista tietoa maataloustraktoriperustaisten koneiden sekä telamaastureiden lumessakulkuominaisuuksista. Mukaan otet-

tiin myös prototyyppivaiheen koneita.

Koneiden tuli prototyyppinä lukuun ottamatta olla sarjavalmisteisessa kunnossa. Koneenvalmistajat saivat valita varustuksen va-

paasti. Varusteiden tuli kuitenkin olla yleisessä myynnissä ja käytössä. Rengas- ja telavarustus oli kokeessa seuraava:

	Renkaat		Telat ja ketjut
	edessä	takana	
Kuormatraktorit			
Kockums 84—35 etutelasolla	23.1—26 telapyörä 500/60—22.5	17.5—25	Edessä ja takana RKP L -telat liukuestein
Kockums 84—35	23.1—26	17.5—25	Edessä OVAKO kaksois-rengashokkiketjut. Takana RKP L -telat liukuestein
Kockums 83—35	500—22.5	500—22.5	Edessä ja takana RKP L -telat liukuestein
Lokomo 919 Turbo kuusipyöräinen	23.1—35	500/60—26.5	Edessä OVAKO maastoketjut. Takana RKP L -telat liukuestein
Lokomo 919 Turbo kahdeksanpyöräinen	17.5—25	17.5—25	Edessä ja takana RKP L -telat liukuestein
Norcar HTP-480	400/55—22.5	400/55—22.5	Edessä OVAKO jäätikköketjut. Takana Svedlundin ottavat telat liukuestein
Ponsse S 15	600—34	600/55—26.5	Edessä Gunnebo CB -ketjut. Takana RKP L -telat liukuestein
Valmet Jehu -prototyyppi	17.5—25	17.5—25	Edessä ja takana RKP L -telat liukuestein
Volvo BM Valmet	23.1—26	17.5—25	Edessä OVAKO kaksois-rengashokkiketjut Takana RKP L -telat liukuestein
ÖSA 250	600—34	600/55—26.5	Edessä OVAKO kaksoisrengashokkiketjut. Takana RKP sekatelat

Maataloustraktoriperustaiset koneet

Valmet 602 Turbo + Patu 6 -teli-perävaunu	7.50—18/6 11,5/80—15,3	13.6—36/6	OVAKO jäätikköketjut traktorissa
Volvo BM Valmet 805-4 + RKP-10 000 -vetävä perävaunu	14.9—24	18.4—34 500—22.5	Hankkijan ESA-ketjut (OVAKO) traktorissa Perävaunussa RKP L -telat

Tela-alustaiset koneet

Terri 1020 -telamaasturi + jalaksilla varustettu perävaunu

Farmi-Trac -telamaasturi + jalaksilla varustettu perävaunu

Suokone Oy:n prototyyppikone, joka koostui Fiat 1580 DT -maataloustraktorista varustettuna TT-7,0 -telastolla sekä vetävästä MPV -metsäperävaunusta.

Koneet olivat uusia tai uudenveroisia joko urakoitsijain omistuksessa tai valmistajien esittelykoneita. Poikkeuksena oli ÖSA 250, joka oli yli 2 vuotta vanha mutta hyväkuntoinen.

52. Tutkimusolot

Koneiden lukumäärä asetti tutkimuspaikalle suuria vaatimuksia. Olosuhteiden tuli olla samanlaiset kaikilla koneilla. Myös vaikeusasteen tuli vaihdella koneiden kapasiteetin selvittämiseksi. Sopiva tutkimusalue löytyi Rovajärven ampuma-alueelta Naarmankairasta, missä puusto ei ollut esteenä kokeen suorittamiselle.

Alueelle rajattiin kolme koealuetta. Koealue 1 sijaitsi tasamaalla suolla. Ajourien pituus koealueella oli 65 m ja ne jaettiin olosuhteiden perusteella kahteen pituudeltaan 35 ja 30 m:n mittausjaksoon.

Koealueet 2 ja 3 sijoitettiin Hautavaaran rinteisiin. Ajourien pituus oli näillä koealueilla 100 m. Urat jaettiin kolmeen mittausjak-

soon, joiden pituudet olivat 40, 30 ja 30 m.

Koneille erotettiin vieri viereen ajourat. Ajourien kaltevuus määritettiin kaltevuusmittarilla 10 m välein. Koealueiden keskimääräiset kaltevuudet ja kaltevuuden keskijonnot on esitetty taulukossa 1. Koealueella 2 urien kaltevuus oli keskimäärin 8,6 % ja koealueella 3 vastaavasti 14,5 %. Lisäksi alueen 3 urilla 3 ja 4 oli sivukaltevuutta paikoitellen 2,5 %, josta ei kuitenkaan ollut mainittavaa haittaa.

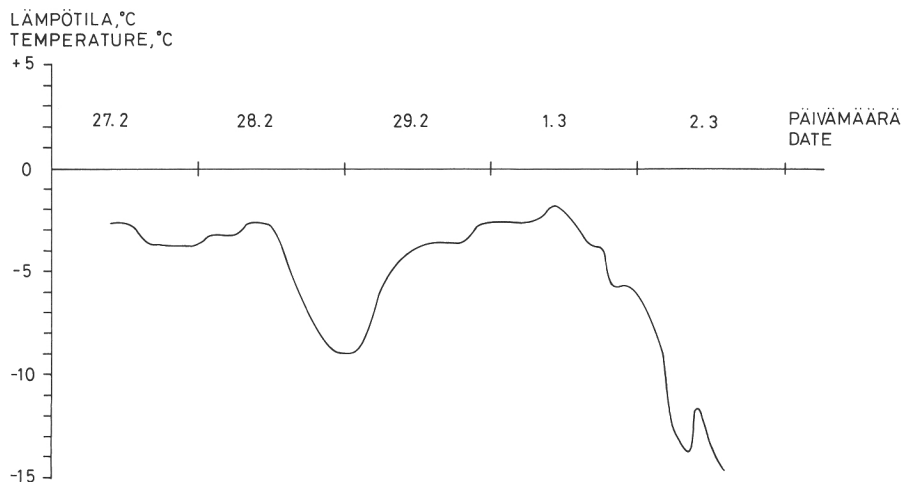
Koealueiden lumiolot selvitettiin samoilla menetelmillä kuin seurantatutkimuksessakin. Lumen syvyys mitattiin ajouran kultakin mittausjaksolta kymmenestä kohdasta. Tiheys ja lumipeitteen rakenne määritettiin kultakin mittausjaksolta yhdestä kohdasta.

Lumen keskimääräinen syvyys oli 65 cm alueella 1, 59 cm alueella 2 sekä 65 cm alueella 3 (taulukko 1). Lumen keskimääräinen tiheys oli 269 kg/m³, ja tiheyden vaihtelu oli melko vähäistä.

Lumipeitteen kerroksellisuudesta tehtiin 30 havaintoa alueella 1, 42 havaintoa alueella 2 ja 45 havaintoa alueella 3. Koealueilla oli

Taulukko 1. Maaston kaltevuus ja lumen syvyys ajourittain.
Table 1. Inclination and snow depth on the test tracks.

Uran nro Track No.	Kaltevuus, % Gradient, %			Lumen syvyys, cm Snow depth, cm		
	Tasamaa Level ground	Loiva rinne Moderate slope	Jyrkkä rinne Steep slope	Tasamaa Level ground	Loiva rinne Moderate slope	Jyrkkä rinne Steep slope
1	0,0	—	—	—	—	—
2	0,0	8,8	15,6	63	56	52
3	0,0	8,6	15,2	64	55	61
4	0,0	9,2	15,4	64	65	63
5	0,0	—	15,8	64	65	73
6	0,0	9,2	15,8	60	65	64
7	0,0	8,7	15,8	69	61	65
8	0,0	8,8	15,2	67	62	69
9	0,0	8,8	15,2	65	60	80
10	0,0	9,2	—	71	59	—
11	0,0	8,6	—	66	57	—
12	0,0	8,3	—	65	58	—
13	0,0	8,5	14,3	64	56	66
14	0,0	—	13,8	63	—	0
15	0,0	8,4	13,3	64	56	66
16	0,0	7,9	13,0	59	58	63
17	0,0	7,1	13,0	—	58	1
18	0,0	—	12,8	—	—	62
19	0,0	—	13,0	—	—	63
Keski- hajonta Standard deviation	0,0	0,6	1,2	3	3	6
Keskiarvo Mean	0,0	8,6	14,5	65	59	5



Kuva 13. Ilman lämpötila Hautavaarassa 27.2.—2.3.1984.
Fig. 13. Air temperature in Hautavaara 27.2.—2.3.1984.

hallitsevana karkearakeinen lumi. Muita lumityyppejä esiintyi seuraavasti:

Alue 1:

- 83 %:ssa havainnoista oli lumipeitteen pinnassa keskimäärin 15 cm paksu kevyen uuden lumen tai hienorakeisen lumen kerros
- 70 %:ssa havainnoista oli keskimäärin 47 cm syvyydellä 1 cm paksu jääkerros

Alue 2:

- 79 %:ssa havainnoista oli lumipeitteen pinnassa keskimäärin 14 cm paksu kevyen uuden lumen tai hienorakeisen lumen kerros
- 64 %:ssa havainnoista oli keskimäärin 42 cm syvyydellä 1 cm paksu jääkerros
- 36 %:ssa havainnoista oli keskimäärin 14 cm paksu hankikerros vaihtelevalla syvyydellä.

Alue 3:

- 60 %:ssa havainnoista oli lumipeitteen pinnassa keskimäärin 10 cm paksu kevyen uuden lumen tai hienorakeisen lumen kerros
- 33 %:ssa havainnoista oli keskimäärin 13 cm paksu hankikerros 21 cm keskimääräisellä syvyydellä
- 80 %:ssa havainnoista oli keskimäärin 43 cm syvyydellä 1 cm paksu jääkerros.

Tyypillistä oli ohuen jääkerroksen esiintyminen lumikerroksen alaosassa. Alueen 1 lumipeitteessä ei jääkerroksen lisäksi ollut muita kovia kerroksia, ja sen pinnassa oli kaikkein yhtenäisimmin pehmeä kerros. Alueen 3 lumipinnan pehmeä kerros oli kaikkein epäyhtenäisin. Alueiden 2 ja 3 lumipeitteitä luonnehti lisäksi hankikerrosten esiintyminen. Koealueiden lumi luokiteltiin puristusmenetelmää käyttäen kuivaksi. Siten esimerkiksi koneiden ajojäljet pysyivät huonosti

koossa.

Koepaikan lämpötila mitattiin termografilia, jonka näyttämä tarkistettiin tarkkuuslämpömittarilla. Kuvassa 13 nähdään lämpötila koeaikalla 27.2.—2.3.1984 välisenä aikana. Lämpötila vaihteli -2°C ja -15°C välillä, millä ei näyttänyt olleen vaikutusta lumipeitteen ominaisuuksiin.

Koealueiden olosuhteet olivat hyvin tasaiset. Vähäistä vaihtelua esiintyi kuitenkin mm. kaltevuuden, lumen syvyyden sekä lumipeitteen rakenteen osalta. Näistä lumen syvyyden ja lumipeitteen rakenteen vaihtelut olivat satunnaisia, mutta rinteen kaltevuudessa oli alueella 3 havaittavissa systemaattista vaihtelua. Lisäksi on mainittava kahden uran paikoittainen sivukaltevuus. Vaihtelun merkitys oli kuitenkin melko pieni. Alueella 3 lumen syvyys oli uralla 9 muita selvästi suurempi ja uralla 2 pienempi. Koska osakoikeita kuitenkin oli kolme, eivät olosuhteet poikenneet millään koneella kohtuuttomasti. Kokonaisuutena varsinkin alueen 1 ja 2 urien olosuhteet olivat hyvin vertailukelpoiset.

Lumen syvyyden ja tiheyden keskiarvojen erot alueiden välillä olivat pienet. Alueiden 2 ja 3 lumipeitteissä oli jää- ja hankikerrosten osuus suurempi kuin alueella 1, joten voidaan olettaa lumen kantavuuden sekä ajoneuvon upotessa aiheutuvan kulkuvastuksen olleen näillä alueilla suurempi. Lumen tiheydessä ei alueiden välillä ollut suurta eroa. Liikkuvuuden erot eri alueiden välillä voidaan näin ollen katsoa pääosin kaltevuuden

aiheuttamiksi, joskin alueella 1 kulkuvaikutusta alentaa muihin alueisiin verrattuna myös lumipeitteen rakenne.

53. Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmä kehitettiin yhteistyössä koneenvalmistajien kanssa. Menetelmän ja aikataulun suunnittelussa pyrittiin vähentämään sää- ja lumiolojen muuttumisen riskiä, minkä johdosta tutkimus suoritettiin yhden viikon aikana.

Koneiden ominaisuuksien selvittämiseksi valittiin ajotapa, jossa ajettiin ensin kuormattuna vastamäkeen koskemattomassa lumessa ja kuorman purkamisen jälkeen tyhjänä samaa uraa takaisin. Tämän jälkeen ajettiin samaa uraa tyhjänä ja kuormattuna 2-3 kertaa, minkä jälkeen ajoajan katsottiin vakiintuneen tulosten tulkinnan kannalta riittävästi. Käytetty ajotapa ei vastaa kaikkien koneiden normaalia työskentelymenetelmää vaikeissa lumioloissa. Ainakin maataloustraktoreilla ja telamaastureilla ajetaan vaikeissa lumioloissa ajourat kertaalleen läpi tyhjänä viimeistään maastokuljetusta edeltävänä päivänä, jolloin lumi ajojäljissä kovettuu. Tulosten vertailukelpoisuuden vuoksi pitäydyttiin kuitenkin yhtenäisessä ajotavassa.

Puutavara oli 3 m puolikuivaa mäntykuitupuuta. Ensimmäisen ajokerran kuorman koot olivat seuraavat:

Kone	Kuorman koko, m ³
Kockums 84-35	6
Lokomo 919 Turbo	6
Ponsse S 15	6
Suokone	6
Valmet Jehu	6
Volvo BM Valmet 862	6
ÖSA 250	6
Kockums 83-35	5
Norcar HTP-480	4
Maataloustraktorit	vapaa
Telamaasturit	vapaa

Ensimmäisen kuorman koon vakioimisella pyrittiin toisaalta koneen kokoluokan huomioon ottamiseen ja toisaalta saman kokoluokan koneiden liikkuvuuden erojen selvittämiseen. Seuraavilla ajokerroilla kuorman koko oli kaikilla koneilla vapaasti valittavissa. Kockums 83—35:n tulosten vertailukelpoisuus keskikokoisten kuormatraktorei-

den kanssa ensimmäisellä ajokerralla olisi ollut parempi, mikäli kuorman koko olisi ollut 6,0 m³. Valmistaja katsoi traktorin kuitenkin kokoluokaltaan keskikokoista pienemmäksi.

Koetilanne kesti Kockums 84—35 -kuormatraktoria lukuun ottamatta kullakin koneella yhden päivän. Keskikokoiset kuormatraktorit pyrittiin tutkimaan vierekkäisillä radoilla ja mahdollisimman lyhyen ajan sisällä, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Samanaikaisesti tutkittiin kolmea konetta. Koneet ajoivat alueittain taulukon 2 mukaiset urat.

Ensimmäisen kuorman kiintotilavuus mitattiin pinosta mittausneuvoston vahvistamien mittausohjeiden mukaisesti. Seuraavien kuormien koko määritettiin kuormatilan poikkileikkausmittojen ja pinotiheystekijöiden perusteella.

Kuljettajan valitsi koneen valmistaja. Kuljettajat olivat joko urakoitsijoita tai koneenvalmistajien esittelykuljettajia. Lukuun ottamatta Kockums 84—35:n kahta versiota jokaisella koneella oli eri kuljettaja. Kuljettajan ammattitaito saattoi luonnollisesti vaikuttaa tuloksiin. Menettely oli kuitenkin välttämätön, sillä tutkimuksen kesto-aika olisi yhtä kuljettajaa käytettäessä ollut vähintään 15 vuorokautta, jolloin olosuhteiden muuttumisen riski olisi kasvanut. Lisäksi tutkitut koneet edustivat erilaisia konetyyppejä ja vaativat erilaisen ajotekniikan niin, että kaikkien tyyppien käytön hallitsevan kuljettajan löytäminen olisi ollut mahdotonta.

Ajojäljet valokuvattiin ensimmäisen ja kolmannen kuormattuna ajon jälkeen käyttäen taustana vaaka- ja pystymitta-asteikoilla varustettuja vanerilevyjä (kuva 14). Valokuvista piirrettiin myöhemmin profiilikuvat, joihin raiteen pohjan ja maanpinnan lisäksi merkittiin renkaiden tai telojen kulkusyvyys. Viimeksi mainittu saatiin arvioimalla hangen pinnan asema johonkin koneenosaan nähden koneen liikkussa ja mittaamalla myöhemmin tiellä hangen pinnan arvioidun aseman ja tienpinnan välinen etäisyys. Jälkien profiilit alueella 2 on esitetty liitteessä 2. Valmet 602 Turbon profiilikuvat ovat alueelta 1. Kuvien sekä kulkusyvyyydestä tehtyjen havaintojen avulla tehtiin johtopäätöksiä raiteenmuodostuksen sekä kulkutavan eroista.

Jyrkemmässä rinteessä kuvattiin kaikki ajokerrat videolle ja muilla koepaikoilla ensimmäinen ajokerta kaitafilmille. Näin liikkuvuudesta voitiin tehdä havaintoja myös jälkikäteen.



Kuva 14. Raiteiden kuvauksessa käytetyt taustalevyt.
 Fig. 14. Scale plates used in photographing the ruts.

54. Tutkimustulokset

Koska tavoitteena oli selvittää nimenomaan puutavaran maastokuljetuskaluston liikkuvuutta lumessa, otettiin tarkasteltavaksi muuttujaksi ajonopeuden (m/min) ja kuorman koon (m³) lisäksi tehokkuutta kuvaava ajanmenekki kuljetussuoriteyksikköä kohden (cmin/m³/100 m). Koska kuormaus- ja purkuajat vaihtelivat kuljettajan taitojen, koneen hydraulijärjestelmän ja kuormaimen sekä kuormauspaikan mukaan, ne on jätetty tuloksista pois.

541. Ajonopeudet

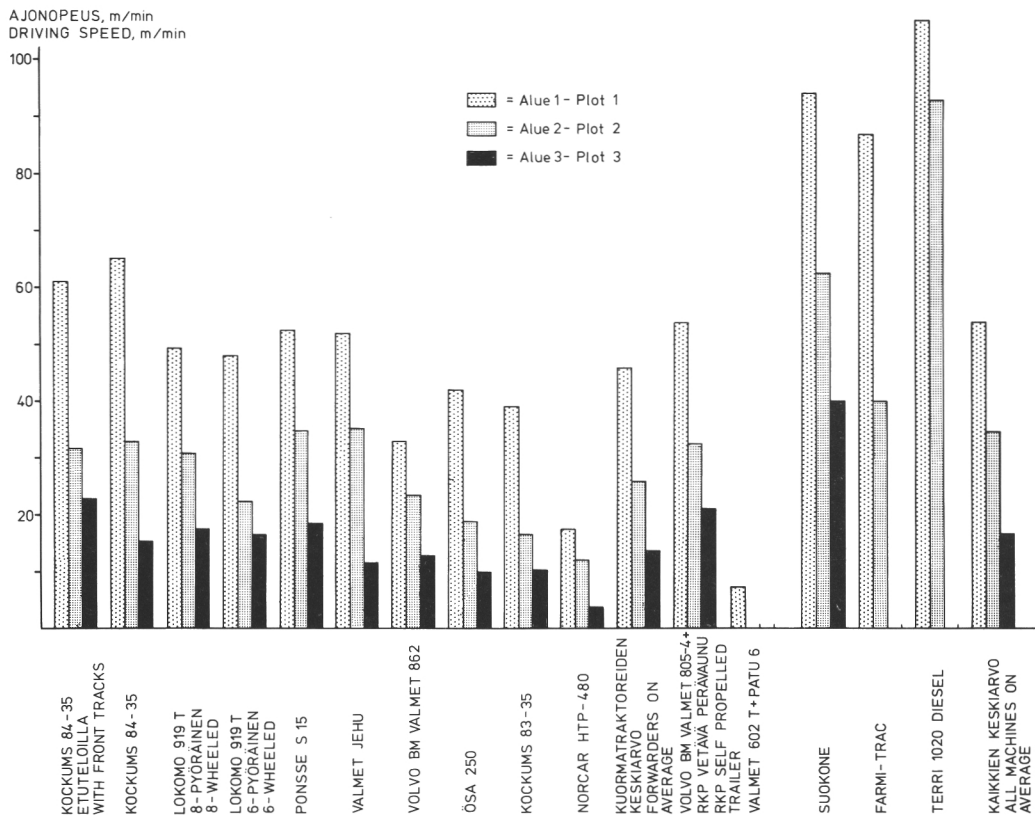
Ajonopeus on tässä puhtaasti liikkuvuutta kuvaava tunnus, eikä siinä ole otettu huomioon kuorman kokoa. Kuvassa 15 on esitetty ajonopeudet kuormattuina ensimmäisellä ajokerralla kullakin koealueella.

Ensimmäisen ajokerran ajonopeus antaa kuvan olosuhteiden vaikutuksesta koneen ajonopeuteen. Sen jälkeen ajo-olot helpottuivat huomattavasti lumen kokoonpuristumisen seurauksena. Ajojäljessä lumi ei ollut kuitenkaan ehtinyt kovettua ensimmäisen

ajokerran jälkeen. Keskimääräiset kuormien koot ensimmäisen ajokerran jälkeen on esitetty taulukossa 2.

Ensimmäisellä ajokerralla kuormatraktoreista Kockums 84—35:t, Lokomo 919 Turbo, Ponsse S 15 ja Valmet Jehu muodostavat nopeudeltaan melko yhtenäisen ryhmän. Kuusipyöräinen Lokomo 919 Turbo ajoi tosin muita hitaammin loivassa rinteessä ja Valmet Jehu jyrkässä rinteessä, mutta niiden ajourat näillä alueilla olivat keskimääräistä vaikeammat. Volvo BM Valmet 862 ja ÖSA 250 -kuormatraktoreiden ajonopeus oli 16—37 % kuormatraktoreiden keskiarvoa alhaisempi. ÖSA 250:n tulosta heikensi takatelojen löysyys, sillä telin pyörät luistivat telojen sisällä jonkin verran. Kockums 83—35 oli ajonopeudeltaan Volvo BM Valmet 862:n ja ÖSA 250:n tasoa, mutta se ajoi vain 5,0 m³:n kuormalla. Norcar HTP-480:n ajonopeus oli eri alueilla keskimäärin 63 % kuormatraktoreiden keskiarvoa alhaisempi kuorman koon ollessa 4,0 m³.

Myös myöhemmillä ajokerroilla Kockums 84—35:t, Lokomo 919 Turbo, Ponsse S 15 sekä Valmet Jehu muodostivat ajonopeudeltaan suurimpien kuormatraktoreiden ryhmän, joka ei kuitenkaan ole niin yhtenäinen



Kuva 15. Ajonopeus kuormattuna koskemattomassa lumessa.
Fig. 15. Driving speed when loaded in undisturbed snow.

kuin ensimmäisellä ajokerralla. Volvo BM Valmet 862 ja ÖSA 250 olivat myös myöhemmillä ajokertoilla edellä mainitun ryhmän traktoreita hitaampia. Kockums 83-35:n ajonopeus ensimmäisen ajokerran jälkeen oli Volvo BM Valmet 862:n ja ÖSA 250:n luokkaa, mutta kuormat olivat pienempiä. Norcar HTP-480:llä ensimmäisen ajokerran ajonopeus oli pieni verrattuna seuraaviin ajokertoihin, joten koskematon lumi haittasi kulkua selvästi.

Nelivetoisen Volvo BM Valmet 805-4-maataloustraktorin ja RKP-10 000 -vetävän teliperävaunun muodostaman yhdistelmän ajonopeus ensimmäisellä ajokerralla oli samaa suuruusluokkaa kuuden nopeimman kuormatraktorin kanssa. Traktorin kuorma oli kuitenkin ajokerrasta riippuen 12-65 % pienempi ja urien vaikeusaste keskimääräistä helpompi. Myös myöhemmillä ajokertoilla Volvo BM Valmet 805:n ajonopeudet olivat samaa luokkaa kuin nopeimmilla kuormatraktoreilla, mutta kuorman koko oli edel-

leen huomattavasti pienempi.

Takavetoisen Valmet 602 Turbo -maataloustraktorin ja Patu 6 -teliperävaunun muodostamalla yhdistelmällä ajettiin suolla ensimmäinen ajokerta tyhjänä. Nopeus oli tyhjänäkin hyvin pieni, vain 16,2 % kuormatraktoreiden keskimääräisestä ajonopeudesta. Traktorilla ei saatu lainkaan tulosta rinnekokeissa, sillä se ei pystynyt liikkumaan loivassakaan rinteessä edes tyhjänä.

Tela-alustaisten koneiden ajonopeus ensimmäisellä ajokerralla oli hyvissä olosuhteissa suuri, tosin pienten telamaastureiden kuormat olivat pieniä. Telamaastureiden liikkuvuus kuormattuna heikkeni nopeasti kaltevuuden lisääntyessä, eivätkä ne selviytyneet jyrkemästä, kaltevuudeltaan 14,5 % rinteestä. Farmi-Tracin kuorman koko oli tällöin 1,3 m³ ja Terri 0,3 m³. Ajotapa ei kuitenkaan vastannut telamaastureiden normaalia käytäntöä. Suokoneen prototyyppikoneen nopeus oli kaikilla koealueilla 31-44 % kuormatraktoreiden keskiarvoa suurempi.

Taulukko 2. Koneiden koealueilla ajamat urat sekä keskimääräinen kuorman koko ensimmäisen ajokerran jälkeen.

Table 2. The number of the test lanes driven by each machine and the average load size after the first trip.

	Tasamaa <i>Level ground</i>		Loiva rinne <i>Moderate slope</i>		Jyrkkä rinne <i>Steep slope</i>	
Farmi Track	14	3,1	16	2,4	17	0,8
Kockums 83—35	3	6,6	4	7,0	4	5,3
Kockums 84—35	5	8,6	15	9,3	16	9,9
Kockums 84—35 etustelastolla — with front track	4	8,6	3	9,2	3	8,7
Lokomo 919 T 6-pyöräinen — 6-wheeled	7	8,9	6	9,2	7	10,0
Lokomo 919 T 8-pyöräinen — 8-wheeled	6	8,7	9	10,8	6	9,9
Ponsse S 15	12	9,0	10	9,1	13	9,6
Norcar HTP—480	11	5,7	12	4,2	15	3,3
Suokone	9	6,0	8	14,9	5	12,4
Terri 1020 D	15	2,2	17	0,5	18+19	0,3
Valmet 602	16	2,3	—	—	—	—
Valmet Jehu	13	8,1	11	9,6	9	9,7
Volvo BM Valmet 805—4	2	5,6	2	5,2	2	4,8
Volvo BM Valmet 862	10	8,3	13	8,1	14	8,7
ÖSA 250	8	8,2	7	8,2	8	8,1

Myöhemmillä ajokerroilla tela-alustaisten koneiden ajonopeudet olivat suuret. Huomion arvoinen seikka on Suokoneen suuri kuorma, sillä kuormatilaan mahtui kaksi puutavarannippua peräkkäin. Telamaastureilla kuorman koon ja kaltevuuden vaikutus ajonopeuteen oli merkittävä, sillä vaikeimmissa alueilla ne kykenivät ajamaan ainoastaan hyvin pienillä kuormilla.

542. Ajanmenekki kuljetussuoriteyksikköä kohti

Suorituskykyä puutavaran maastokuljetuksessa runsaslumisissa olosuhteissa kuvaa parhaiten ajanmenekki kuljetussuoriteyksikköä kohti (kuva 16). Ajanmenekki laskettiin alueittain kolmen ensimmäisen ajokerran kuormattuna ja tyhjänä ajon perusteella. Tunnus kuvaa liikkuvuutta monipuolisesti, sillä sen arvoon vaikuttavat ajonopeuksien lisäksi kuormien koot.

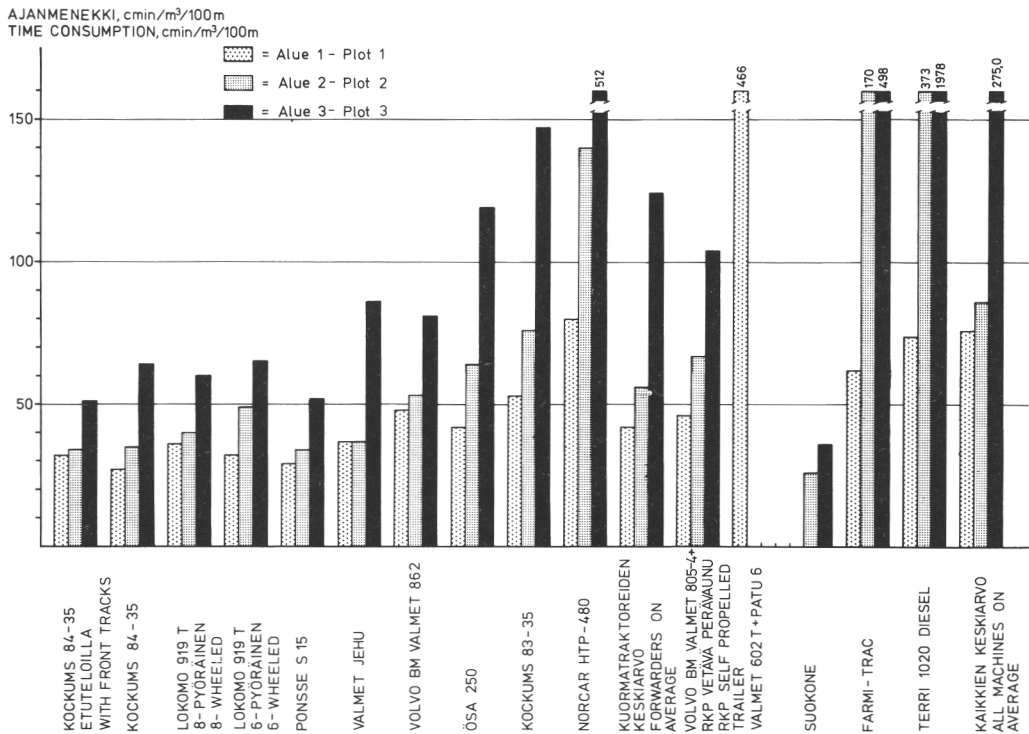
Kuormatraktoreista erottuivat Kockums 84—35:t, Lokomo 919 Turbot, Ponsse S 15 sekä Valmet Jehu omaksi ryhmäkseen. Ryhmän sisällä voidaan havaita Kockumsin ja Lokomon kuusipyöräisten versioiden ajan-

menekin olevan pienempi tasamaalla ja loivassa rinteessä, kun taas kahdeksanpyöräisten ajanmenekki on pienempi jyrkässä rinteessä.

Volvo BM Valmet 862:n ja ÖSA 250:n ajanmenekki oli selvästi edellä mainittuja koneita suurempi. ÖSA 250:n ajanmenekki oli jyrkässä rinteessä nopeimpiin traktoreihin verrattuna yli kaksinkertainen. Kockums 83—35:n ajanmenekki oli suurempi kuin ÖSA 250:n. Norcar HTP—480:n ajanmenekki oli tasamaalla noin kolminkertainen parhaisiin kuormatraktoreihin verrattuna.

Nelivetoisen Volvo BM Valmet 805—4-maataloustraktorin ja RKP:n vetävän perävaunun yhdistelmän ajanmenekki oli hyvin lähellä kuormatraktoreiden keskiarvoa. Sen ajourat olivat tosin olosuhteiltaan helpoimasta päästä kaikilla koealueilla. Takavetoisen Valmet 602 Turbon ja Patu 6 -teliperävaunun yhdistelmällä voitiin liikkua ainoastaan tasamaalla ja tällöinkin ajanmenekki oli samaa suuruusluokkaa kuin hitaimmilla kuormatraktoreilla jyrkässä rinteessä.

Tela-alustaisten koneiden ajanmenekissä oli koosta riippuen suuria eroja. Järeän Suokoneen ajanmenekki oli sekä loivassa että jyrkässä rinteessä selvästi pienin. Kaltevuu-



Kuva 16. Ajanmenekki kuljetussuoriteyksikköä kohden (cmin/m³/100 m) kolmen ensimmäisen ajokerran perusteella.

Fig. 16. Time consumption (cmin/m³/100 m) based on the first three trips (driving empty + loaded).

den vaikutus ajanmenekkiin oli pieni. Keveiden telamaastureiden ajanmenekki oli tasamaalla 48–76 % kuormatraktoreiden keskiarvoa suurempi ja jyrkässä rinteessä peräti 4–16-kertainen kuormatraktoreiden keskiarvoon verrattuna. Suureen ajanmenekkiin vaikutti pieni kuorma.

55. Tulosten tarkastelu

Tutkimukseen liittyy virhemahdollisuuksia, kuten eri kuljettajan käyttö kussakin koneessa ja olosuhteiden vaihtelu. Johtopäätökset yhden koneyksilön kolmen ajouran ajosuoritusten sekä perinteisellä tutkimusmetodiikalla saatujen tulosten perusteella on tehtävä varoen. Kaikkia epävarmuustekijöitä on näin laajassa vertailevassa tutkimuksessa kuitenkin mahdoton poistaa.

Tutkimusolot olivat ainutkertaiset, eivätkä ne välttämättä täysin vastanneet käytännön

olosuhteita. Tutkimusajo ei sisältänyt esimerkiksi metsäkuljetukselle tyypillistä mutkitteluja ja toistuvaa pysähtelyä. Tässäkin tutkimusolot ja koneiden suuri lukumäärä asettivat rajoituksia suoritustekniikalle, ja pyrkimyksenä oli nimenomaan pelkistää ajotapa tulosten vaihtelun vähentämiseksi. Työjärjestys ei vastannut telamaastureiden eikä takavetoisen maataloustraktorin normaalia työskentelymenetelmää vaikeissa lumioloissa. Vertailukelpoisuuden vuoksi ajotapa oli kuitenkin kaikille sama.

Kokonaisuutena voidaan tutkimustulosten luotettavuutta pitää edellä mainituin rajoitusten hyvänä. Tämä voidaan havaita esimerkiksi siitä, että koneiden järjestys tarkasteltavien muuttujien arvojen suhteen pysyy pääosin samana, eikä vaihtelu ole epäloogista.

Seuraavassa tarkastellaan koneiden liikkuvuutta lumessa sekä siihen vaikuttavia seikkoja. Käsitös liikkuvuudesta on muodostettu vertailevan tutkimuksen, koneenvalmistajien ilmoittamien teknisten tietojen sekä kirjallisuuden perusteella. Vertailevan tutki-

muksen osalta käsitys liikkuvuudesta muodostettiin tarkasteltavien muuttujien, raidekuvien, video- ja kaitafilmmateriaalin sekä silmävaraisten havaintojen perusteella. Todellisten pintapaineiden sekä pintapaineen jakautumisen selvittäminen ei ollut koetilanteissa mahdollista, joten seuraavassa tyydytään rengasvarustuksien sekä akselimassojen tarkasteluun.

Kockums 84—35 on raskas ja sen etuakselimassa on suuri. Siinä on kapeat takarenkaat. Suuren moottoritehon ansiosta massa/teho -suhde on kohtuullisen pieni, ja tämän sekä hyötysuhteeltaan ilmeisen hyvän voimansiirron ansiosta sen ajonopeus on suuri. Traktori kulkee syvällä, ja pyrkimys kulkea tiivistyneen lumikerroksen päällä on pieni. Etutelistosta on hyötyä vaikeimmissa olosuhteissa, koska traktori tällöin pyrkii kulkemaan aikaisemmilla ajokerroilla tiivistämänsä lumikerroksen päällä. Helpoissa olosuhteissa etutlasto alentaa ajonopeutta todennäköisesti kitkatekijöiden ja lisääntyneen massan johdosta. Kockums 84—35:n molempien versioiden liikkuvuus lumessa on hyvä.

Kahdeksanpyöräinen Lokomo 919 Turbo on raskas. Etutelleille kohdistuva massa on suuri. Massa/teho -suhde on melko korkea, mutta suuren vetovoiman johdosta massa/vetovoima -suhde pieni. Sen ajonopeudet eivät ole erityisen korkeat. Traktori kulkee melko syvällä nousten ilmeisesti etutelin ansiosta kuitenkin tiivistämänsä lumikerroksen päälle. Etutelin vaikutus liikkuvuuteen on melko vähäinen, ja ero kuusipyöräiseen versioon nähden on selvin ensimmäisellä ajokerralla.

Kuusipyöräinen Lokomo 919 Turbo eroaa edellisestä alhaisemman etuakselimassansa ja siitä seuraavien edullisempien massa/teho- sekä massa/vetovoima -suhteiden osalta. Varsinkin massa/teho -suhdetta voidaan pitää pienenä. Myös sen renkaat ovat melko leveät. Traktori kulkee kohtuullisesta nopeudesta huolimatta melko syvällä eikä nouse tiivistyneen lumikerroksen päälle. Molempien Lokomo 919 Turbon versioiden liikkuvuus lumessa on hyvä.

Ponsse S 15 edustaa tutkituista keskikokoisista kuormatraktoreista usuinta suunnittelua. Vetovoima on moottoritehoon nähden suuri. Massa/teho- ja massa/vetovoima -suhteet ovat keskikokoisten kuormatraktoriin pienimmät. Pienen etuakselimassan, leveiden renkaiden, etupyörää melko voimakkaasti keventävän telin sekä suuren ajonopeuden ansiosta kulkuvastus on melko alhainen. Raidekuvista päätellen traktori ei kulje kovin syvällä hangessa vaan pyrkii nousemaan tiivistetyn lumikerroksen päälle, mitkä seikat viittaavat alhaiseen kulkuvastukseen. Edellä mainittujen tekijöiden johdosta koneen liikkuvuus lumessa on erittäin hyvä.

Valmet Jehu on raskas, suurikokoinen, kahdeksanpyöräinen ja kapearenkainen. Yleensä

nämä ominaisuudet yhdistetään hyvään liikkuvuuteen erityisesti äärevissä lumioloissa. Mekaanisen voimansiirron hyötysuhde on periaatteessa hyvä, mutta momentinmuuntimen puuttuessa ei vetovoiman maksimiarvo ole erityisen suuri. Massa/teho -suhde on melko korkea ja massa/vetovoima -suhde lähellä tutkittujen kuormatraktoreiden keskiarvoa. Painojakauma tyhjänä on kahdeksanpyöräiseksi traktoriksi tasapainoinen. Traktori kulkee syvällä eikä erityisesti pyri nousemaan tiivistyneen lumen päälle. Valmet Jehun lumikelpoisuus on erittäin hyvä ja se soveltuu suuren maavaran ansiosta vaikeisiin lumioloihin.

Volvo BM Valmet 862 on raskas erityisesti etuakselimassaltaan. Takarenkaat ovat melko kapeat. Massa/teho -suhde on suuri. Massa/vetovoima vastaa kuormatraktoreiden keskiarvoa. Jyrkässä rinteessä etupyörät pyörähtivät nykäyksittäin ilmeisesti etu- ja taka-akseleiden nopeuserosta johtuen, joten etupään vetovoima vaihteli. Voimansiirto ei kaiken kaikkiaan vaikuta onnistuneelta, sillä traktori oli painoeronkin huomioon ottaen huomattavasti samalla moottorilla varustettua Ponssea hitaampi. Hallonborgin (1983) mukaan telin etupyörän nousupyrimys on melko voimakas. Traktori kulkee melko syvällä lumessa eikä pyri kulkemaan tiivistetyn lumikerroksen päällä. Liikkuvuus lumessa on melko hyvä.

ÖSA 250:n massa on kohtuullinen. Etuakselimassa on suhteellisen suuri, renkaat leveät, moottori tehokas ja telin nousupyrimys Hallonborgin (1983) mukaan melko voimakas. Traktori ei kulje kovin syvällä hangessa ja pyrkii helpoissa lumioloissa nousemaan tiivistetyn lumen päälle. Vaikeissa oloissa se sen sijaan pyrkii kaivautumaan. Jyrkässä rinteessä runko resonoi keskinivelen ympäri. Hydrostaattis-mekaanisesta voimansiirrosta johtuen suurin vetovoima on melko pieni. Voimansiirron hyötysuhde on ilmeisesti alhainen, sillä ajonopeus laski huomattavasti olosuhteiden vaikeutuessa. ÖSA 250:n lumikelpoisuutta on pidettävä kohtuullisena. Äärevissä olosuhteissa saattavat pienehkö vetovoima, hydraulijohdon lämpenemisestä sekä ohenemisesta aiheutuvat tehonhäviöt ja paineenrajoitusventtiilin aukeaminen muodostaa ongelmia.

Kockums 83-35 on melko kevyt, mutta massa/vetovoima -suhde on kuormatraktoreiden suurin ja massa/teho keskiarvon yläpuolella. Renkaat ovat leveät, mutta niiden halkaisija on pieni. Painojakauma on tyhjänä kahdeksanpyöräiselle tyypillisen etupainoinen. Kulkuvastuksen voidaan olettaa muodostuvan suureksi, tosin etutelin asentoa voidaan säätää hydraulisyllintereillä. Voimansiirron hyötysuhde ei ilmeisesti ole kovin korkea, sillä vaikeimmalla koelueella traktori pysähtyi, vaikka pyörät eivät luistaneetkaan. Kockums 83-35 pyrkii kaivautumaan vaikeissa olosuhteissa. Sen lumessakulkukyky on tyydyttävä.

Keuyen Norcar HTP-480 -traktorin massa/te-

ho- ja massa/vetovoima -suhteet ovat alhaiset. Traktorin etuteleissa on kallistussylinterit. Renkaat ovat leveät, mutta niiden halkaisija on pieni. Ajonopeus hidastuu herkästi olosuhteiden vaikeutuessa. Vaikeissa olosuhteissa kone pystyy etenemään runkoniveltä edestakaisin kääntäen. Hydraulioiljyn tilavuusvirran tasaus pyörämootoreille osoittautui riittämättömäksi, sillä runkonivelen kääntötilanteessa ristikkäiset telit menettivät otteensa kahden muun vastaavasti pysähtyessä. Traktori pyrki kuitenkin nousemaan tiivistyneen lumen päälle. Lumessakulkukyky ei ole keskikokoisten kuormatraktoreiden tasoa, mutta se on riittävä helpokoihin lumioloihin. Rajoittava tekijä on lähinnä pienihalkaisijaiset pyörät, sillä maavara on keskikokoisten koneiden luokkaa.

Nelipyörävetoisen **Volvo BM Valmet 805-4-maataloustraktorin ja vetävän RKP-10 000 -perävaunun** yhdistelmä on kevyt ja massa/teho -suhteeltaan alhainen. Massa jakautuu akselaiden lukumäärästä ja sijainnista johtuen laajalle alueelle, ja erityisesti etuakselimassa on pieni. Vetävien pyörien lukumäärä on suuri. Koneyksikkö osoittautui nopeaksi kaikilla koealueilla, mutta ilmeisesti kapeista renkaista johtuen se pyrkii ajokertojen lisääntyessä painumaan syvemmälle lumen. Yhdistelmän liikkuvuus lumessa oli hyvä. Tosin käytetty ajotapa ei tuonut esille etupyöräohjauksesta aiheutuvia mahdollisia puutteita ohjattavuudessa.

Takapyörävetoisen **Valmet 602 Turbon ja Patu 6 -teliperävaunun** yhdistelmän massa/teho -suhde on tutkittujen koneiden alhaisin. Lumioloissa käytettävissä olevaa vetovoimaa ei rajoita vetokoneen voima, vaan pieni vetävien pyörien lukumäärä. Lisäksi on huomattava, että vapaasti pyörivien pyörien suuri määrä lisää kulkuvastusta, sillä niiden kulkuvastus on suurempi kuin vetävien pyörien (Malmberg 1981). Ongelmana oli huonon ohjattavuuden lisäksi erityisesti liikkuminen umpihangessa ja rinteissä.

Suokone Oy:n prototyypikone poikkeaa muista tutkituista tela-alustaisista koneista sikäli, että suuren massansa ansiosta se suuresta telapinta-alasta huolimatta tiivistää lumikerroksen alla eikä näin ollen kulje aivan lumikerroksen pinnassa. Tiivistyneen lumen ja suurten, pitkien telojen ansiosta vetovoima on lumioloissa suuri. Tehokkaan moottorin ansiosta massa/teho -suhde on pieni. Ajonopeutta rajoittivat voimansiirron välityssuhteet. Lumen puristamiseen ja muodonmuutoksiin kuluva energia on ilmeisesti koneen massaan nähden pieni. Liikkuvuus on vaikeissakin lumioloissa erinomainen.

Farmi-Tracin ja Terri 1020 Dieselin massa/teho -suhde on alhainen. Telamaasturit ovat kevyitä, joten vetovoima jää pehmeässä lumessa pieneksi.

Perävaunut eivät olleet vetäviä, joten niiden kulkuvastus on suuri erityisesti koskemattomassa lumessa kuormattuna ajattaessa. Edellä mainittujen seikkojen johdosta käytettävissä oleva vetovoima-alue on pieni. Telamatot alkavat helposti luistaa, ja koneet kaivautuvat lumeen etupään kallistuksesta huolimatta. Liikkuvuus lumessa on tasaisella maalla hyvä, mutta ajo ylämäkeen tuottaa kuormattuna vaikeuksia. Telamaastureista Farmi-Trac on liikkuvuudeltaan Terriä parempi suuremman massan sekä hydrostaattisen voimansiirron ansiosta. Variaattorivoimansiirrosta johtuen Terri ei lähde liikkeelle kuormattuna vaikeissa olosuhteissa täysin ilman nykäystä, ja tällöin telat murtavat helposti alla olevan lumikerroksen. Todettakoon, että Farmi Trac -telamaasturia on nyttemmin saatavana myös vetävällä perävaunulla varustettuna.

Teorian tarkastelussa todettiin ajoneuvon liikkuvuuteen vaikuttaviksi tekijöiksi mm. vetovoima sekä kulkuvastus. Tutkimustulosten perusteella mainitut tekijät painottuvat eri konetyypeillä hieman erilailla. Pyöräkoneilla pieni kulkuvastus on vetovoiman ohella tärkeä ominaisuus. Tela-alustaisilla koneilla lumen aiheuttama kulkuvastus on yleensä pyöräkoneita pienempi, joten käytettävissä olevan vetovoiman suuruus muodostuu kriittiseksi tekijäksi.

Kuormatraktoreilla liikkuvuuteen vaikuttavat lähinnä vetovoima, massa, painojakauma sekä rengas- ja telavarustus. Erityisesti massa/teho- ja massa/vetovoima -suhteilla sekä pyöräkoolla on suuri vaikutus lumessa. Olettamukset leveiden renkaiden paremmuudesta pitävät koetulosten valossa paikkansa, samoin koneensuunnittelijoiden käsitykset painojakauman merkityksestä. Vetovoiman osalta ratkaisevaa ei välttämättä ole sen maksimiarvo vaan suuruus käytetyllä ajonopeudella.

Etutelasto parantaa liikkuvuutta vaikeissa olosuhteissa. Teliän kallistusmahdollisuus tai rakenteellisista seikoista johtuen etummaista pyörää keventävä teli ovat eduksi lumessa. Koneen kaikkien pyörien tulisi olla vetäviä ja halkaisijaltaan riittävän suuria. Akselistoissa pitäisi olla riittävän tehokas tasauspyörästäön lukitus. Tela-alustaisen kuormatraktorin liikkuvuus oli koeoloissa massaltaan vastaavia pyöräkoneita parempi.

6. HARVENNUSPUUN METSÄKULJETUKSEEN SOVELTUVIEN TRAKTOREIDEN RAITEENMUODOSTUS JA LIIKKUVUUS HEIKOSTI KANTAVALLA MAALLA

Viime vuosina on keskusteltu paljon harvennuspuun korjuussa puustolle ja maaperälle aiheutuvista vaurioista. Puuston vaurioitumista eri konetyypeillä on tutkittu usealla taholla. Maaperävaurioiden arviointi on osoittautunut puustovaurioiden mittausta vaikeammaksi, sillä raiteenmuodostus saattaa vaihdella varsin paljon eri maastokohdissa.

Koneiden raiteenmuodostuksen selvittämiseksi järjestettiin samanlaisissa oloissa vertailtava koe. Kiinnostuksen kohteena oli toisaalta myös turvemaiden erikoiskoneiden ja perinteisten pyöräkuormatraktoreiden selviytyminen äärevissä kantavuusoloissa.

61. Tutkimukseen osallistuneet koneet

Tutkimukseen pyrittiin saamaan samat koneet kuin talvella järjestettyyn kokeeseen. Valmet 822 Jehu ja Lokomo 919 Turbon kuusipyöräinen malli jäivät kuitenkin pois kokeesta. Kockums 83—35 osallistui kokeeseen varustettuna 80 kW tehoisella Volvo TD 45B -moottorilla. Traktorin massa oli 900 kg talvikokeeseen osallistunutta versiota suurempi. Suokoneen ensimmäisen prototyypin sijasta kokeessa oli kevään aikana valmistunut uusi Meri Trackmo -malli, jonka peruskoneena oli Volvo BM Valmet 805 -maatalustraktori. Uutena kokeeseen osallistui Rahtikone Oy:n valmistama Jermu-telamaasturin prototyyppi. Farmi Trac- ja Jermu -telamaastureissa oli vetävä perävaunu.

Koneiden tarkempi esittely on liitteessä 1. Varustus kokeessa oli seuraava:

	edessä	Renkaat takana	Telat ja ketjut	Telojen leveys, cm
Kuormatraktorit				
Kockums 83—35	600—22,5	600—22,5	Svedlundin superkantavat telat edessä ja takana	75
Kockums 84—35	600—34	600—26,5	Cunnebo CB -ketjut edessä Svedlundin superkantavat telat takana	75
Kockums 84—31	23,1—26 telapyörä	22—25 500—22,5	RKP—L -telat edessä Svedlundin superkantavat telat takana	73 75
Lokomo 919 Turbo kahdeksanpyöräinen	600—26,5	600—26,5	Svedlundin superkantavat telat edessä ja takana	75
Norcar HTP—480	500/45—22,5	500/45—22,5	Svedlundin sileäpintaiset superkantavat telat edessä ja takana (ylileveät)	76
Ponsse S 15	600—34	600—26,5	Cunnebo CB -ketjut edessä Svedlundin superkantavat telat takana	70
Ponsse S 15	600—34	700—26,5	Cunnebo CB -ketjut edessä Svedlundin superkantavat telat takana	83
Volvo BM Valmet 862	23,1—26	22—25	RKP:n superkantavat L-telat takana	68
ÖSA 250	600—34	600—26,5	Cunnebo CB -ketjut edessä Svedlundin superkantavat telat takana	75

Maataloustraktori-yhdistelmät

Volvo BM Valmet 805-4+RKP -vetävä perävaunu	500—26,5 500/60—22,5	600—34
Ford 6600 + Velsa-teliperävaunu	7,5—18	14—34 14—16

Tela-alustaiset koneet

Meri Trackmo

Farmi Trac

Jermu

Terri 1020 D

RKP—L -telat perävaunussa 59

Ei ketjuja eikä teloja

Kumitelat teräsrivoin 65 edessä
85 takana

Kumitelat teräsrivoin 60 edessä
50 takana

Kumitelat teräsrivoin 50 edessä
33 takana

Kumitelat teräsrivoin 65 edessä
30 takana

62. Tutkimusolot ja -menetelmä

621. Tutkimuspaikat

Koneiden suuri lukumäärä asetti vaatimuksia tutkimuspaikoille, joiden tuli olla olosuhteiltaan vertailukelpoisia, riittävän suuria ja vaikeusasteeltaan sellaisia, että riittävä määrä puuta pystyttiin kuljettamaan raitteenmuodostuksen seuraamiseksi. Koepaikojen tuli myös sijaita lähellä toisiaan siirtojen helpottamiseksi.

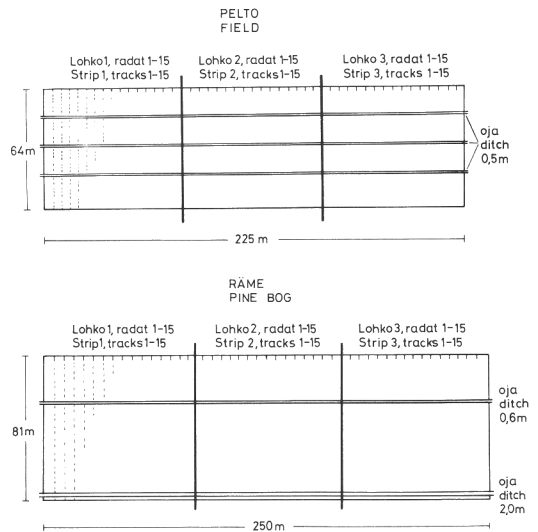
Metsähallinnon Iin hoitoalueessa valittiin läheltä Oijärveä kaksi koepaikkaa, joista toinen sijaitsi turvepohjaisella pakettipellolla ja toinen ojitetulla rämeellä.

Tutkimuspaikkojen muoto ja koko on esitetty kuvassa 17. Molemmilla alueilla oli 45 uraa, ja alueet oli jaettu kolmeen 15 uran lohkokoon. Pakettipellolla urien pituus oli 65 m ja leveys 5 m. Rämeellä urien leveys oli noin 4 m ja pituus 85 m. Kohtisuoraan uria vasten oli kaksi ojaa, joista toisen leveys oli 50 cm ja toisen 200 cm.

622. Tutkimuspaikkojen kantavuusolot

Koealueiden kantavuutta mitattiin kahdella eri menetelmällä. Turpeen leikkauslujuus mitattiin siipikairalla (Saarilahti 1978). Tunkeutumismittaus eli CI-arvo mitattiin kartio-penetrometrillä, jonka kärjen halkaisija ja korkeus olivat 18 mm (Scholander 1976).

Mittaukset tehtiin jokaiselta radalta kahdesta mittauspisteestä. Rämeellä toinen koepiste sijaitsi 3 m:n etäisyydellä ojasta ja toinen saran keskellä 20 m:n päässä lähimmästä



Kuva 17. Tutkimuspaikkojen koko ja muoto.
Fig. 17. The size and shape of the test areas.

ojasta. Pellolla toinen koepiste oli 3 m:n etäisyydellä ojasta ja toinen saran keskellä noin 14 m:n etäisyydellä ojista.

Siipikairaus tehtiin 0,10, 0,15, 0,25, 0,50 m:n syvyyksiltä ja tästä eteenpäin aina 0,25 m:n välein turvekerroksen pohjaan saakka. Turvekerroksen syvyys määritettiin 0,25 m:n luokissa siipikairan pohjakosketuksen perusteella. Tunkeutumismittaus mitattiin kuudesta kohdasta siipikairauspisteen ympäriltä 0,05, 0,10, 0,15, 0,25 ja 0,50 m syvyyksiltä.

Suon pinnan ominaisuudet mitattiin kymmenen neliömetrin ympyräkoelalalta, jonka keskipisteenä oli siipikairauspiste. Kantolä-

Taulukko 3. Suon ominaisuuksia koepaikoilla.
Table 3. Some properties of bog on the test areas.

Tunnus Variable	Räme — Pine bog		Pelto — Peat field	
	Keskiarvo Mean	Keskihajonta Standard deviation	Keskiarvo Mean	Keskihajonta Standard deviation
Suon syvyys, m Bog depth, m	1,9	0,2	1,8	0,4
Puiden tai kantojen lukumäärä/ koela Number of trees or stumps per plot	1,3	0,9	—	—
Varpuisuus Shrub coverage	2,1	0,8	—	—
Heinäisyys Grass coverage	0,0	0,0	4,0	0
Sammaleisuus Moss coverage	1,9	0,8	—	—
Hakkuutähteiden peittävyys Slash coverage	1,8	1,1	—	—
Vetisyys Wetness	0	0	0	0

pimitaltaan yli 5 cm:n puut ja kannot luettiin. Puulaji oli rämeellä lähes poikkeuksetta mänty. Pintakasvillisuus jaettiin varpuihin, sammaleisiin sekä ruohoihin ja heiniin, joiden pinta-alaosuudet määritettiin koelan neljäsosan tarkkuudella. Myös hakkuutähteiden peittävyys määritettiin koelan neljäsosan tarkkuudella.

Eri tunnusten peittävyys on koepaikoilla esitetty taulukossa 3. Pinta-alaosuus 0 tarkoittaa, ettei koelalla ollut ko. tekijää lainkaan. Vastaavasti pinta-alaosuuden ollessa 4 vähintään kolme neljäsosaa on ollut ko. tekijän peittämä.

Suon pinnan kosteus määritettiin viisi-luokkaisella ”saapasmenetelmällä” (Lappalainen ym. 1978). Paria poikkeusta lukuun ottamatta kaikki koelat olivat pinnaltaan niin kuivia, ettei saappaan pohja kastunut. Luokan arvoksi tuli tällöin 0.

Kummatkin koalueet olivat Pohjanmaan primäärisen soistumisen seurauksena syntyneitä pohjiltaan tasaisia aapasointa. Turpeen keskimääräinen syvyys oli kummallakin alueella vajaat kaksi metriä. Rämeellä oli puita tai kantoja enintään neljä koelaa kohti. Rämeellä puolet koalojen pinnasta oli hakkuutähteiden peitossa, mutta tähteet eivät missään muodostaneet vahvaa yhtenäistä suojamattoa. Noin puolet koalojen pinta-alasta oli rahkasammalten ja toinen puoli varpukasvillisuuden peitossa. Juuria, varpuja ja hakkuutähteitä esiintyi tasaisesti eri radoilla.

Turpeen leikkauslujuudet rämeellä ja pel-

lolla on esitetty taulukossa 4. Keskimääräinen leikkauslujuus rämeellä oli tilastollisesti erittäin merkitsevästi pienempi kuin pellolla. Tämä johtuu pellon turpeiden suuremmasta maatumaisuudesta ja vähäisemmästä kosteudesta. Turpeiden leikkauslujuudet vastaavat ojitettujen soiden leikkauslujuuksia (Rummukainen 1982). Leikkauslujuudet olivat selvästi suurimmat pellon lohkolle 1, jolla oli myös ohuin turvekerros. Lähes kaikki lohkot erosivat leikkauslujuuksiltaan tilastollisesti merkitsevästi. Leikkauslujuuksien keskihajonta pellolla oli suuri johtuen heinäkavillisuuden tuppaisuudesta.

Leikkauslujuuksien keskiarvot ratojen välillä erosivat rämeellä vain noin joka kymmenennässä tapauksessa tilastollisesti erittäin merkitsevästi (liite 3). Suurin ero ratojen välillä oli 15 % suuremmasta leikkauslujuudesta. Pellolla ratojen leikkauslujuuksien välillä ei ollut yhdessäkään tapauksessa erittäin merkitsevää eroa (liite 3).

Rämeellä leikkauslujuus oli melko tasainen kaikilla syvyyksillä. Pellolla heinäkavillisuuden vaikutus leikkauslujuuteen näkyi selvästi 10 cm paksun pintakerroksen ollessa kolmasosan lujempi kuin syvemmät kerrokset. Seuraava kerros noin puolen metrin syvyyteen asti oli tilastollisesti merkitsevästi heikompi kuin pinta mutta kuitenkin noin kolmasosan sitä syvempiä kerroksia vahvempi. Heikkeneminen jatkuu hitaampana syvemmälle mentäessä. Rämeellä leikkauslujuus oli ojan lähellä hieman suurempi kuin saran keskellä. Pellolla asia oli päinvastoin,

Taulukko 4. Turpeen leikkauslujuus pellolla ja rämeellä.
Table 4. The shear strength of peat on the field and on the pine bog.

Koelue <i>Experimental plot</i>	Leikkauslujuus, kN/m ² <i>Shear strength, kN/m²</i>	Hajonta <i>Deviation</i>	Havaintoja, kpl <i>Number of observations</i>	t-arvo <i>t-value</i>	Tilastollinen merkitsevyys <i>Statistical significance</i>
<i>Räme — Pine bog</i>					
Lohko 1 <i>Strip 1</i>	17,2	3,6	231	2,75	***
Lohko 2 <i>Strip 2</i>	18,1	3,4	268		
Lohko 3 <i>Strip 3</i>	17,2	2,9	273	3,23	***
Keskiarvo <i>Mean</i>	17,5	3,3	772		
<i>Pelto — Peat field</i>					
Lohko 1 <i>Strip 1</i>	25,1	7,4	204	6,21	***
Lohko 2 <i>Strip 2</i>	21,1	6,1	255		
Lohko 3 <i>Strip 3</i>	21,4	5,5	269	0,46	—
Keskiarvo <i>Mean</i>	22,3	6,5	728		

Taulukko 5. Tunkeutumisvastus pellolla ja rämeellä.
Table 5. The penetration resistance on the field and on the pine bog.

Koelue <i>Experimental plot</i>	CI-arvo, CI-value, <i>CI-value</i>	lb/sq.in. <i>lb/sq.in.</i>	Havaintoja, kpl <i>Number of observations</i>	t-arvo <i>t-value</i>	Tilastollinen merkitsevyys <i>Statistical significance</i>
<i>Räme — Pine bog</i>					
Lohko 1 <i>Strip 1</i>	32,3	11,0	150	3,53	***
Lohko 2 <i>Strip 2</i>	28,2	8,9	150		
Lohko 3 <i>Strip 3</i>	31,1	11,7	145	2,37	***
Keskiarvo <i>Mean</i>	30,5	10,7	445		
<i>Pelto — Peat field</i>					
Lohko 1 <i>Strip 1</i>	68,8	25,8	145	2,73	***
Lohko 2 <i>Strip 2</i>	61,6	19,0	140		
Lohko 3 <i>Strip 3</i>	60,1	14,7	150	0,73	—
Keskiarvo <i>Mean</i>	63,5	20,7	435		

ja ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Tunkeutumisvastus mitattiin CI-arvoina. Kultakin syvyydeltä mitatuista CI-pisteistä laskettiin keskiarvo, joka edustaa kunkin pisteen CI-arvoa. Näiden arvojen perusteella laskettu keskimääräinen tunkeutumisvastus oli pellolla kaksinkertainen rämeeseen verrattuna (taulukko 5).

Suurin tunkeutumisvastus oli pellon loh-

kolla yksi. Samoinhan oli myös leikkauslujuuden kohdalla. Heinätuppaiden ja liekojen aiheuttamasta suuresta hajonnasta johtuen lohkojen väliset tilastolliset erot olivat tunkeutumisvastuksilla pienempiä kuin leikkauslujuudella. Ratojen keskimääräisten CI-arvojen välillä oli tilastollisesti erittäin merkitseviä eroja vain rämeellä viidessä tapauksessa (liite 3). Mitatut CI-arvot vastaavat hyvin

Scholanderin (1976) mitaamia ruotsalaisten soiden CI-arvoja.

Pellon heinäkasvusto lisäsi tunkeutumisvastusta. Pinnasta 10 cm:n syvyyteen tunkeutumisvastus oli neljänneksen suurempi kuin syvemmällä. Rämeellä tunkeutumisvastus oli pinnassa vain hiukan suurempi kuin syvemmällä. Harvat puiden ja varpujen juuristot eivät vaikuta paljonkaan kartiopenetrometrin pienen kärjen alueella. Tunkeutumisvastus oli kummallakin koealueella saran keskelä suurempi kuin ojan vierellä. Pellolla ero on tilastollisesti merkitsevä. Ojien kuivatusvaikutus ei näytä lisännen turpeen mekaanista lujutusta.

Mittaustulosten perusteella koeolot olivat tasapuoliset kaikille koneille. Leikkauslujuuksien keskiarvot ratojen välillä erosivat rämeellä tilastollisesti erittäin merkitsevästi vain noin joka kymmenennessä tapauksessa. Pellolla ratojen välillä ei ollut tilastollisesti erittäin merkitseviä eroja. Tunkeutumisvastusten radoittaiset keskiarvot olivat kummallakin koepaikalla niin lähellä toisiaan, ettei ratojen välillä ollut tilastollisesti erittäin merkitseviä eroja.

Sade vaikuttaa maaperän kantavuuteen. Tutkimus kesti kolme viikkoa ja sateen riski oli suuri. Sääet kuitenkin suosivat koetta, sillä kokeen aikana satoi suhteellisen vähän. Sade vaikutti koetuloksiin parin koneen kohdalla erityisesti peltokohteella, jossa tiheän ojaston vaikutus raiteenmuodostukseen korostui saateella. Rämeellä sade aiheutti Kockums 84—35:n tutkimisen osittaisen epäonnistumisen koealueen ympäristön pehmetessä, jolloin kone ei kyennyt liikkumaan koeurien välillä. Tutkimusaikataulu ja vastaavan ajan sademäärät koepaikoilla on esitetty seuraavassa:

Pvm	Suo	Pelto	Sademäärä,
		Volvo BM Valmet 862	mm
20.8.			
21.8.	Volvo BM Valmet 862		
22.8.		Ponsse S 15 700 mm	
23.8.	Ponsse S 15 600 mm + 700 mm	Ponsse S 15 600 mm	13,8
24.8.	Farmi Trac	Ponsse S 15 600 mm	0,3
27.8.	Meri Trackmo	Norcar HTP 480	3,0
28.8.	Norcar HTP 480	Meri Trackmo	
29.8.	Kockums 84—31	Kockums 83—35	
30.8.	Kockums 83—35	Kockums 84—31, 84—35	1,0
31.8.	Kockums 84—35	Kockums 84—35	10,0
3.9.	Lokomo 919 Turbo	Lokomo 919 Turbo	
4.9.	Lokomo 919 Turbo, ÖSA 250		
5.9.		ÖSA 250	
6.9.		Volvo BM Valmet 805	1,0
7.9.	Volvo BM Valmet 805	Terri	
10.9.	Jermu, Terri	Ford 6600, Jermu	11,1
		Yhteensä	40,2

623. Käytetty ajotekniikka

Tutkimuksessa jäljiteltiin käytännön olosuhteita. Ajotekniikan valintaan vaikuttivat tutkimuspaikkojen asettamat rajoitukset. Koeratojen ympäristössä liikuttiin niin paljon, että pehmenemisen vaara oli olemassa. Myös tutkimusaikataulu asetti rajoituksia ajotekniikalle.

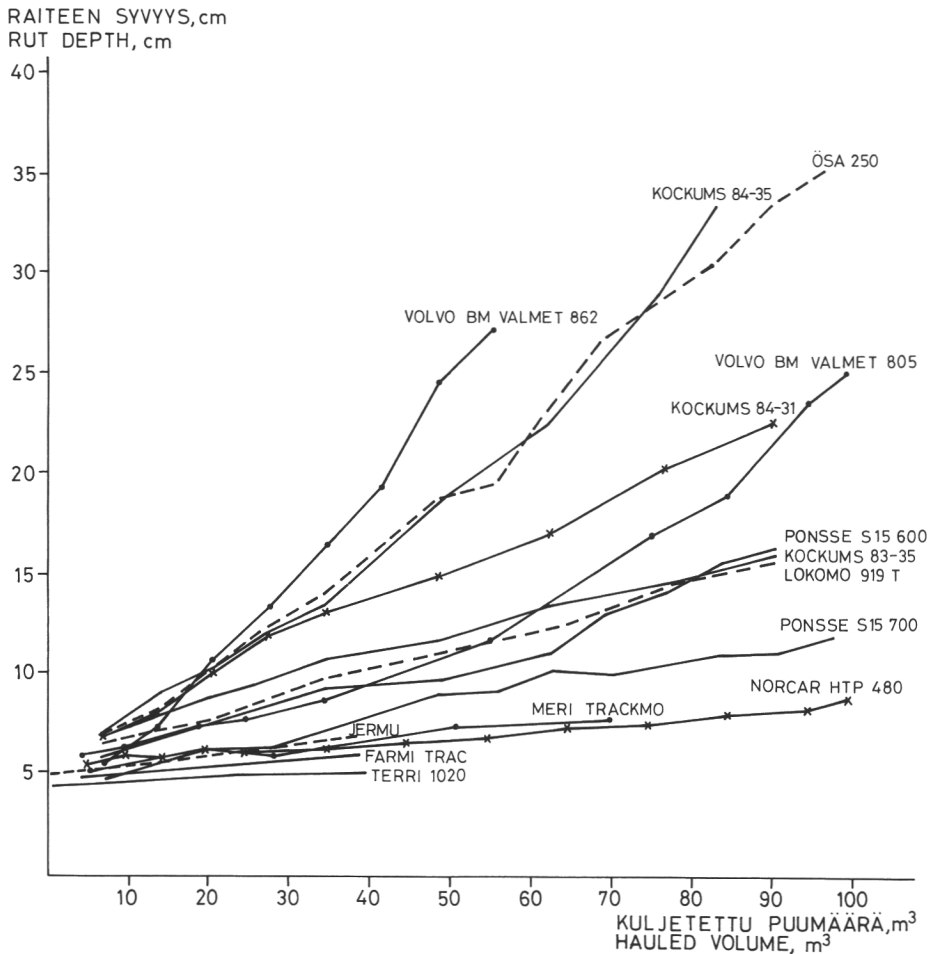
Pakettipellolla oli kolme rinnakkaista lohkoa, joista kullakin oli 15 rataa. Laitalohkoilla ajettiin pyöräkoneilla telat ja ketjut päällä. Keskimmaisella loholla ajettiin ilman teloja ja ketjuja. Telakoneilla ajettiin yksi tai kaksi lohkoa aikataulusta riippuen. Pellolla ajettiin samaa rataa edestakaisin kuormattuna. Ajokertojen välillä raiteet mitattiin ja kuvattiin. Tyhjänä ajo jätettiin pois tutkimusteknisistä syistä, sillä kuorman purkamisen olisi voinut huomattavasti aikaa, ja liikkuminen ratojen reuna-alueilla olisi lisääntynyt.

Myös rämeellä oli kolme 15 radan lohkoa. Rämeellä ajettiin metsäkuljetusta jäljitellen kolme uraa käsittävä lenkki tyhjänä, ja palattiin vastakkaiseen suuntaan kuormattuna takaisin. Kuormattuna ajon jälkeen raiteet mitattiin ja kuvattiin.

Ajokertojen määrä rajoitettiin rämeellä tutkimusaikataulun vuoksi enintään kuuteen. Puut punnittiin dynamometrillä. Kuormien koot sovittiin yhdessä koneenvalmistajien kanssa. Keskipokoisten kuormatraktoreiden kuorman koko oli 6 300 kg eli noin 7 m³ koossa kuljetettava 4-5 m pitkää mäntyrankaa. Norcar HTP-480 ja Volvo BM Valmet 805-4 ajoivat 4 500 kg:n kuormalla. Telamaastureiden kuorma oli koneesta riippuen 1 800-2 700 kg.

Högnäs (1985) selvitti kuorman koon vaikutusta keskikokoisen kuormatraktorin raiteenmuodostukseen rämeellä, jonka kantavuus oli runsaiden sateiden vuoksi turvemaiden keskimääräisiä kantavuusoloja huonompi. Kun kuormien koko vaihteli tutkimuksessa 1,7—10,0 m³:n välillä, raiteenmuodostus oli vähäisintä ajettaessa 6,6 m³:n kuormalla. Kuorman kokoa voidaan pitää näin ollen sopivana ainakin keskikokoisten kuormatraktoreiden osalta.

Raiteiden muodostumista seurattiin mitaamalla raiteet ennalta määrättyistä pisteistä, joita rämeellä oli kullakin uralla 9 ja pellolla 15. Jokaisesta pisteestä mitattiin molempien raiteiden syvyys ja leveys sekä raideleveys. Raiteet kuvattiin taustalevyjä käyttäen. Pellolla, jossa ajettiin ainoastaan kuormattuna,



Kuva 18. Raiteenmuodostus suhteessa kuljetettuun puumäärään pellolla.
 Fig. 18. Rutting as a function of hauled wood volume on field.

mittaukset ja kuvaus tehtiin jokaisen ajokerran jälkeen. Rämellä mittaukset ja kuvaukset tehtiin aina kuormattuna ajon jälkeen.

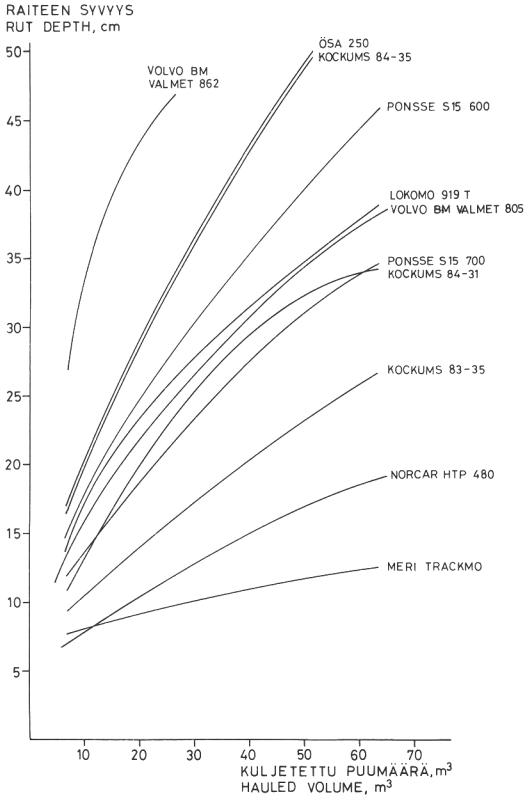
63. Tutkimustulokset

631. Raiteenmuodostus turvepellolla

Turvepellolla tiheässä olleet ojat vaikuttivat raiteenmuodostukseen ojien välilläkin. Ojien merkitys korostui sateella, josta kärsivät erityisesti 600 mm:n renkailla varustettu Ponsse S15 ja Kockums 84—35. Ojien merkityksen vähentämiseksi on tuloksissa esitetty erikseen ojakohtaisissa olleet mittauspisteet.

Raiteenmuodostus suhteessa kuljetettuun puumäärään telavarustuksella ajettaessa on esitetty keskimääräisenä kuvassa 18 sekä ojakohtaisissa kuvassa 19. Kuvassa 20 on esitetty raiteenmuodostus ajettaessa ilman teloja ja ketjuja. Kantavuusolot olivat liian huonot ilman teloja ajettaviksi.

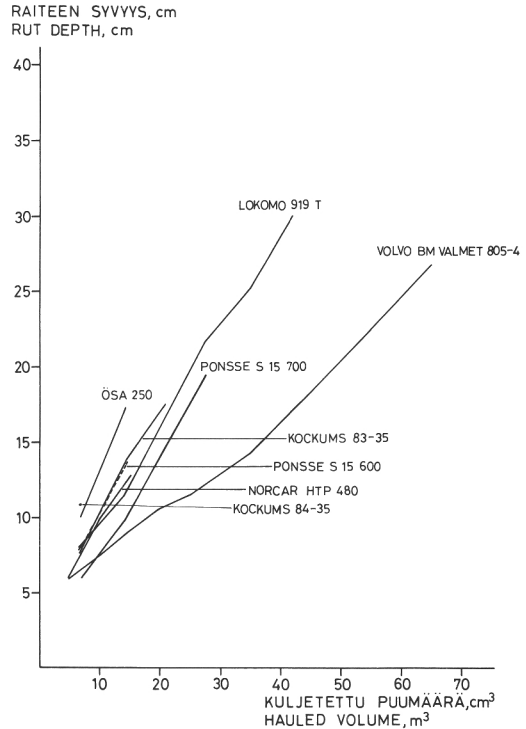
Tutkimustulokset eri peltolohkoilla olivat varsin yhdensuuntaiset. Turvemaille suunnitellut erikoiskoneet, Meri Trackmo ja telamaasturit, jättivät hyvin matalat raiteet. Kuormatraktoreiden ryhmässä koneiden väliset erot olivat yllättävän selvät. Norcar HTP-480 oli raiteenmuodostukseltaan varsin hyvä. Traktorilla on suuri kantava pinta, joka alhaisen omapainon kautta auttaa liikumaan pehmeällä maalla. On myös huomattava, että telat olivat normaalia leveämpiä sekä sileäpintaiset. Keskipöytäisten kuor-



Kuva 19. Raiteenmuodostus suhteessa kuljetettuun puumäärään ojakohtissa pelloilla.
Fig. 19. Rutting as a function of hauled wood volume at ditches on field.

matrattoreiden ryhmässä kahdeksanpyöräiset traktorit menestyivät yleensä kuusipyöräisiä paremmin. Poikkeuksen muodosti kuitenkin raiteenmuodostukseltaan paras keskikokoinen kuormatraktori, Ponsse S15. Ponsse ajoi kokeessa sekä 700 mm:n että 600 mm:n takarenkailla. Eroa peltokohteella eri rengastuksilla ajettaessa korosti sade, joka vaikutti 600 mm:n renkailla varustetun traktorin tulokseen erityisesti ojakohtissa. Ponssen ero muihin kuusipyöräisiin traktoreihin johtunee pääosin etupään keveydestä. Etupään pintapaineet nousevat ratkaisevaan asemaan telavarustuksella ajettaessa. Jos etupää on liian painava, sen pintapaineet muodostuvat kriittisiksi erityisesti ojakohtissa.

Takavetoisen maataloustraktorin ojanylityskyky kuormattuna osoittautui huonoksi. Koska kuorma tulee vapaasti pyörivien pyörien päälle, takavetoisen traktorin ohjautuvuuskin heikkenee. Traktori ei selvinnyt peltokohteella ojien ylityksistä, eikä kuvaa sen



Kuva 20. Raiteenmuodostus suhteessa kuljetettuun puumäärään pellolla ilman teloja ja ketjuja ajettaessa.
Fig. 20. Rutting as a function of hauled wood volume on field when driving without tracks and chains.

raiteenmuodostuksesta näin ollen saatu. Traktoria ei huonon selviytymiskyvyn vuoksi viety myöskään rämekokeeseen. Sen sijaan nelivetoinen maataloustraktori oli raiteenmuodostukseltaan hyvä.

Ilman teloja ja ketjuja pyöräkoneet eivät pystyneet kuljettamaan kovinkaan suurta puumäärää juuttumatta kiinni. Poikkeuksen muodosti kuitenkin vetävällä perävaunulla varustettu nelivetoinen maataloustraktori, joka selviytyi ilman teloja ja ketjuja hyvin. Keskikokoisten kuormatrattoreiden ryhmässä selviytyi parhaiten kahdeksanpyöräinen Lokomo 919 Turbo. Olosuhteita on pidettävä liian vaikeina ilman teloja tapahtuvaan ajoon, mutta kokeesta saatiin kuitenkin suuntaa antavaa tietoa esimerkiksi erilaisten akselistorakenteiden käyttäytymisestä.

Kahdeksanpyöräisten traktoreiden kuusipyöräisiä parempi ojanylityskyky näkyy ojakohtien raiteenmuodostuksessa. Sellaiset kuusipyöräiset koneet, joilla on suhteellisen ras-

kas etupää, olivat suurissa vaikeuksissa oja-kohdissa. Etupään painon vaikutus näkyy esimerkiksi Volvo BM Valmet 862:n tuloksissa.

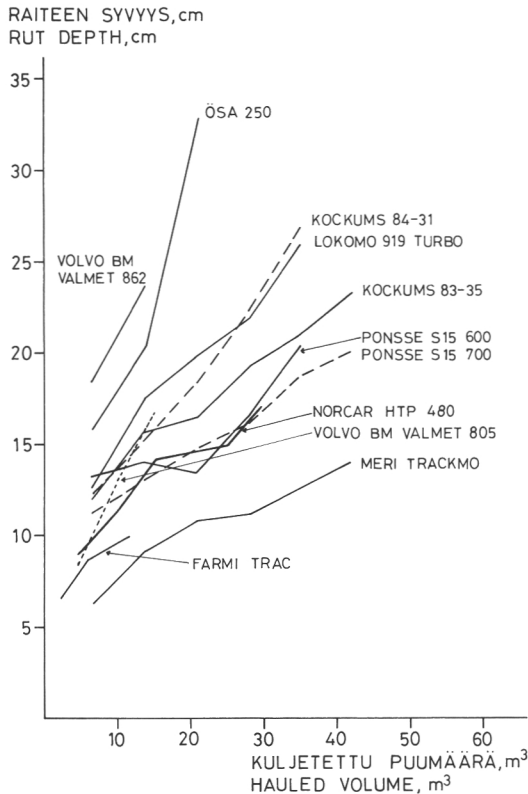
632. Raiteenmuodostus rämeellä

Tutkimuksen alkaessa ei ollut tietoa siitä, miten paljon puuta koneet pystyivät kohteilla kuljettamaan. Kun kuitenkin neljäntenä tutkimuspäivänä 700 mm:n takarenkailla varustettu Ponsse S15 oli ajanut 6 kertaa ja traktorilla olisi ollut vielä mahdollista ajaa, päätettiin ajokertamaksimiksi tutkimusaikataulun vuoksi rajata 6 kertaa. Tätä määrää on pidettävä riittävänä, sillä keskikokoisten kuormatraktoreiden kuudella kuormalla kuljetama 42 m³:n puumäärä vastaa jo huomattavaa kertymää normaalia harvennushakkuun ajouraa ajatellen. Ennen ajokertamaksimin määräämistä ajaneista traktoreista 600 mm:n renkailla varustettu Ponsse S15 olisi pystynyt 6 ajokertaan. Farmi Trac ajoi vain 4 kertaa tutkimusaikataulun tiukkuuden vuoksi. Kockums 84—35 tutkiminen rämeellä epäonnistui osittain koalueen ympäristön pehmettyä sateessa. Ajokertojen määrä rämeellä on esitetty seuraavassa:

Kone	Ajokertojen määrä
Kockums 84—31	5
Kockums 84—35	2
Kockums 83—35	6
Kockums 919 Turbo 8 -p.	4
Norcar HTP—480	6
Ponsse S 15 (600 mm)	5
Ponsse S 15 (700 mm)	6
Meri Trackmo	6
Volvo BM Valmet 805	3
Volvo BM Valmet 862	2
ÖSA 250	2
Farmi Trac	4
Jermu	1
Terri 1020	0

Raiteenmuodostus suhteessa kuljetettuun puumäärään on esitetty kuvassa 21. Tulokset ovat yhdensuuntaisia peltokohteella saatujen tulosten kanssa.

Tela-alustaiset erikoiskoneet selvisivät vaikeissa olosuhteissa hyvin. Ne jättivät maastossa vain matalat raiteet, ja niillä olisi voitu kohtuullisella jäljellä ajaa suurempikin puumäärä. Telamaastureista kuitenkin ainoastaan Farmi Trac selvisi vaikeuksista ojien ylityksistä. Erityisesti Terrillä oli vaikeuksia, sillä runsaan 0,5 m:n oja aiheutti kuormatulle



Kuva 21. Raiteenmuodostus suhteessa kuljetettuun puumäärään rämeellä.

Fig. 21. Rutting as a function of hauled wood volume on pine bog.

koneelle ongelmia. Vaikeudet johtuivat ilman voimansiirtoa olevasta perävaunusta sekä Terrille liian pitkästä puutavarasta.

Keskikokoisten kuormatraktoreiden ryhmässä erot koneiden selviytymiskyvyssä ja raiteenmuodostuksessa olivat suuret. Kahdeksanpyöräiset koneet selviytyivät pääsääntöisesti kuusipyöräisiä paremmin. Poikkeuksen muodosti kuitenkin raiteenmuodostukseltaan paras keskikokoinen kuormatraktori, Ponsse S15, jonka ero muihin kuusipyöräisiin traktoreihin oli varsin selvä. Etuakselipainoltaan suuri Volvo BM Valmet 862 oli rämeakohteellakin raiteenmuodostukseltaan huonoin.

Kevyt Norcar HTP-480 selviytyi rämeelläkin varsin hyvin. Myös nelivetoinen Volvo BM Valmet 805 varustettuna RKP:n vetävällä perävaunulla oli raiteenmuodostukseltaan ja selviytymiskyvyiltään hyvä.

64. Tulosten tarkastelu

Yleisinä edellytyksinä ajoneuvon liikkuvuudelle sekä vähäiselle raiteenmuodostukselle turvemaalla ovat suuri hyödynnettävissä oleva vetovoima sekä riittävän pieni massa. Vetovoiman merkitys näkyy selvästi erosta nelivetoisen vetävällä perävaunulla varustetun maataloustraktorin ja takavetoisen maataloustraktorin tutkimustuloksista. Takavetoisella yhdistelmällä ei huonon ojanylityskyvyn vuoksi pystytty ajamaan koealueilla lainkaan.

Massan sekä pintapaineen merkitys näkyy kevyiden koneiden hyvänä koetuloksena. Turvemaalla pintakerroksen lujuus on liikkuvuutta ajatellen olennainen. Pintakerros murtuu yleensä pyörän tai telan kosketuspinnan reunalla (Lee ja Jarrett 1977). Kosketuspinnan suuruus on kuitenkin aina rajoitettu tiettyyn ajoneuvon koosta ja rakenneperiaatteesta riippuvaan maksimiarvoon, joten kyse on viime kädessä massasta.

Tutkimustulokset osoittavat telakoneiden soveltuvan turvemaalle pyöräkoneita paremmin. Suuri kosketuspinta saadaan aikaan telakoneessa helpommin kuin pyöräkoneessa, ja lisäksi kuormitus jakautuu kosketuspinnalla tasaisemmin. Maan pinnan kanssa kosketuksessa olevien telalappujen määrä on suuri, joten yksittäinen telalappu voidaan muotoilla vähemmän kulkualustaan tunkeutuvaksi kuin pyöräkoneessa. Koska pintapaine on lisäksi alhaisempi, on telalapun tunkeuma maahan pienempi, ja telat rikkovat turvemaan pintakerrosta vähemmän kuin pyöräkoneen telat. Tavanomaisen pyöräkoneen telan lapun kuperaus on telakoneen vastaavaa suurempi, joten sen telat rikkovat maanpintaa voimakkaammin. Tämä rakenteellinen ero aiheuttanee osaltaan pyöräkoneiden huonomman selviytymiskyvyn turvemaalla.

Pyörätraktoreilla massan ja painojakauman vaikutus liikkuvuuteen ja raiteenmuodostukseen on ilmeinen. Tämä näkyy selvästi verrattaessa Ponsse S15:n rakennetta ja koetuloja muihin kuusipyöräisiin traktoreihin. Esimerkiksi ÖSA 250:n raiteenmuodostus oli selvästi Ponsse S15:ta suurempi. Raiteenmuodostukseen vaikuttavana rakenteellisenä erona on voimansiirtojärjestelmän lisäksi lähinnä kokonaisuudessa ja sen jakauma siten, että Ponsse S15:n etupää on n. 1 000 kg kevyempi. Painojakauman merkitys korostuu ojien ylityksessä, jolloin raskaskeulainen traktori pyrkii painumaan ojan vastapenkkaan.

Etuakselimassa on kriittinen tekijä nimenomaan teloilla ajettaessa, sillä tällöin suurimmat pintapaineet ovat edessä. Mikäli etupää murtaa turvemaan pinnan, ei takapääläkään ole mahdollisuuksia selvitä. Teloilla ajettaessa on eduksi, mikäli kuorma keventää etupäätä. Vastaavasti massan siirtäminen etuakselilta taka-akselille saattaa olla epäedullista ilman teloja ajettaessa, sillä tällöin takapään pintapaineet saattavat muodostua kriittisiksi.

Kuljetettu kuitupuu oli pituudeltaan 4—5 m, joten kuorman painopiste muodostui taaemmas kuin lyhyellä kuitupuulla. Lyhyempää puutavaraa kuljetettaessa olisivat etuakselimassat kasvaneet, ja etuakselimassaltaan suurten kuusipyöräisten traktoreiden vaikeudet olisivat korostuneet. Vastaavasti tukkia ajettaessa painopiste olisi siirtynyt taaemmaksi, jolloin raskaan etupään vaikutus olisi vähentynyt. Etutelaoston merkitys tuli kokeissa selvästi esille kahdeksanpyöräisten traktoreiden hyvänä tuloksena sekä Kockums 84—35:n ja etutelaostolla varustetun Kockums 84—31:n välisenä erona raiteenmuodostuksessa ja liikkuvuudessa. Etutelaoston käytöllä saavutetaan alhaisempi pintapaine, suurempi vetovoima sekä parempi ojanylityskyky kuin ilman sitä.

Etuteli lisää etupään massaa. Jotta kosketuspinnan lisäystä voidaan käyttää hyväksi, on kahdeksanpyöräisen traktorin etupään kuusipyöräisestä poiketen kannettava kuormaa. Kokonaisuutena etuteli muuttaa painojakaumaa turvemaalla liikkumista ajatellen epäedulliseen suuntaan. Edelleen telissä käytettävien pyörien halkaisija on yksinkertaisen akselin vastaavaa pienempi. Koetuloksista voidaankin havaita, että painojakaumaltaan edullinen kuusipyöräinen Ponsse S 15 oli raiteenmuodostukseltaan ja liikkuvuudeltaan massaltaan lähinnä vastaavan kahdeksanpyöräisen Kockums 83-35:n tasoa. Halkaisijaltaan suuri pyörä käyttäytyy ojanylityksessä jossakin määrin telin kaltaisesti: pyörä ei käy aivan ojan pohjalla, ja toisaalta pyrkimys kaivautua ojan vastapenkkaan on vähäinen.

Ketju- ja telavarustus vaikuttaa pyöräkoneiden raiteenmuodostukseen ja liikkuvuuteen. Useimmissa kuormatraktoreissa käytettiin Svedlundin superkantavia teloja. Volvo BM Valmet 862:n heikko tulos saattoi osittain aiheutua valmistajan valitsemista L-teloista, joiden telalapun reuna leikkaa voimakkaasti turvemaan pintakerrosta. Toisaal-

ta on kuitenkin huomattava, että käytetyn L-telan telalapun kuperuus on Svedlundin telaa pienempi, joten L-telan voidaan olettaa leikkaavan turvetta ajosuunnassa vähemmän. Volvo BM Valmet 862:n etupyörissä ei käytetty ketjuja, joten etupyörien vetovoima on renkaan kuvion tukkeutumisen johdosta saattanut jäädä ääritilanteessa pieneksi. Samasta syystä on etupyörien luisto ja turpeen pinnan rikkoutuminen saattanut muodostua suureksi, etenkin kun koneen etu- ja taka-akseleiden nopeusero talvikokeen perusteella on suuri. Norcar HTP-480:n hyvään tulokseen vaikuttivat pienen massan ja etuteliin li-

säksi erittäin hyvin turvemaalle soveltuvat telat. Käytettyjen Svedlundin telojen leveys oli normaalia suurempi, telalapun ulkopinta täysin sileä ja päät pyöristetyt, joten telat eivät helposti rikkoneet turpeen pintaa. Lisäksi telalapun kuperuus oli melko pieni.

Telamaastureiden raiteenmuodostus oli keissa vähäinen. Pitkällä puutavaralla kuormattuna niiden liikkuvuutta rajoittikin lähinnä ojanylityskyky, sillä koneista tuli tasapainoisia ja kuorma pyrki jäämään kannatukselle ojan reunalle. Ainostaan Farmi Trac pystyi ylittämään ojat rämeellä.

7. KONEIDEN SOVELTUVUUS ERILAISIIIN KÄYTTÖOLOIHIN

Koetuloksissa näkyy kuormatraktoreissa viime vuosina tapahtunut myönteinen kehitys. Traktoreita on kyetty keventämään uusilla materiaaleilla ja rakenteilla. Leveiden matalaprofiilirenkaiden käyttöönotto on parantanut osaltaan maastokelpoisuutta.

Melko vähän kokonaispainoltaan poikkeavien kuormatraktoreiden selviytymisessä huonosti kantavalla maalla on kuitenkin suuria eroja. Turvemaalla näet olosuhteet ovat niin kriittiset, että tietyn pintapainerajan ylittäminen johtaa ohuen kantavan kerroksen rikkoutumiseen ja tekee ajon piankin mahdottomaksi.

Erot keskikokoisten kuormatraktoreiden välillä olivat huomattavimmillaan juuri raiteenmuodostuksessa pehmeällä maalla. Vaikka myös lumessakulkuominaisuuksissa oli eroja, voidaan kaikkien kokeisiin osallistuneiden keskikokoisten kuormatraktoreiden kulkukykyä pitää vaikeisiinkin lumioloihin riittävänä.

Norcar HTP-480 edusti kokeessa kevyempää kuormatraktorikokoluokkaa. Se selviytyi erinomaisesti huonosti kantavissa olosuhteissa. Vaikka sen lumessakulkuominaisuudet eivät ole keskikokoisten kuormatraktoreiden luokkaa, riittävät ne kuitenkin Etelä-Suomen normaaleihin lumioloihin. Kokonaisuutena traktoria on pidettävä maastokelpoisuudeltaan hyvänä.

Koe osoitti myös maataloustraktoreiden maasto-ominaisuuksien suuren vaihtelun. Ne-

livetöisen, vetävällä perävaunulla varustetun maataloustraktorin maasto-ominaisuudet ovat varsin hyvät ja riittävät mainiosti urakointikäyttöönkin. Yli puolet viime vuosina tiloille hankituista maataloustraktoreista on nelivetoisia. Sen sijaan perinteisen takavetoisen maataloustraktorin ja ilman voimansiirtoa olevan perävaunun yhdistelmä soveltuu ainoastaan helppoihin olosuhteisiin. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, ettei traktorista olisi metsäajoon. Valtaosa leimikoista sijaitsee helpoissa maasto-oloissa, ja metsänomistajat voivat ajoittaa hankintapuun korjuun vähälumiseen aikaan. Suhteellisen halvoilla lisävarusteilla yhdistelmä on käyttökelpoinen ”isännän linjan” korjuukone.

Viime vuosina markkinoille tulleet telalustaiset koneet, kevyet telamaasturit ja järeämpi Meri Trackmo, osoittautuivat maasto-ominaisuuksiltaan hyviksi. Niiden tärkein käyttöalue on huonosti kantavien maiden puunkorjuussa, mutta Meri Trackmon liikkuvuus oli erittäin hyvä myös lumessa. Vaikka pyöräkoneet ovatkin kehittyneet, telalustaiset koneet ovat kuitenkin usein ainoa vaihtoehto turvemaiden kesäaikaisessa korjuussa. Turvemaiden harvennusten lisääntyminen lisää tela-alustaisten koneiden tarvetta tulevaisuudessa.

Kokonaisuutena katsoen koneissa on tapahtunut 1980-luvulla varsin myönteinen kehitys, joka jatkuu edelleen. Metsätraktoreissa on kyetty entistä paremmin yhdistämään te-

hokkuus ja ympäristöystävällisyys. Tela-alustaiset koneet tuovat helpotusta turvemaiden korjuuongelmiin. Kun koneet pystyvät työskentelemään hyväksyttävällä korjuujäljellä huonosti kantavilla mailla myös kesäaikana, niiden ja hakkuumiesten ympärivuotinen

työllistäminen helpottuu. On kuitenkin muistettava, että ratkaiseva vaikutus korjuun onnistumiseen on paitsi koneilla myös korjuuhenkilökunnan ammattitaidolla ja asenteilla sekä korjuun huolellisella suunnittelulla ja ajoittamisella.

8. YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitetään harvennuspuun metsäkuljetukseen soveltuvien traktoreiden maastokelpoisuutta. Tutkimuskohteina ovat lumessakulkukyky sekä raiteenmuodostus ja liikkuvuus huonosti kantavissa olosuhteissa. Kokeisiin osallistui 15 konetta, jotka edustivat läpileikkausta harvennuksissa käytävästä metsäkuljetuskalustosta.

Tutkimus koostuu kolmesta osakokeesta. Läpi talven 1983-1984 seurattiin Volvo BM Valmet 862 -kuormatraktorin liikkuvuutta lumessa käytännön työmailla. Helmi-maaliskuun vaihteessa 1984 järjestettiin Rovajärvellä kolmella kaltevuudeltaan erilaisella koepaikalla vertaileva koe, johon osallistui 15 konetta. Pääosin samat koneet osallistuivat elo-syyskuussa 1984 Iissä kokeeseen, jossa tutkittiin raiteenmuodostusta ja liikkuvuutta huonosti kantavalla maalla. Iissä oli kaksi koepaikkaa, joista toinen sijaitsi turvepellolla ja toinen ojitetulla rämeellä.

Volvo BM Valmet 862:n lumessakulkua käytännön työmailla seurattiin 30,9 tunnin ajan. Seurannassa reitti jaettiin mittausjaksoihin, jotka vaihtuivat lumi- tai maasto-olojen muuttuessa. Aineisto käsitti 66 kuormaa kokonaispuumäärältään 452 m³. Keskimääräinen kuorman koko oli 6,8 m³. Kokonaisajomatka seuranta-aikana oli 37 600 m. Seuranta-aineiston pohjalta laadittiin ajonopeuden regressiomalli erikseen tyhjänä ajolle, kuormausajolle ja kuormattuna ajolle. Malleja laadittaessa kutakin ajonopeushavaintoa painotettiin matkan pituudella. Ajonopeuteen vaikuttaviksi tekijöiksi tulivat lumen syvyys, lumen tiheys, ajokerran järjestysluku, kaltevuus ajosuuntaan, kuorman koko ja maastoluokka.

Rovajärvellä järjestetyssä vertailevassa koeksessa oli kolme vaikeusasteeltaan erilaista koepaikkaa. Koepaikkojen lumi- ja kaltevuusolot olivat seuraavat:

Koepaikka	Kaltevuus, % tasamaa	Lumen syvyys, cm
1	8,6	65
2	14,5	59
3		65

Liikkuvuutta selvitettiin ajamalla ensimmäinen koneenkokoluokittain vakioitu kuorma vastamäkeen koskemattomassa lumessa ja palaamalla samaa uraa tyhjänä takaisin. Tämän jälkeen ajettiin samaa uraa vapaakoisoin kuormin kunnes ajoaika vakioitui.

Kuormatraktoreiden lumikelpoisuus osoitautui kokeissa hyväksi. Samankin koneenkokoluokan sisällä oli kuitenkin suuria eroja. Myös nelivetoinen maataloustraktori vetävällä perävaunulla varustettuna osoitautui lumikelpoisuudeltaan hyväksi. Sen sijaan takavetoiselle maataloustraktorille 40—50 cm:n lumen syvyys on ääriraja metsäajolle tasaisessakin maastossa. Tela-alustaisista koneista Suokoneen prototyyppin lumessakulkuominaisuudet olivat erittäin hyvät. Telamaasturit selviytyivät tasaisessa maastossa paksussakin lumessa hyvin, mutta samanaikaisena esiintyessään paksu lumi ja kaltevuus aiheuttivat telamaastureille vaikeuksia.

Raiteenmuodostusta huonosti kantavalla maalla tutkittiin turvepellolla ja ojitetulla rämeellä. Turvepellolla ajettiin konekokoluokittaisella vakiokuormalla samaa rataa edestakaisin. Rämeellä ajettiin metsäkuljetusta jäljitellen vuorotellen tyhjänä ja kuormattuna.

Raiteenmuodostuksessa ja liikkuvuudessa oli suuria eroja samankin kokoluokan sisällä. Kahdeksanpyöräiset kuormatraktorit selviytyivät pääsääntöisesti kuusipyöräisiä traktoreita paremmin. Keskikokoisten kuormatraktoreiden luokassa parhaiten selviytyi kuitenkin kuusipyöräinen traktori, jonka eturunkoa on kevennetty käyttämällä materiaalina seosalumiinia.

Maataloustraktoreiden maasto-ominais-

suuksissa oli suuria eroja. Vetävällä perävaunulla varustettu nelivetoinen maatalous-traktori selviytyi kokeessa hyvin, mutta takavetoisen traktorin kyky liikkua huonosti kantavissa olosuhteissa ja ylittää ojia oli huono.

Tela-alustaiset koneet, Meri Trackmo ja telamaasturit, pystyivät kokeessa kuljettamaan suuriakin puumääriä raiteenmuodostuksen jäädessä vähäiseksi. Pienemmillä te-

lamaastureilla oli kuitenkin vaikeuksia ojien ylityksessä. Osasyynä vaikeuksiin oli 4—5 m pitkä puutavara, joka oli pienimmille telamaastureille liian pitkä.

Osa tutkituista koneista selviytyi hyvin sekä vaikeissa lumi- että kantavuusoloissa. Tämä antaa entistä parempia mahdollisuuksia ympärivuotiseen puunkorjuuseen myös huonosti kantavilla mailla ja helpottaa työllistämistä kesäaikana.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Ala-Ilomäki, J. 1986. Harvennushakkuisiin soveltuvan maastokuljetuskaluston liikkuvuus lumessa. Metsäteknologian pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 156 s.
- Bader, H. 1962. The physics and mechanics of snow as a material. CRREL cold regions science and engineering, II-B. 79 p.
- Bekker, M.G. 1969. Introduction to Terrain Vehicle Systems. University of Michigan Press, 846 p.
- Blaisdell, G.L. 1985. Measurement and evaluation of tire performance under winter conditions. CRREL, Hanover. Teoksessa: Vinterkunskap och vinterdata, FOA-SFM konferens, Örnköldsvik den 26-28 mars 1985.
- Brown, R.L. 1979. A study of vehicle performance in snow. *Journal of Terramechanics* 16(4): 153-162.
- 1981. An analysis of vehicle power requirements in deep snowpack. *Journal of Terramechanics* 18(3): 169-181.
- Browne, A.L. 1974. Tire traction on snow-covered pavements. Teoksessa: Hays, D.F. & Browne, A.L. (ed.). The physics of tire traction. Plenum Press, New York. p. 99-139.
- Haaralaa, R. 1971a. Maaston ja kuorman vaikutus kuormatraktoreiden ajonopeuteen. Summary: Effect of terrain and load on the driving speed of logging tractors. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitoksen tiedonantoja 9. 88 s.
- 1971b. Eräitä ennakkotietoja Suomen metsämaaston vaikeuden alueittaisesta vaihtelusta. Summary: A preliminary report on areal differences in Finnish forest terrain. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitoksen tiedonantoja 11. 114 s.
- Hakkurainen, A. 1949. Routa talviteiden rakentajana. Metsätehon tiedoitus 29. 13 s.
- Hallonborg, U. 1983. Boggier -utföranden och egen-skaper. Skogsarbeten resultat 28.
- Hannelius, S. 1975. Ojitusalueiden korjuukelpoisuudesta puunkorjuussa. Summary: On the trafficability of drained peatlands in harvesting. *Silva Fennica* 9(39): 181-211.
- Heikurainen, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. *Acta Forestalia Fennica* 65(3). 85 s.
- 1961. Metsäojituksen vaikutuksesta puuston kasvun ja poistumaan. Hakuus suunnitteen laskemista varten. Summary: The influence of forest drainage on growth and removal in Finland. For estimations of allowable cut. *Acta Forestalia Fennica* 71(8). 71 s.
- 1980. Metsäojituksen alkeet. 2. painos. Gaudeamus. Helsinki. 284 s.
- Högnäs, T. 1985. Kuorman koon vaikutus kuormatraktorin raidesyvyyteen. Metsähallituksen kehittämisjaosto, koeselostus 217. 19 s.
- & Silvennoinen, U. 1981. Bruunett mini 578 F -kuormatraktorin lumikelpoisuus. Metsähallituksen kehittämisjaosto, koeselostus 159. 19 s.
- Kahala, M. 1979. Puutavaran kuormatraktorikuljetus ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Forwarder transport of timber and factors influencing it. Metsätehon tiedotus 355. 30 s.
- Kolkki, O. 1969. Katsaus Suomen ilmastoon. Ilmatieteen laitoksen tiedonantoja 18. 64 s.
- Kuusela, K. & Salminen, S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979-1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977-1982. Summary: Forest resources in the six northernmost Forestry Board Districts of South Finland, 1979-1982, and in the whole of South Finland, 1977-1982. *Folia Forestalia* 568. 79 s.
- Lappalainen, E., Sten, C-G. & Häikiö, J. 1978. Turvetutkimuksen maasto-opas. Geologinen tutkimuslaitos, opas No. 6. Valtion painatuskeskus. Espoo. 46 s.
- Lee, R.A. & Jarrett, P.M., 1977. Plate bearing tests on a fibrous peat. Proceedings 17th Muskeg Research Conference. p. 151-164.
- Macfarlane, I.C. 1968. Strength and deformation tests on frozen peat. Proceedings 3rd IPS International Peat Congress. Quebec 18-23 August 1968. p. 143-149.
- Malmberg, C-E. 1981 (toim.). Terrängmaskinen. Del 1. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. 507 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1984. 1985. *Folia Forestalia* 620. 232 s.
- Mikkonen, E. & Wuolijoki, E. 1975. Pikatestausten suoritustekniikka. Metsätehon katsaus 9. 5 s.
- Peltonen, J. 1985. PMP-leimikoiden korjuutekniset olosuhteet vuonna 1984. Metsäteho. Moniste. 50 s.
- Pohjola, T. 1985. Yhteenveto PMP-korjuuteknisten tilastojen eräistä leimikkotiedoista vuosilta 1975-1984. Metsähallituksen kehittämisjaosto, PM 3/85. 6 s.

- Puutavaran kuormatraktorikuljetusmaksut Etelä-Suomessa 1.2.1984-31.9.1985. 1984. Metsäalan Kuljetuksenantajat ja Koneurakoitsijain liitto ry. Monistete. 42 s.
- Päivänen, J. 1973. Harvennuksen vaikutus lumi- ja routasuhteisiin nuoressa turvemaan männikössä. Summary: The effect of thinning on the snow cover and soil forest conditions in a young Scots pine stand on drained peat. *Silva Fennica* 7(2): 114-128.
- Rummukainen, A. 1982. Suon fysikaaliset ominaisuudet ja maaperätutkan soveltuvuus niiden tutkimiseen. Metsäteknologian pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 93 s.
- 1984. Peatland properties and their evaluation for wood harvesting. Final report for 'Harvesting on Peatlands,' a research project of the Nordic Research Council on Forest Operations (NSR), 1977-1983. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitoksen tiedonantoja 45. 119 s.
- Saarilahti, M. 1978. Suon kantavuuden määrittäminen metsätien rakentamista varten. Summary: Determining the bearing capacity of peat soil in forest road planning. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitoksen tiedonantoja 37. 98 s.
- 1981. Koneiden uppoaminen suometsien puunkorjuussa. Summary: Sinkage of forest machines during harvesting operations on peatland. *Silva Fennica* 15(3): 323-331.
- 1982a. Radioaaltomenetelmien käyttö turvetuotannon suunnittelussa ja seurannassa. Summary: Radio-wave methods in peat research. *Turveteollisuus* 2: 45-58, 63.
- 1982b. Tutkimuksia radioaaltomenetelmien soveltuvuudesta turvemaiden kulkukelpoisuuden arvioimiseen. Summary: Studies on the possibilities of using radar techniques in detecting the trafficability of peatlands. *Acta Forestalia Fennica* 176. 105 s.
- Scholander, J. 1976. Några jämförande konpenetreringsförsök på elementarmyrmark. Summary: Some comparative cone penetrometer tests on different types of organic soil (muskeg). *Samarbetsorganisationen för Fordon-Markforskning, Stockholm. Meddelande* 22: 31-46.
- Silvennoinen, U. & Haarlaa, R. 1971. Kuormatraktoreiden liikkuvuus lumessa. Summary: The mobility of logging tractors on snow. *Silva Fennica* 5(2): 145-167.
- Sondell, J. 1979. Genomförandet av 'Skotartest -78' samt redovisning av körhastighet och bränsleförbrukning för skotare i terräng och på väg. Summary: The performance of 'Forwarder trials -78' and a report of the speeds and fuel consumption of forwarders operating on- and off-road. *Skogsarbeten Redogörelse* 8. 24 s.
- Willis, W.O., Carlson, C.W., Alessi, J. & Haas, H. 1961. Depth of freezing and spring runoff as related to soil moisture level. *Canadian Journal of Soil Science* 41: 115-123.
- Wong, J.Y., Graber, M., Radforth, J.R. & Dowell, J.T. 1979. Characterization of the mechanical properties of muskeg with special reference to vehicle mobility. *Journal of Terramechanics* 16(4): 163-180.
- Yong, R.N. & Harrison, W.L. 1978. On vehicle mobility in snow-covered terrain -1. Problem development and requirements for analysis. *Journal of Terramechanics* 15(4):223-235.
- , Fattah, E.A. & Skiadas, N. 1984. Vehicle Traction Mechanics. Developments in Agricultural Engineering, 3. Geotechnical Research Centre, McGill University, Montreal, Canada. Elsevier, Amsterdam. 307 p.

Total of 43 references

SUMMARY

Mobility of forwarding vehicles used in thinnings

The mobility of forwarding vehicles used in thinnings was examined in this study. The study focused on mobility in snow and rutting and mobility on soft soils. 15 vehicles were included in the study. They represent a cross-section of the Nordic forwarding machinery used in thinnings. The study is a part of Nordic NSR-project "Thinning techniques for stands of small-sized trees".

The study was made up of three sub-studies. The Volvo BM Valmet 862 forwarder was observed for its mobility in snow on work sites of the National Board of Forestry throughout the winter of 1984. At the end of February and beginning of March 1984, the snow mobility of 15 machines was studied in Rovajärvi on three experimental plots, all with a different degree of gradient. Most of the same vehicles also participated in a study held in Ii in August and September of 1984. In this study the rutting and mobility of the vehicles on soil with a poor bearing capacity was looked at. One experimental plot was situated on a peat field and the other on a drained pine bog.

The mobility of the Volvo BM Valmet 862 in snow was observed for 30,9 h. The route of the forwarder was divided into measurement sections in accordance with the snow or terrain conditions. The study included 66 loads with a total volume of wood being 452 m³. The average load size was 6,9 m³. The total forwarding distance during the observation time was 37 600 m. Regression models for the driving speed were composed separately for driving while empty, driving between loadings and driving loaded. In composing the models, account was taken of the length of the measurement section of each observation of driving speed. The factors affecting speed were the depth of snow, the density of snow, the number of times driven on the same track, the degree of adverse slope, the size of the load and the terrain class.

At the comparative study in Rovajärvi there were three experimental plots with different degrees of difficulty. The snow and slope conditions were as follows:

Experimental plot	Gradient, %	Depth of snow, cm
1	0,0	65
2	8,6	59
3	14,5	65

The mobility of the machinery was examined by driving the first load, which was standard according to each machine size class, uphill in untouched snow and returning on the same track empty. Thereafter the vehicles were driven with a nonstandard-sized load along the same track until the driving speed became constant.

The mobility of the forwarders in snow proved to be good in the experiments. There were, however, great differences between the vehicles even in the same size class. A four-wheel drive farm tractor equipped with a self-propelled trailer also proved to have good mobility in snow. On the other hand, snow depth of 40—50 cm is the limit for a two-wheel drive farm tractor in forest haulage even in flat terrain. Of the rubber tracked machines, the Suokone prototype has a very good mobility in snow. The light crawler tractors move well in flat terrain even in thick snow, but a combination of thick snow and steep gradient causes difficulties for them.

Rutting on soft soils was studied on an abandoned peat field and a drained pine bog. On the peat field the vehicles were driven with a standard load for each machine size class back and forth along the same track.

On the drained pine bog practical conditions were simulated with the machines alternating between empty and loaded runs.

There were large differences in rutting and mobility even within the same vehicle size class. Eight-wheeled forwarders had for the most part a better mobility than six-wheeled vehicles. Nevertheless, a six-wheeled forwarder whose front end was lightened by using aluminum alloy had the best mobility in the medium size forwarder class.

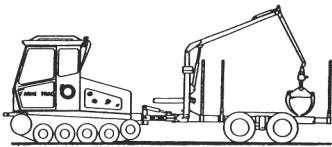
There were great differences in the terrain characteristics of farm tractors on soft soils. A four-wheel drive tractor equipped with a self-propelled trailer got good results in the experiment, but the mobility and the ability to cross ditches of a two-wheel drive farm tractor were poor.

Rubber tracked vehicles, Meri Trackmo and light crawler tractors, were able to haul even large volumes of wood with minimal rutting. The smallest machines did, however, have difficulties in crossing ditches. A partial reason for the difficulties was 4—5 m long timber, which is too long for the smallest crawler tractors.

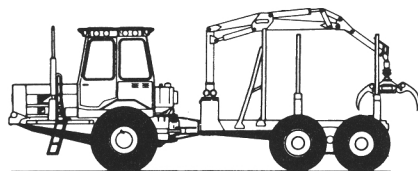
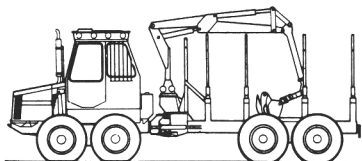
Some of the vehicles had a good mobility both in difficult snow and gradient conditions. This provides even better possibilities for year-round wood harvesting on soft soils and eases the utilization of tractors during the summer.

Liite 1.
VALMISTAJIEN ILMOITTAMIA KONEIDEN TEKNISIÄ TIETOJA

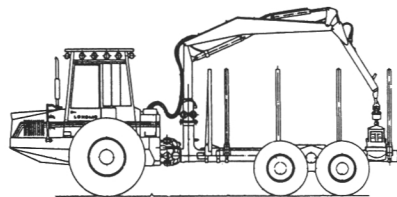
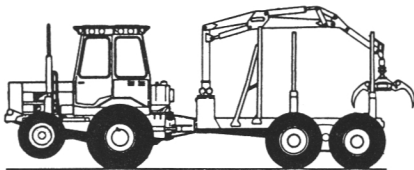
	Farmi Trac	Jermu
Massa		
eturungolla, kg	2 300	3 500
takarungolla, kg	1 940	900
yhteensä, kg	4 240	4 400
kantavuus, kg	2 500	3 000
kokonaismassa, kg	6 740	7 400
Mitat		
suurin pituus, m	8,40	6,30—7,00
suurin leveys, m	1,70	1,80
korkeus, m	2,65	2,70
pienin maavara, m		
edessä	0,35	0,34
takana	0,42	0,40
Moottori		
merkki ja malli	Kubota 1902 B	Mitsubishi 4D Q50
sylinteriluku	4	4
iskutilavuus, dm ³	1,861	
teho, kW / r/s	30/46,7	37/
vääntömomentti, Nm / r/s		
Voimansiirto		
tyyppi	hydrostaattinen	hydrostaattinen
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	portaaton, 1 alue	portaaton, 3 aluetta
ajonopeusalue, km/h	0—23	
vetovoima, kN	19,0	
napavälitys edessä	—	—
takana	—	—
telin voimansiirto	teloilla	teloilla
tasausp. lukko edessä	manuaalisesti	—
takana	jarruilla	—
Jarrut		
edessä	mek. monilevyj.	hydrost. voimansiirron
takana	+ hydrost. voimans.	jarrutuskyky
Ohjaus		
tyyppi	hydrost. runko-ohj.	hydrost. runko-ohj.
hallinta	vipu	vipu
Renkaat/telat		
edessä	n. 2,81x0,60	n. 2,62x0,50
takana	6.50—16	6.50x16
Muuta	eturungon kallistus hydr. sylinterillä	



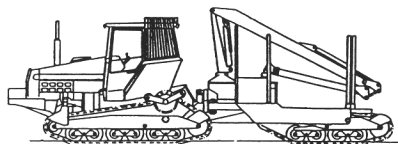
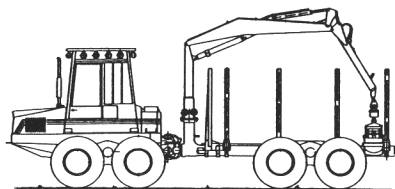
	Kockums 83—35	Kockums 84—35
Massa		
eturungolla, kg	6 300	7 000
takarungolla, kg	4 200	5 600
yhteensä, kg	10 500	12 600
kantavuus, kg	8 000	10 000
kokonaismassa, kg	18 400	22 600
Mitat		
suurin pituus, m	8,20	9,20
suurin leveys, m	2,50	2,59
korkeus, m	3,40	3,52
pienin maavara, m		
edessä	0,63	0,54
takana	0,63	0,57
Moottori		
merkki ja malli	Ford 2722 E	Ford 2725 E
sylinteriluku	4	6
iskutilavuus, dm ³	4,150	6,220
teho, kW / r/s	64/43,3	90/43,3
vääntömomentti, Nm / r/s	255/25,0	363/
Voimansiirto		
tyyppi	hydrodynaamis-mek.	hydrodynaamis-mek.
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	3/3	3/3
ajonopeusalue, km/h	0—30	0—29
vetovoima, kN	81,4	122,6
napavälitys edessä	ei	on
takana	ei	ei
telin voimansiirto	ketju	hammaspyörä
tasausp. lukko edessä	automaattinen	manuaalinen
takana	automaattinen	manuaalinen
Jarrut		
edessä	paineilma-hydr.	paineilmatoim. levyjarrut
takana	levyjarrut	paineilmatoim. monilevyj.
Ohjaus		
tyyppi	hydrost. runko-ohj.	hydrostaattinen
hallinta	ohjauspyörä+vipu	runko-ohj. ohjauspyörä+vipu
Renkaat/telat		
edessä	500—22,5	23,1—26
takana	500—22,5	17,5—25
Muuta		
	etuteliin kallistus hydr. sylintereillä	



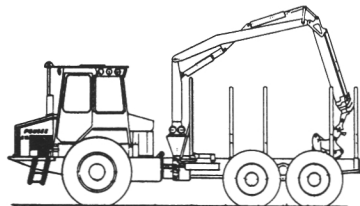
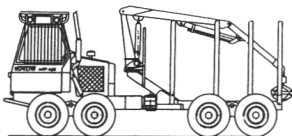
	Kockums 84—35 etuteloilla	Lokomo 919 Turbo 6-pyöräinen
Massa		
eturungolla, kg	7 900	6 400
takarungolla, kg	5 600	5 000
yhteensä, kg	13 500	11 400
kantavuus, kg	10 000	11 000
kokonaisuudessa, kg	23 500	22 400
Mitat		
suurin pituus, m	9,20	9,08
suurin leveys, m	2,59	2,60
korkeus, m	3,52	3,36
pienin maavara, m		
edessä	0,54	0,56
takana	0,57	0,58
Moottori		
merkki ja malli	Ford 2725 E	Volvo TD 45 B
sylinteriluku	6	4
iskutilavuus, dm ³	6,220	4,480
teho, kW / r/s	90/43,3	80/40,0
vääntömomentti, Nm / r/s	363/	400/25,0
Voimansiirto		
tyyppi	hydrodynaamis-mek.	hydrodynaamis-mek.
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	3/3	2x3/2x3
ajonopeusalue, km/h	0—29	0—32
vetovoima, kN	122,6	137,3
napavälitys edessä	on	on
takana	ei	ei
telin voimansiirto	hammaspyörä	hammaspyörä
tasausp. lukko edessä	manuaalinen	automaattinen
takana	manuaalinen	automaattinen
Jarrut		
edessä	paineilmat. levyjarrut	paineilmatoim.
takana	paineilmat. monilevyj.	monilevyjarrut
Ohjaus		
tyyppi	hydrostaattinen	hydrost. runko-ohj.
hallinta	runko-ohj. ohjauspyörä+vipu	ohjauspyörä+vipu
Renkaat/telat		
edessä	23,1—26, telap. 500/60—22,5	23,1—35
takana	17,5—25	500/60—26,5
Muuta	etutelaston säätö hydr.sylinterillä	



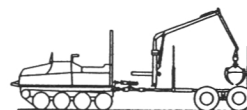
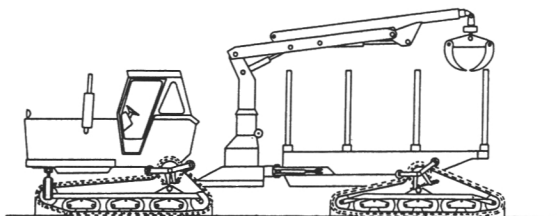
	Lokomo 919 Turbo 8-pyöräinen	Meri Trackmo
Massa		
eturungolla, kg	7 500	8 600
takarungolla, kg	5 000	4 300
yhteensä, kg	12 500	12 900
kantavuus, kg	11 000	9 000
kokonaismassa, kg	23 500	21 900
Mitat		
suurin pituus, m	9,08	9,10
suurin leveys, m	2,60	2,50
korkeus, m	3,36	3,10
pienin maavara, m		
edessä	0,58	0,40
takana	0,58	0,40
Moottori		
merkki ja malli	Volvo TD 45 B	Valmet TD 44 DS8
sylinteriluku	4	4
iskutilavuus, dm ³	4,480	4,400
teho, kW / r/s	80/40,0	70/35,0
vääntömomentti, Nm / r/s	400/25,0	370/23,3
Voimansiirto		
tyyppi	hydrodynaamis-mek.	mekaaninen, synkr.
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	2x3/2x3	16/8
ajonopeusalue, km/h	0—32	1—10
vetovoima, kN	137,3	10 000
napavälitys edessä	ei	—
takana	ei	—
telin voimansiirto	hammaspyörä	—
tasausp. lukko edessä	automaattinen	manuaalinen
takana	automaattinen	ei
Jarrut		
edessä	paineilmatoim.	hydr. monilevyj.
takana	monilevyjarrut	ei
Ohjaus		
tyyppi	hydrost. runko-ohj.	hydrost. runko-ohj.
hallinta	ohjauspyörä+vipu	vipu
Renkaat/telat		
edessä	17,5—25	3,63x0,65
takana	17,5—25	2,91x0,85
Muuta		



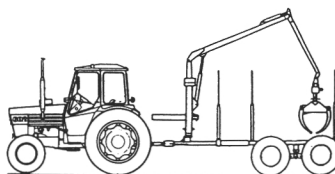
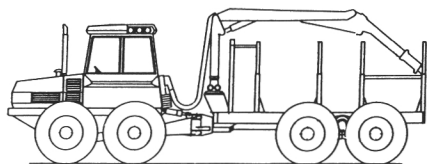
	Norcar HTP—480	Ponsse S 15
Massa		
eturungolla, kg	4 200	5 170
takarungolla, kg	2 700	4 790
yhteensä, kg	6 900	9 960
kantavuus, kg	6 500	10 000
kokonaismassa, kg	13 400	19 960
Mitat		
suurin pituus, m	6,60	8,30
suurin leveys, m	2,00	2,54
korkeus, m	3,06	3,50
pienin maavara, m		
edessä	0,60	0,55
takana	0,60	0,64
Moottori		
merkki ja malli	Perkins 4.236	Valmet 411 DS
sylinteriluku	4	4
iskutilavuus, dm ³	3,860	4,400
teho, kW / r/s	59/41,7	70/38,3
vääntömomentti, Nm / r/s	260/21,7	373/
Voimansiirto		
tyyppi	hydrostaattinen	hydrodynaamis-mek.
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	portaaton, 2 aluetta	2x3/2x3
ajonopeusalue, km/h	0—20	0—32
vetovoima, kN	78,5	138,3
napavälitys edessä	pyörämoottorit 2 kpl	on
takana	pyörämoottorit 4 kpl	on
telin voimansiirto	edessä ketju	ketju
tasausp. lukko edessä	hydraulinen	automaattinen
takana	hydraulinen	manuaalinen
Jarrut		
edessä	hydrostaattisen voi-	paineilmatoim. levyj.
takana	mans. jarrutuskyky	paineilmatoim. monilevyj.
Ohjaus		
tyyppi	hydrost. runko-ohj.	hydrost. runko-ohj.
hallinta	vipu	ohjauspyörä+vipu
Renkaat/telat		
edessä	400/55—22,5	600—34
takana	400/55—22,5	600/55—26,5
Muuta		
	etuteliin kallistus hydr. sylintereillä	



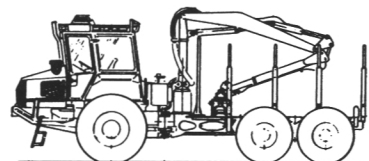
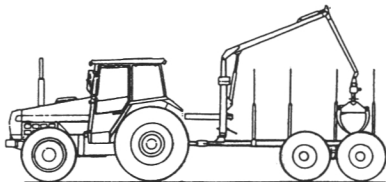
	Suokone -prototyyppi	Terri 1020 Diesel
Massa		
eturungolla, kg	8 790	825
takarungolla, kg	6 360	620
yhteensä, kg	15 150	1 445
kantavuus, kg	10 000	1 700
kokonaismassa, kg	25 150	3 145
Mitat		
suurin pituus, m	11,00	6,88
suurin leveys, m	2,90	1,32
korkeus, m		1,90
pienin maavara, m		0,25
edessä		
takana	0,50	
Moottori		
merkki ja malli	Fiat 8365.05	Kubota D 850—BWS
sylinteriluku	6	3
iskutilavuus, dm ³	8,102	0,855
teho, kW / r/s	114/	15,5/50,0
vääntömomentti, Nm / r/s		52/30,0
Voimansiirto		
tyyppi	mekaaninen, synkr.	kiilahihnavariaattori
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	2x12/2x4	+mekaaninen voimans. portaaton 2/1 aluetta
ajonopeusalue, km/h		1,5—26,0
vetovoima, kN		11,0
napavälitys edessä	—	—
takana	—	—
telin voimansiirto	—	—
tasausp. lukko edessä	manuaalinen	—
takana	ei	—
Jarrut		
edessä	hydr. monilevyj.	hydrauliset levyjarrut
takana	—	—
Ohjaus		
tyyppi	hydrost. runko-ohj.	hydrost. runko-ohj.
hallinta	ohjauspyörä	ohjaustanko
Renkaat/telat		
edessä	n. 4,20x0,85	n. 1,90x0,68
takana	n. 4,40x0,85	6,40—13 jalakset n. 1,70x0,35
Muuta		eturungon kallistus hydr. sylintereillä



	Valmet Jehu -prototyyppi	Valmet 602 Turbo + Patu 6 -perävaunu
Massa		
eturungolla, kg	7 100	1 100+1 740
takarungolla, kg	5 800	1 290
yhteensä, kg	12 900	4 110
kantavuus, kg	12 500	6 000
kokonaismassa, kg	25 400	10 110
Mitat		
suurin pituus, m	10,80	8,84
suurin leveys, m	2,50	1,92
korkeus, m	3,90	2,50
pienin maavara, m		
edessä	0,75	0,45
takana	0,69	0,48
Moottori		
merkki ja malli	Valmet 411 CX	Valmet 311 CS
sylinteriluku	4	3
iskutilavuus, dm ³	4,400	3,300
teho, kW / r/s	81/38,3	48/38,3
vääntömomentti, Nm / r/s	412/23,3	235/24,2
Voimansiirto		
tyyppi	mekaaninen, synkr.	mekaaninen, synkr.
välitysuhteiden lukum. eteen/taakse	8/2	2x3/2x1
ajonopeusalue, km/h	2,4—23,1	3,6—31,8
vetovoima, kN	127,5	
napavälitys edessä	ei	ei
takana	ei	ei
telin voimansiirto	ed. telat, tak. ketju	—
tasausp. lukko edessä	manuaalinen	—
takana	automaattinen	manuaalinen
Jarrut		
edessä	paineilma-hydr. levyj.	mek. monilevyjarrut
takana	paineilma-hydr. monilevyjarrut	ei
Ohjaus		
tyyppi	hydrost. runko-ohj.	hydrost. pyöräohjaus
hallinta	ohjauspyörä+vipu	ohjauspyörä
Renkaat/telat		
edessä	17,5—25	7.50—18/6 ja 13.6—36/6
takana	17,5—25	11,5/80—15,3/10
Muuta		
	telankiristys ja eturungon kallist. hydr. syl.	

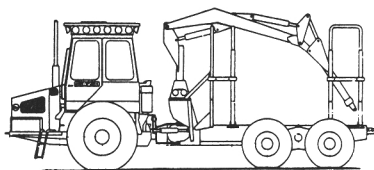


	Volvo BM Valmet 805—4 + RKP -10 000 peräv.	Volvo BM Valmet 862
Massa		
eturungolla, kg	1 773+2 167	6 850
takarungolla, kg	3 330	5 750
yhteensä, kg	7 270	12 600
kantavuus, kg	10 000	9 000
kokonaismassa, kg	17 270	21 600
Mitat		
suurin pituus, m	9,50	8,42
suurin leveys, m	2,35	2,67
korkeus, m	2,70	3,70
pienin maavara, m		
edessä	0,44	0,57
takana	0,58	0,60
Moottori		
merkki ja malli	Valmet TD 44 DS8	Valmet 411 CS
sylinteriluku	4	4
iskutilavuus, dm ³	4,400	4,400
teho, kW/ r/s	70/35,0	68/38,3
vääntömomentti, Nm / r/s	370/23,3	333/26,7
Voimansiirto		
tyyppi	mekaaninen, synkr.	hydrodynaamis-mek.
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	8/4	2x3/2x3
ajonopeusalue, km/h	3,4—28,6	0—24
vetovoima, kN		125,5
napavälitys edessä	on > vetokone	on
takana	on	ei
telin voimansiirto	kitkarulla	hammaspyörä
tasausp. lukko edessä	autom.	manuaalinen
takana	manuaalinen > vetokone	manuaalinen
Jarrut		
edessä	ei	paineilma-hydr. levyjarrut
takana	hydr. monilevyj. > vetok.	paineilma-hydr. monilevyj.
Ohjaus		
tyyppi	hydrost. pyöräohjaus	hydrost. runko-ohjaus
hallinta	ohjauspyörä	ohjauspyörä+vipu
Renkaat/telat		
edessä	14.9—24 ja 18.4—34	23.1—26
takana	500—22,5	17,5—25
Muuta		



ÖSA 250

Massa	
eturungolla, kg	6 850
takarungolla, kg	4 820
yhteensä, kg	10 990
kantavuus, kg	10 000
kokonaismassa, kg	20 990
Mitat	
suurin pituus, m	8,32
suurin leveys, m	2,48
korkeus, m	3,41
pienin maavara, m	
edessä	0,54
takana	0,54
Moottori	
merkki ja malli	Perkins 6.354
sylinteriluku	6
iskutilavuus, dm ³	5,800
teho, kW / r/s	83/40,0
vääntömomentti, Nm / r/s	369/25,0
Voimansiirto	
tyyppi	hydrostaattis-mek.
välityssuhteiden lukum. eteen/taakse	portaaton, 2/2 aluetta
ajonopeusalue, km/h	0—29
vetovoima, kN	91,2
napavälitys edessä	on
takana	on
telin voimansiirto	ketju
tasausp. lukko edessä	automaattinen
takana	automaattinen
Jarrut	
edessä	hydrauliset levyjarrut
takana	+ hydrost. voimans. jarrutuskyky
Ohjaus	
tyyppi	hydrost. runko-ohjaus
hallinta	ohjauspyörä+vipu
Renkaat/telat	
edessä	600—34
takana	600—26,5
Muuta	

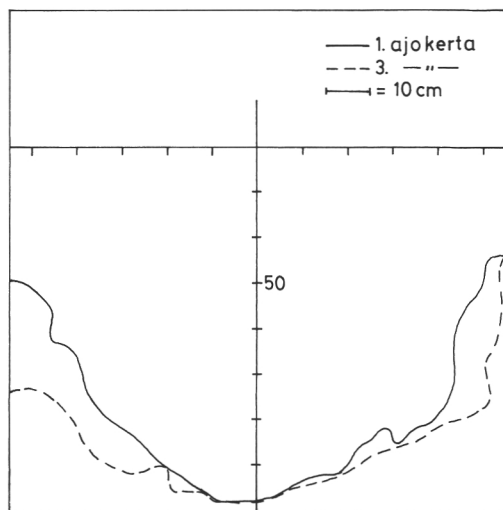


Liite 2. Raiteiden profiilikuvat vertailevassa talvikokeessa koealueella 2.

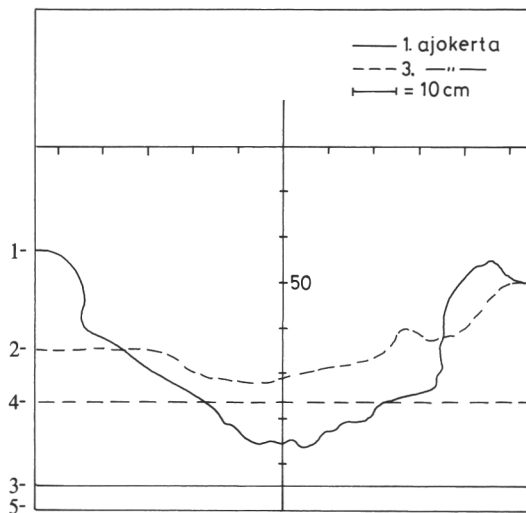
Kuvien selitykset:

- 1 = raide 1. kuormattuna-ajon jälkeen
- 2 = raide 3. kuormattuna-ajon jälkeen
- 3 = koneen kulkusyvyyks 1. ajokerralla
- 4 = koneen kulkusyvyyks 3. ajokerralla
- 5 = maanpinta

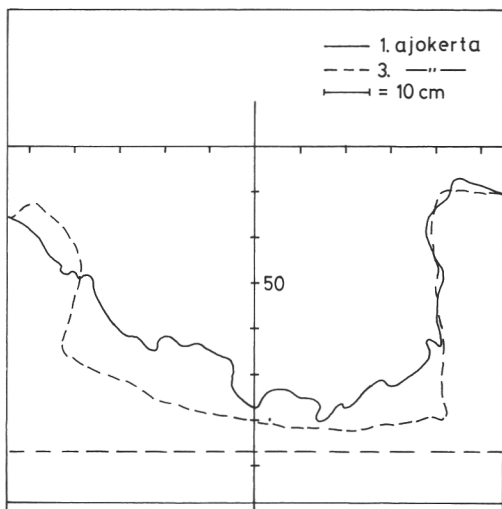
KOCKUMS 84-35
ALUE 2



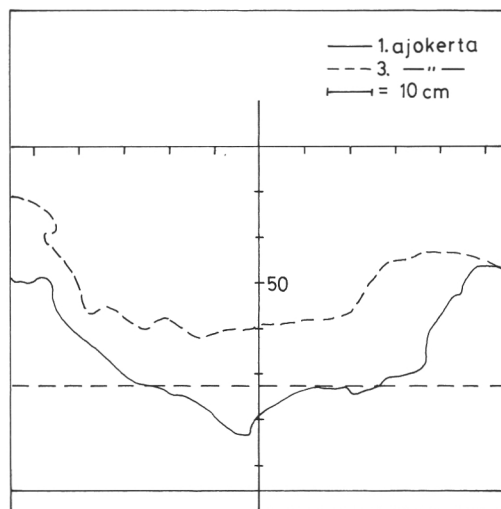
KOCKUMS 84-35 etutelaustolla
ALUE 2



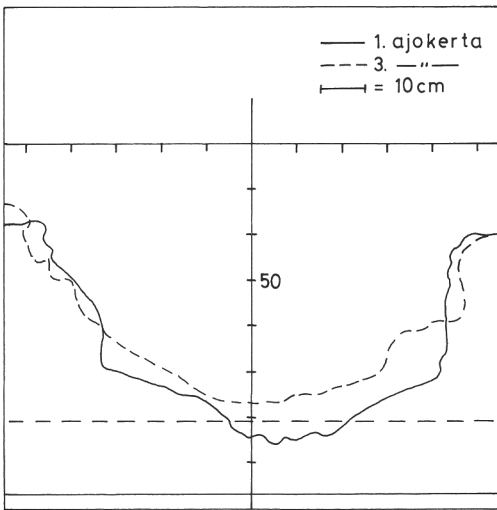
LOKOMO 919 TURBO
ALUE 2



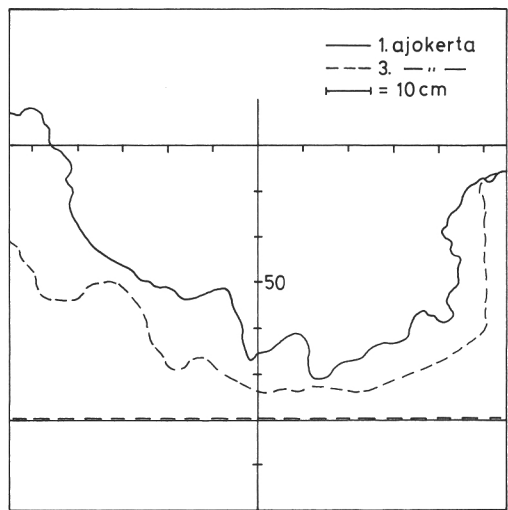
LOKOMO 919 TURBO 8-pyöräinen
ALUE 2



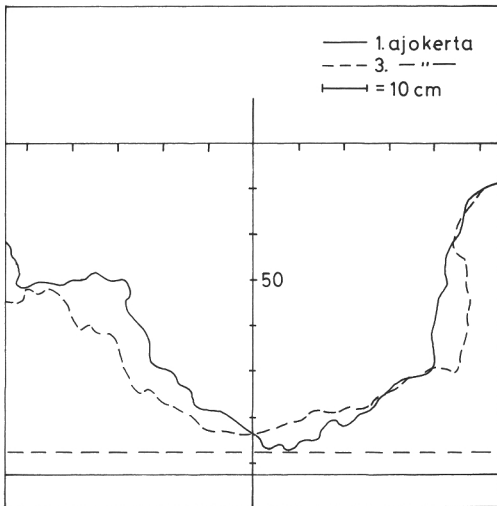
PONSSE S15
ALUE 2



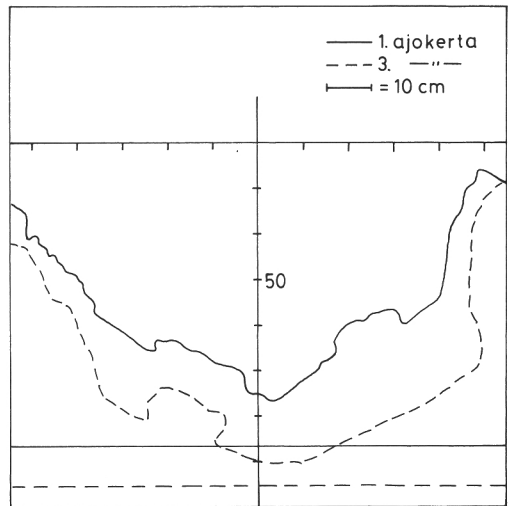
VOLVO BM VALMET 862 K
ALUE 2



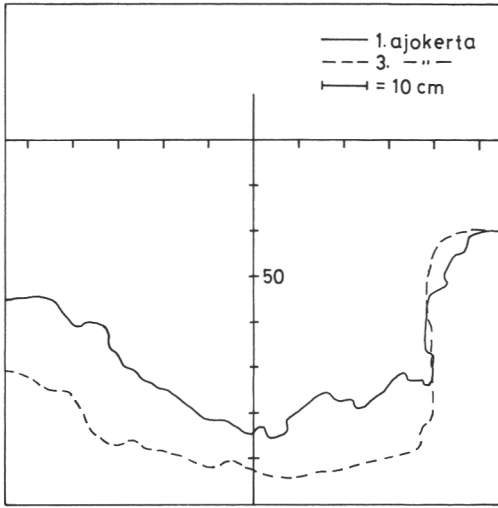
VALMET JEHU
ALUE 2



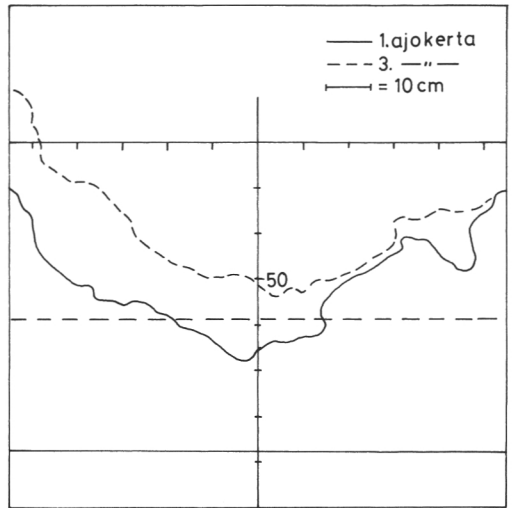
ÖSA 250
ALUE 2



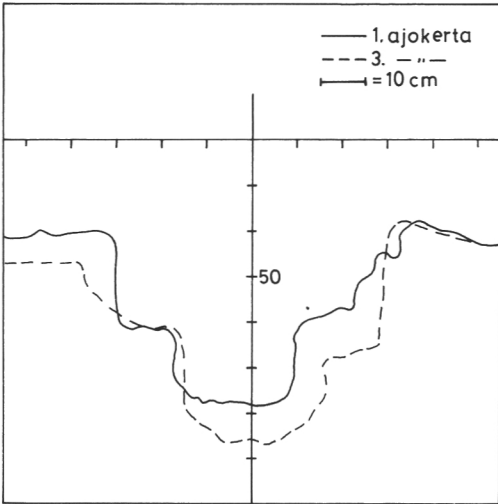
KOCKUMS 83-35
ALUE 2



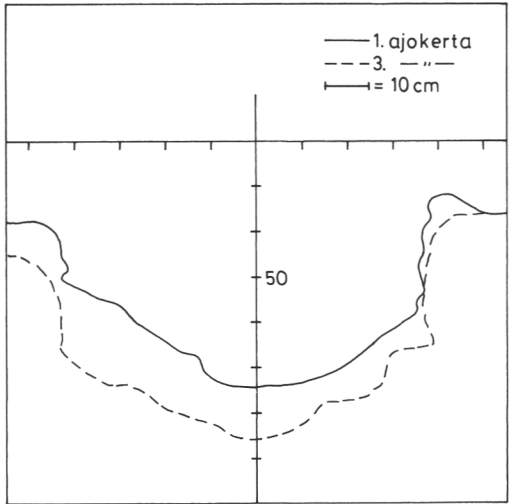
NORCAR HTP 480
ALUE 2



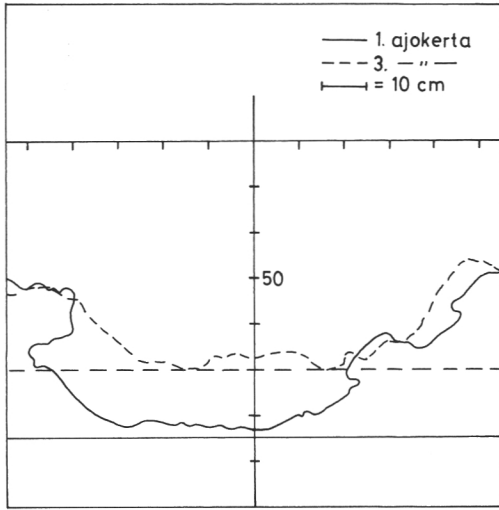
VALMET 602 + PATU 6
Alue 1



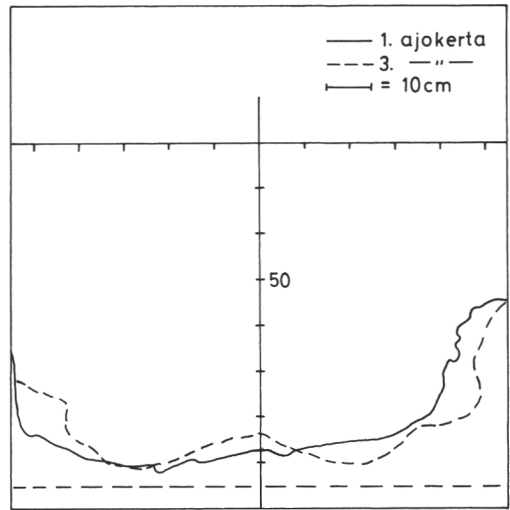
VOLVO BM VALMET 805 - 4+RKP 10 000
Alue 2



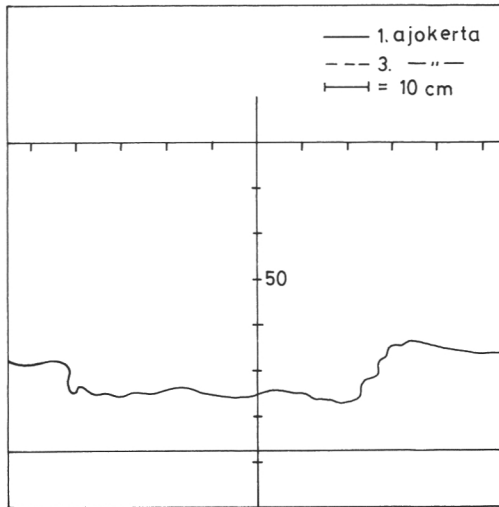
FARMI TRAC
ALUE 2



SUOKONE
ALUE 2



TERRI 1020 D
ALUE 2



Liite 3. Ratojen keskimääräiset leikkauslujuudet ja tunkeutumisvastukset, niiden hajonnat ja ratojen väliset t-testiarvot pellolla ja rämeellä.

Ratojen keskimääräiset leikkauslujuudet, hajonnat ja ratojen väliset leikkauslujuuksien t-testiarvot pellolla.

Rata	Keskim. leikkauslujuus, kN/m ²	Hajonta	Mitt. lukumäärä	Ratojen väliset t-testiarvot														
				Vertailurata														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	23,4	7,7	46		-0,5	0,5	1,2	0,8	0,6	0,7	0,4	1,3	-0,2	0,8	1,2	1,9	1,2	1,0
2	24,2	7,2	44			1,1	1,8	1,4	1,2	1,3	0,9	1,9	0,3	1,3	1,7	2,6	1,8	1,5
3	22,6	7,2	48				0,7	0,2	0,1	0,2	-0,2	0,8	-0,8	0,2	0,6	1,4	0,6	0,5
4	21,7	6,3	50					-0,5	-0,6	-0,5	-0,9	0,2	-1,6	-0,4	-0,1	0,7	-0,1	-0,1
5	22,3	5,9	48						-0,2	-0,0	-0,4	0,6	-1,2	0,0	0,4	1,3	0,4	0,3
6	22,5	6,8	50							0,1	-0,3	0,8	-0,9	0,2	0,6	1,4	0,6	0,4
7	22,3	6,8	48								-0,4	0,6	-1,0	0,1	0,4	1,2	0,4	0,3
8	22,8	6,8	48									1,0	-0,7	0,4	0,8	1,7	0,9	0,7
9	21,5	6,3	48										-1,7	-0,6	-0,2	0,5	-0,3	-0,3
10	23,7	6,2	50											1,1	1,6	2,5	1,6	1,3
11	22,2	6,9	51												0,4	1,2	0,4	0,3
12	21,7	6,4	52													0,8	-0,0	-0,1
13	20,9	5,1	55														-0,9	-0,0
14	21,8	5,7	54															-0,1
15	21,9	6,6	36															

Ratojen keskimääräiset leikkauslujuudet, hajonnat ja ratojen väliset leikkauslujuuksien t-testiarvot rämeellä.

Rata	Keskim. leikkauslujuus, kN/m ²	Hajonta	Mitt. lukumäärä	Ratojen väliset t-testiarvot														
				Vertailurata														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	17,0	3,0	49		0,6	-2,4	-2,8	-0,8	-0,8	0,3	-2,3	-0,9	-0,6	0,8	-1,6	1,2	-1,3	-1,8
2	16,6	3,4	51			-2,9	-3,3	-1,3	-1,4	-0,3	-2,7	-1,4	-1,2	0,1	-2,1	0,5	-1,9	-2,3
3	18,5	3,2	48				-0,4	1,6	1,5	2,6	-0,0	1,4	1,7	3,3	0,9	3,7	1,1	0,7
4	18,8	3,3	51					2,0	1,9	2,9	0,3	1,7	2,0	3,7	1,3	4,1	1,4	1,0
5	17,5	3,3	52						-0,1	1,0	-1,5	-0,1	0,1	1,6	-0,7	2,0	-0,5	-1,0
6	17,5	3,4	52							1,1	-1,5	-0,1	0,2	1,6	-0,7	2,0	-0,5	-0,9
7	16,8	3,4	52								-2,4	-1,1	-0,9	0,5	1,8	0,8	-1,6	-2,0
8	13,6	3,8	51									1,3	1,6	3,0	0,9	3,4	1,0	0,6
9	17,6	3,7	53										0,2	1,6	-0,5	2,0	-0,4	-0,8
10	17,4	3,4	50											1,4	-0,8	1,8	-0,6	-1,0
11	16,6	2,8	52												-2,5	0,4	-2,2	-2,6
12	18,0	3,0	52													2,9	0,2	-0,3
13	16,3	2,9	54														-2,6	-3,0
14	17,9	3,3	51															-0,4
15	18,1	3,4	54															

Ratojen keskimääräiset tunkeutumismuutokset, hajonnat ja ratojen väliset tunkeutumismuutosten t-testiarvot pellolla.

Rata	Keskim. tunkeutumismuutos, CI-arvo	Hajonta	Mitt. lukumäärä	Ratojen väliset t-testiarvot															
				Vertailurata															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	71,9	25,7	30		1,2	1,2	1,9	2,1	1,0	1,3	1,2	1,8	1,1	1,2	1,4	2,1	1,8	2,1	
2	65,5	16,6	30			0,3	1,1	1,3	-0,0	0,4	0,1	0,9	0,1	0,2	0,5	1,3	1,0	1,2	
3	63,5	27,4	30				0,6	0,6	-0,3	-0,0	-0,2	0,3	-0,3	-0,2	0,0	0,6	0,4	0,6	
4	59,8	23,9	30					-0,0	-1,0	-0,7	-0,9	-0,3	-1,0	-0,9	-0,6	-0,0	-0,3	0,0	
5	59,9	16,7	30						-1,1	-0,7	-1,0	-0,4	-1,2	-1,0	-0,7	0,0	-0,3	0,1	
6	65,7	21,9	30							0,3	0,1	0,8	0,1	0,2	0,4	1,1	0,9	1,1	
7	63,7	22,7	30								-0,2	0,4	-0,3	-0,2	0,1	0,7	0,5	0,7	
8	64,8	21,9	30									0,7	-0,1	0,0	0,3	1,0	0,7	1,0	
9	61,5	17,4	30										-0,8	-0,7	-0,4	0,4	0,1	0,4	
10	65,3	18,8	30											0,1	0,4	1,2	0,9	1,1	
11	64,7	19,6	30												0,3	1,0	0,7	1,0	
12	63,3	20,3	30													0,7	0,4	0,7	
13	59,9	17,2	30														-0,3	0,1	
14	61,1	19,0	30															0,3	
15	59,5	14,8	15																

Ratojen keskimääräiset tunkeutumismuutokset, hajonnat ja ratojen väliset tunkeutumismuutosten t-testiarvot rämeellä.

Rata	Keskim. tunkeutumismuutos, CI-arvo	Hajonta	Mitt. lukumäärä	Ratojen väliset t-testiarvot															
				Vertailurata															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	25,0	8,1	25		-1,4	-2,1	-3,2	-1,0	-2,3	-1,9	-2,1	-3,0	-2,2	-2,6	-2,6	-1,3	-4,0	-1,9	
2	28,3	9,5	30			-0,8	-1,9	-0,4	-1,0	-0,4	-0,6	-1,7	-0,9	-1,0	-1,5	0,0	-2,8	-0,4	
3	30,1	11,0	30				-1,0	0,5	-0,1	0,4	0,3	-0,9	-0,1	-0,1	-0,9	-0,8	-2,0	0,4	
4	33,4	11,4	30					1,6	0,9	1,5	1,4	0,2	1,0	1,1	-0,0	1,8	-1,0	1,5	
5	29,1	8,8	30						-0,7	-0,1	-0,2	-1,4	-0,6	-0,7	-1,3	0,4	-2,6	-0,1	
6	30,7	10,3	30							0,6	0,4	-0,8	0,1	0,1	-1,0	1,0	-1,9	0,6	
7	29,3	9,1	30								-0,2	-1,4	-0,5	-0,6	-1,3	0,4	-2,5	0,0	
8	29,7	8,7	30									-1,2	-0,4	-0,4	-1,2	0,6	-2,4	0,2	
9	33,0	11,4	30										0,8	0,9	-0,2	1,7	-1,1	1,4	
10	30,5	10,4	30											-0,0	-0,9	0,9	-1,9	0,5	
11	30,6	7,8	30												-0,9	1,0	-2,1	0,6	
12	33,5	16,1	30													1,5	-0,8	1,3	
13	28,2	10,6	30														-2,7	-0,4	
14	36,4	12,8	30															2,5	
15	29,3	9,1	30																

Liite 4. Koneiden keskimääräiset pintapaineet heikosti kantavan maan kokeessa Mikkosen ja Wuolijoen (1975) esittämällä menetelmällä laskettuina, kun kuorman oletetaan kohdistuvan kokonaan taka-akselille.

Kone	Pintapaine, kPa					
	Edessä		Tyhjänä		Takana	
	Pyörillä	Ketjuilla/ teloilla	Pyörillä	Teloilla	Pyörillä	Kuormattuna Teloilla
Kockums 83—35	44	24	34	19	78	39
Kockums 84—35	61	65	37	20	75	38
Kockums 84—31 etutelastolla	50	24	37	20	75	38
Lokomo 919 T 8-p	43	25	31	18	69	36
Norcar HTP—480	36	18	23	13	61	29
Ponsse S 15 600 mm takar.	52	56	29	18	68	37
Ponsse S 15 700 mm takar.	52	56	25	16	58	32
Volvo BM Valmet 862	71	—	37	21	78	41
ÖSA 250	62	66	29	17	68	35
Volvo BM Valmet 805—4	28	—	22	—	—	—
RKP 10 000 -perävaunu	—	—	28	17	66	36
Meri Trackmo	—	19	—	12	—	29
Farmi Trac	—	8	—	14	—	29
Jermu	—	13	—	8	—	25
Terri 1020 Diesel	—	4	—	8	—	23

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 670 Jäppinen, Jukka-Pekka, Hotanen, Juha-Pekka & Salo, Kauko: Marja- ja sienisadot ja niiden suhde metsikkö-tunnuksiin mustikka- ja puolukkatyyppin kankailla Ilomantsissa vuosina 1982—1984.
Yields of wild berries and larger fungi and their relationship to stand characteristics on MT and VT-type mineral soil sites in Ilomantsi, eastern Finland, 1982—1984.
- No 671 Parviainen, Jari & Antola, Jukka: Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa männynistutuksissa.
The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock plantations.
- No 672 Onttinen, Sirpa: Metsurin työvälinekustannukset 1985.
Forest workers' equipment costs in Finland in 1985.
- No 673 Gustavsen, Hans Gustav & Päivänen, Juhani: Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa.
Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland.
- No 674 Mikkola, Kari & Sepponen, Pentti: Kasvupaikkatekijöiden ja kasvillisuuden suhteet Luoteis-Enontekiön tunturikoivikoissa.
Relationships between site factors and vegetation in mountain birch stands in northwestern Enontekiö.
- No 675 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1984—1986.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1984—1986.
- No 676 Keskitalo, Pentti & Sepponen, Pentti: Erialaisten moreeni-uojojen kasvupaikkaominaisuuksia Pohjois-Suomessa.
The site properties of different types of moraine formation in northern Finland.
- No 677 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkien, lehtipuutukkien, mäntypylväiden ja ratapölkkyaihoiden mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista 14. päivänä kesäkuuta 1985 annetun päätöksen muuttamisesta.
Skogsforskningsinstitutets beslut om förändring av beslutet från den 14 juni 1985 om de enhetsvolymtal, som används vid mätning av barrtimmer, lövtimmer, tallstolpar och sliperstimmer.
- No 678 Isomäki, Antti: Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen.
Effects of line corridors on the development of edge trees.
- No 679 Peltonen, Antti: Metsien uudistaminen turvemäillä kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset.
Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from inventories in 1978—1979.
- No 680 Naskali, Arto: Keskittymisindeksit ja ostajien keskittyminen Pohjois-Suomen raakapuumarkkinoilla.
Concentration indices and buyer concentration in the roundwood markets in Northern Finland.
- 1987
- No 681 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla.
Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas.
- No 682 Voipio, Raili: Puiden biomassan vitamiinipitoisuus.
Vitamin content of tree biomass.
- No 683 Uusvaara, Olli & Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia.
Solid content and other technical properties of forest chips.
- No 684 Rikkonen, Pentti: Havutukkien kuorelliseen latvaläpimitaan perustuva tilavuuden määrittäminen.
Volume of coniferous saw logs based on top diameter over bark.
- No 685 Huuri, Olavi, Lähde, Erkki & Huuri, Leena: Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen.
Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations.
- No 686 Valtanen, Jukka & Engberg, Mikael: Vuosina 1970—72 perustetun aurasalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla.
The results from Kainuu and Pohjanmaa of the ploughed-area reforestation experiment begun during 1970—72.
- No 687 Nurmi, Juha: Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa.
Drying of fuel chips and chunks in wooden bins.
- No 688 Juntunen, Marja-Liisa (red.): Arbets säkerhet och belastning vid självverksamma skogsägares drivningsarbete — NSR slutrapport.
Work safety and strain of self-employed forest owners during logging.
- No 689 Nöjd, Pekka, Mälkönen, Eino & Kukkola, Mikko: Lehtikuusen lannoituskokeiden tuloksia.
Growth response of *Larix* to fertilization.
- No 690 Metsätalastollinen vuosikirja 1986.
Yearbook of Forest Statistics 1986.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.
Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.