

METSÄTRAKTOREIDEN LIIKKUVUUS LUMESSA

UNTO SILVENNOINEN — RIIHKO HAARLAA

SUMMARY:
THE MOBILITY OF LOGGING TRACTORS ON SNOW

Saapunut toimitukselle 22. 4. 1971

Selvitettäessä maaston ja muiden puun korjuun olosuhdetekijöiden vaikutusta metsätraktoreiden työskentelyyn on tutkittu toimintaa haittaavien tai estävien tekijöiden vaikutustapaa ja -astetta. Lumi ja sen ominaisuudet ovat etenkin Pohjoismaissa keskeisiä olosuhdetekijöitä, jotka on otettava huomioon sekä töiden ja kaluston suunnittelussa että maksuperusteena.

Talvella 1969 järjestettiin Pohjois-Suomen poikkeuksellisen vaikeissa lumioloissa sarja kokeita kaikkiaan kymmenellä erilaisella metsätraktorilla. Etenemisnopeutta kriteerinä käytäen tutkittiin lumen paksuuden ja laadun, ajokerran ja kuorman koon sekä ajosuuntaan mitatun kaltevuuden vaikutusta traktoreiden liikkumiseen.

Kokeissa voitiin havaita erilaisten traktoreiden ajonopeuksissa merkitseviä eroja. Ajokertojen lisääntyminen ajouralla, polantumisen ja lumen rakenteen muuttuminen edullisemmaksi — etenkin lumen kastuminen — lisäsivät ajonopeutta ja suurensivat mahdollisen kuorman kokoa.

Keskeisenä, suoraan käytäntöä palvelevana tuloksena voitiin havaita kuivassa lumessa ajettaessa pitkän ja kantavan telan sekä voimakkaan runko-ohjauksen edut muunkaltaisiin rakenteisiin verrattuna.

1. JOHDANTO

11. LUMEN MERKITYS PUUNKORJUUSSA JA MAASTOLUOKITUKSESSA

Metsätöiden koneellistuessa töiden suunnittelun tärkeys syntyvien puunkorjuun kustannuksien kannalta lisääntyy. Puutavaran kuljetukseen kehitetty traktori käyttäytyy yleensä joustamattomammin erilaisiin ajoa hankaloittaviin esteisiin kuin esim. hevonen. Suunnittelussa on otettava entistä yksityiskohtaisemmin huomioon työssä mahdollisesti esiintyvät haitalliset tekijät.

Puunkorjuu saa yhä enemmän teollisen toiminnan piirteitä, kun työskentely metsässä jatkuu keskeytyksettömästi ympäri vuoden. Puun korjuun kustannuksiin kohdistuva kustannuspaine pakottaa löytämään optimaalisen töiden suoritusjärjestyksen. Töiden suunnittelija joutuu valitsemaan vuodenajoittain leimikoiden korjuujärjestyksen kokonaiskustannukset minimoiden.

Puunkorjuukaluston työllistäminen talvikausina muodostaa yleensä pulman, etenkin runsaslumisilla seuduilla. Vaikka traktorin lumikelpoisuuden lisääminen ei nykyään ole enää tekninen ongelma, se on aina taloudellinen kysymys. Traktoriin ei kannata rakentaa tarpeettoman kalliita lisälaitteita, joita käytetään vain parin kuukauden ajan vuodessa.

Tällä hetkellä ei ole tyydyttäviä tietoja siitä, miten lumen paksuuden ja laadun vaihtelu erilaisissa työolosuhteissa vaikuttaa nykyisin käytettävien traktoreiden liikkumiseen. Puunkorjuun olosuhdetekijöiden luokittamiseksi paitsi suunnittelua myös maksuperusteita varten on tiedettävä toisaalta lumen mitattu ajoa hidastava vaikutus ja toisaalta lumen estearvot erilaisille traktoreille.

12. TUTKIMUSAIHEEN RAJOITTAMINEN JA TUTKIMUKSEN TEHTÄVÄ

Metsäteknologisesta kirjallisuudesta on löydettävissä lunta ja sen vaikutusta ajoon käsitteleviä kirjoituksia varsin runsaasti. Kymmentä vuotta vanhempi tietous on esitetty kootusti esim. KANTOLAN ja PUOSKARIN (1960) tutkimuksessa. 1960-luvulta mainittakoon mm. LEVANNON (1964), MAKKOSEN (1965), SILVENNOISEN (1966) ja SVENSSONIN (1968) lumen vaikutusta traktoreiden liikkumiseen koskevat tutkimukset.

Kartoitettaessa puutavaran kuljetuksen maastoluokituksen perusteita on selvitetty paitsi primääristen maastotunnusten vaikutustapaa myös niiden vaikutusastetta ajokelpoisilla ajo-osuuksilla. Tällöin on käynyt ilmi, että lumen puolesta helpoissakin talviolosuhteissa muut maastotekijät, ajokaltevuutta lukuunottamatta, menettävät keskeisen merkityksensä (HAARLAA 1971). Talviolosuhteiden maastovaikeuden tarkastelu voidaan siten kohdistaa suurelta osin vain lumen paksuutta ja laatua eri kaltevuussuhteissa koskevaksi.

Esillä olevan tutkimuksen tehtävänä on selvittää mm. seuraavat kysymykset:

1. Miten rakenteeltaan erilaiset traktorit käyttäytyvät poikkeuksellisen vaikeissa lumiolosuhteissa?
2. Miten ajokertojen lisääntyminen ja polantumisen vaikutukset traktoreiden liikkumisnopeuteen?
3. Mikä vaikutus kuorman koolla on traktoreiden liikkumiseen lumessa?
4. Miten sään ja lumen rakenteen muutoksien vaikutus ilmenee traktoreiden ajonopeudessa?
5. Miten lumi ja sen ominaisuudet on otettava huomioon puutavaran kuljetuksen maastoluokituksessa?
6. Mitä viitteitä saadut tulokset antavat työmaasuunnittelulle ja konekehitykselle?

Tämä tutkimus kuuluu osana yhteispohjoismaiseen maastoluokitusprojektiin. Tutkimussuunnitelman laadinnasta, aineiston keräyksen käytännöllisistä järjestelyistä, tulosten ensivaiheen laskennasta ja käsikirjoitusluonnoksen laadinnasta on vastannut UNTO SILVENNOI-

NEN. RIHKO HAARLAA on valvonut aineiston keräystä yhteispohjoismaisen maastoluokitusprojektin kannalta, suorittanut eräitä aineiston käsittelyn täydennyslaskelmia ja muokannut tämän tutkimuslaskelman lopulliseen asuunsa. Tutkimuksen kuluessa Haarlaa on nauttinut Helsingin yliopiston ja Tekniikan Edistämissäätiön stipendejä.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

21. AJOKOKEET

Metsätraktoreiden lumessaliikkuvuutta, jolla tässä tarkoitetaan koneen kykyä selviytyä lumen etenemiselle aiheuttamasta haitasta, voidaan parhaiten verrata järjestettyjen kokeiden avulla. Pelkästään lumitekijän vaikutuksen mittaaminen ei ole mahdollinen, ellei toisia samanaikaisesti kriteerinä olevaan suureen vaikuttavia tekijöitä voida eliminoida tai ottaa muuten tarkastelussa huomioon. Kun toistaiseksi ei ole käytettävissä riittäviä tietoja, joiden perusteella voitaisiin ilmoittaa esim. eri puunkorjuutyömaiden maastoerojen vaikutus traktoreiden liikkumiseen, tämän tutkimuksen suunnittelussa päädyttiin ns. rinnakkaiskoetekniikkaan.

Kullakin tutkitulla traktorilla ajettiin maastoon merkittyjä kaistoja, jotka olivat keskenään samanarvoisia. Ajosta tehdyt havainnot ovat siten vertailukelpoisia.

Selitettäväksi muuttujaksi, siis traktorin liikkuvuuden kriteeriksi, valittiin sadan metrin matkaan käytetty ajoaika (min/100 m). Suure ilmaisee traktorin ajonopeuden, mutta laskentateknisistä syistä päädyttiin em. käännteissuureeseen. Haluttaessa luvut voidaan muuttaa standardiyksiköiksi (m/s) jakamalla vakio 5/3 ao. luvulla.

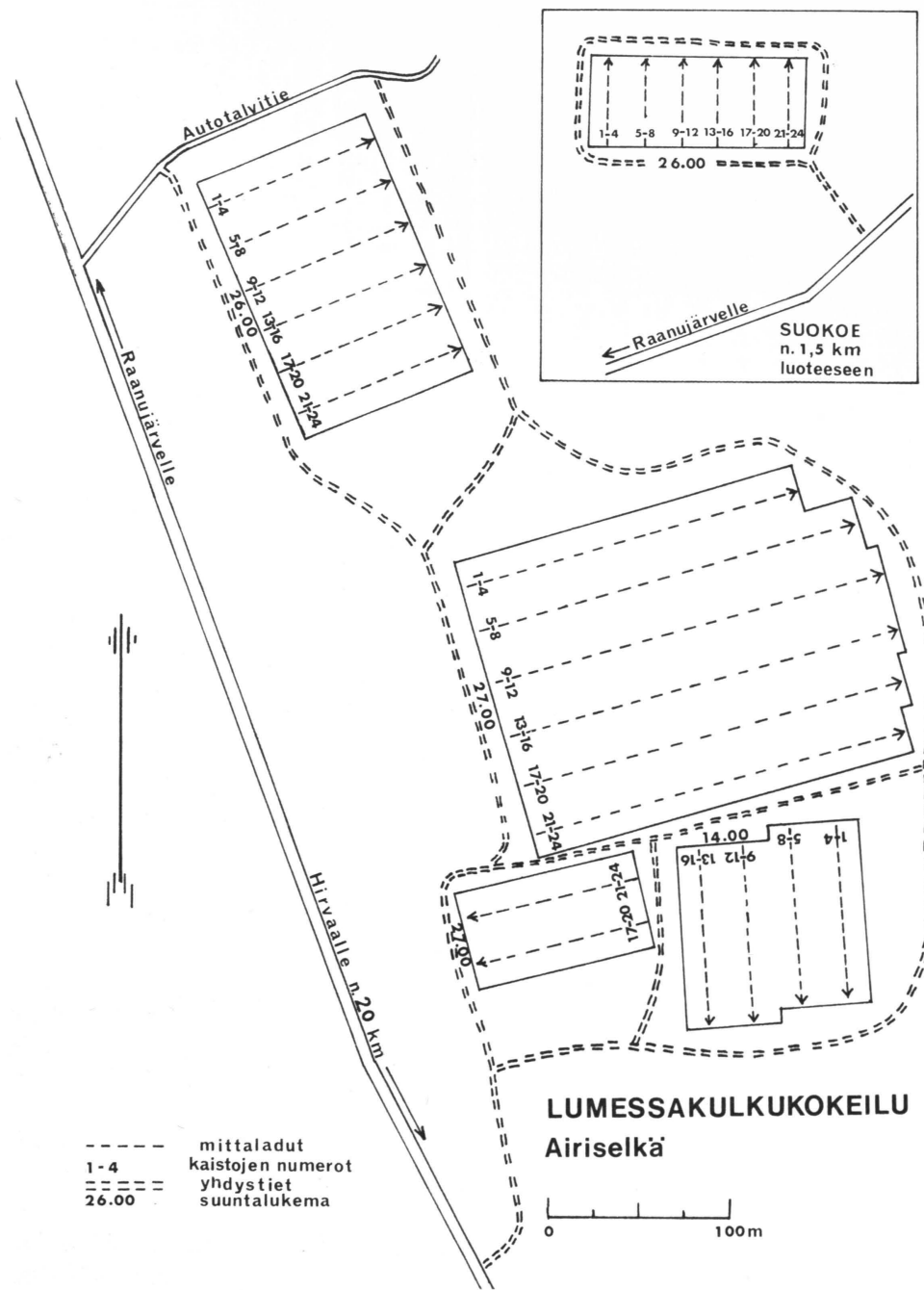
Ajonopeuden (ajoajan) vaihtelun selittäjiksi valittiin ko. traktoria kuvaava muuttujan lisäksi maaston kaltevuus ajosuuntaan, lumen paksuus ja laatu, kuorma sekä ajokerta samalla ajouralla.

Pääosa ajokokeista toteutettiin peräkkäisinä päivinä aineiston keräyksen alkaessa. Lumen paksuuden ja sen ominaisuuksien muutoksien vaikutuksen tutkimiseksi osa kokeista toistettiin myöhemmin.

22. KOERADAT JA NIIDEN MITTAUS

Ajokokeet suoritettiin metsähallinnon Rovaniemen hoitoalueessa Ylitornion pitäjässä Airiselän maastossa 27. 3.—25. 4. 1969. Koekaistojen sijoitus käy ilmi kuvasta 1 (s. 148).

Ennen kokeen aloittamista mitattiin ja paalutettiin 24 koekaistaa neljän kaistan ryhminä maastoon siten, että mittauslinja kulki ryhmän kahden keskimäisen kaistan välissä. Mittauslinjat jaettiin havaintoväleihin, joiden pituus oli



Kuva 1. Koeaistojen sijoittamisperiaate
Fig. 1. Location of the test lanes

25 m, mikäli kaltevuudessa ei tapahtunut selvää muutosta. Rinteen kaltevuus ja lumitunnukset mitattiin havaintoväleittäin. Kaltevuus määritettiin »Suunto»-kaltevuusmittarilla. Lumen mittaustavat selostetaan seuraavassa luvussa.

Koeaistat olivat neljällä radalla. Niistä A oli 100 metrin pituinen, loiva (+3...+10 %) nousu. Rata B oli 193...225 metrin mittainen, alkuosaltaan nouseva (+3...+16 %) ja loppuosaltaan verraten tasainen (+3...-6 %) rinne. Rata C oli 100 metrin pituinen lasku (-5...-12 %) ja D 50 metriä pitkä tasanne (-1...+2 %). Radat A...C sijaitsivat paljaaksi hakatun vaaran rinteessä, jonka pintamaasto oli tasaisehkoa, kunnan peittämää moreenimaata. Ainoastaan B radan jyrkimmällä nousuosuudella esiintyi paikoin lyhyellä matkalla avokalliota. Rata D oli sijoitettu avosuolle.

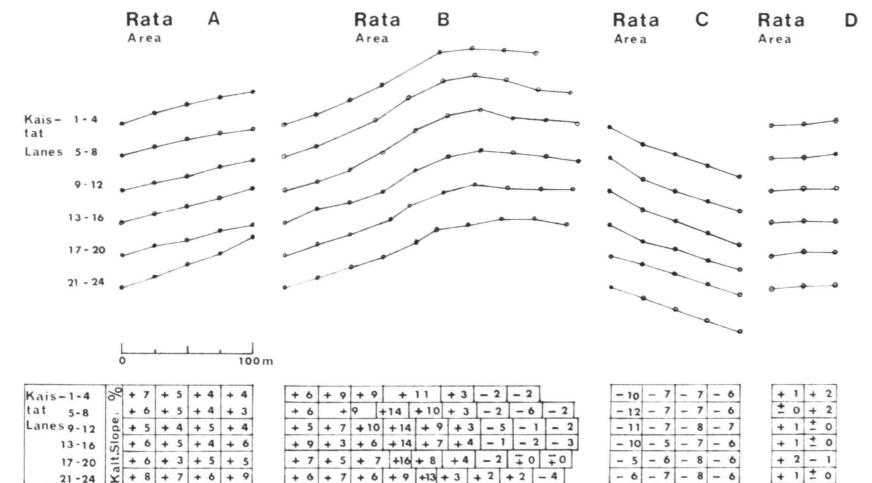
Koeaistojen topografia käy ilmi kuvasta 2

23. LUMISUHTEET

231. Mittaustekniikka

Lunta kuvaavina tunnuksina käytettiin sen paksuutta ja ominaispainoa. Lisäksi selvitetiin kokeiden edistyessä sanallisesti lumen laatu, mm. kerroksellisuus.

Lumen paksuus mitattiin puisella, poikkileikkaukseltaan 4.0×2.2 cm mitta-kepillä havaintoväleittäin senttimetrin tarkkuudella kolmen tasavälein tehdyn havainnon keskiarvona. Suure ilmoitti lumen pinnan keskimääräisen etäisyyden maan tai kasvillisuuden muodostamasta kovasta pinnasta. Mittaamista harjoiteltiin oikean mittaustavan löytämiseksi ennen kokeita.



Kuva 2. Koeaistojen kaltevuudet havaintoväleittäin
Fig. 2. Profiles of the test lanes

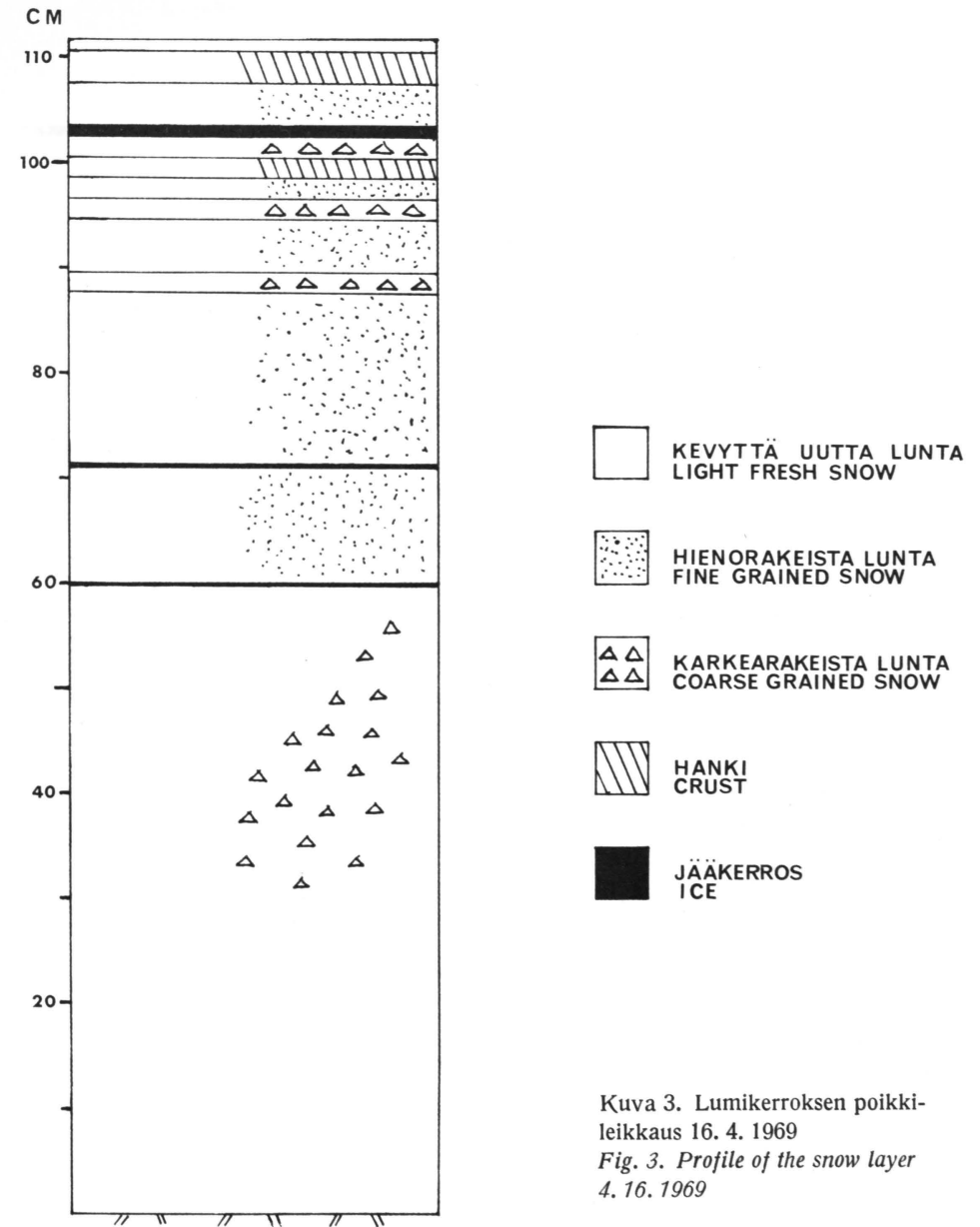
K A I S T A Lane	K O E R A T A - T E S T A R E A												K E S K I - M Ä Ä R I N On an average							
	A				B				C					D						
	H a v a i n t o v ä l i - O b s e r v a t i o n																			
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8		9	1	2	3	4	1	2
L u m e n p a k s u u s - T h i c k n e s s o f s n o w l a y e r, c m																				
1 . . . 4	101	107	106	99	100	106	98	109	88	94	112	..	102	100	99	91	90	96	99.9	
5 . . . 8	114	102	101	95	99	108	103	86	104	102	103	94	97	104	108	101	85	88	99.7	
9 . . . 12	97	106	108	110	90	102	105	92	89	83	91	97	105	101	91	104	85	85	96.7	
1 . . . 16	108	110	107	115	100	92	104	77	89	81	81	107	111	96	98	103	108	100	85	98.5
17 . . . 20	111	105	115	107	110	97	101	74	130	88	78	112	94	101	105	91	103	103	87	100.6
21 . . . 24	110	100	118	131	100	103	102	110	100	93	79	74	106	97	99	99	99	107	85	100.6
Kesk. - Aver.	107.6												97.0	100.1	91.3	99.3				

Taulukko 1. Lumen paksuus kokeiden alkaessa
Table 1. Thickness of snow layer at the beginning of the tests

Lumen ominaispaino mitattiin erikseen 50 cm:n paksuisesta pohja- ja pinta-kerroksesta. Sen määrittämiseen käytettiin lumivaakaa. Lumen ominaispaino selvitettiin koepäivinä.

232. Lumen paksuus

Kokeen alkaessa mitatut lumenpaksuudet on esitetty taulukossa 1 (s. 150). Kaikkien havaintojen keskiarvo oli 99.3 cm ja eri ratojen keskiarvot A 107.6 cm, 97.0 cm, C 100.1 cm ja D 91.3 cm.



Vaikka lumen paksuudet vaihtelivatkin alueella huomattavasti (74...131 cm), saman radan havaintovälien sisällä vaihtelu oli melko vähäinen. Yleensä lumen paksuuden vaihtelu radoittain oli ± 10 cm. Kun pienin tilastollisesti merkitsevä

Taulukko 2. Koepäivien sää- ja lumisuhteet
Table 2. Weather and snow conditions during the test days

Pvm Date	Lämpötila, °C Temperature,			Sade- määrä Snowing, mm	Pilvi- syys Clouds	Lumen laatu Description of snow quality
	klo 8	15	21			
27. 3.	- 0.9	+ 3.0	-1.0	—	10/10	Lumi kuivaa jauhomaista, pinnalla ei min- käänlaista hankikerrosta, ajojälki jauho- mainen.
28. 3.	-10.5	- 7.5	-9.0	40	10/10	Lumisadetta, lumi muuten samaa kuin ed. päivänä.
29. 3.	- 8.0	- 4.0	-4.5	17	10/10	—»—
1. 4.	- 3.5	+ 1.0	-5.0	31	5/10	Räntäsade, lumi pinnalta märkää 15 cm, polantui useamman ajokerran jälkeen.
10. 4.	- 0.5	+ 3.5	+1.0	—	6/10	Lumi pinnalta märkää 15 cm, syvemmltä kosteaa (hiukan tihkusadetta), lumi polantui heti ensimmäisen ajokerran jälkeen.
12. 4.	- 5.0	+ 3.0	-3.5	—	1/10	Aamulla hanki kantoj poron ja miehen sukset jalassa, iltapäivällä hangen pinta kastui auringon paisteessa, lumi ei puristu- nut palloksi missään kerroksessa, eikä po- lantunut useista ajokerroista huolimatta, ajojälki jauhomainen.
16. 4.	- 4.0	+ 1.0	-6.5	—	0/10	—»—
17. 4.	- 5.0	+ 3.5	+0.5	—	1/10	—»—
22. 4.	- 1.5	+ 7.0	+3.0	—	8/10	Aamulla hanki kantoj miehen, keskipäivällä hangen pinta kastui, iltapäivällä lumi pinnalta märkää n. 10 cm.
23. 4.	+ 3.5	+ 8.5	+1.5	—	8/10	Lumi pinnalta aivan märkää n. 15 cm, alempaa kosteahkoa, lumi upotti kävellessä paikoin 25 cm, paikoin koko jalan mitan.
25. 4.	+ 1.5	+10.5	+1.0	—	0/10	Lumi läpeensä aivan märkää, erittäin suurijyväästä.

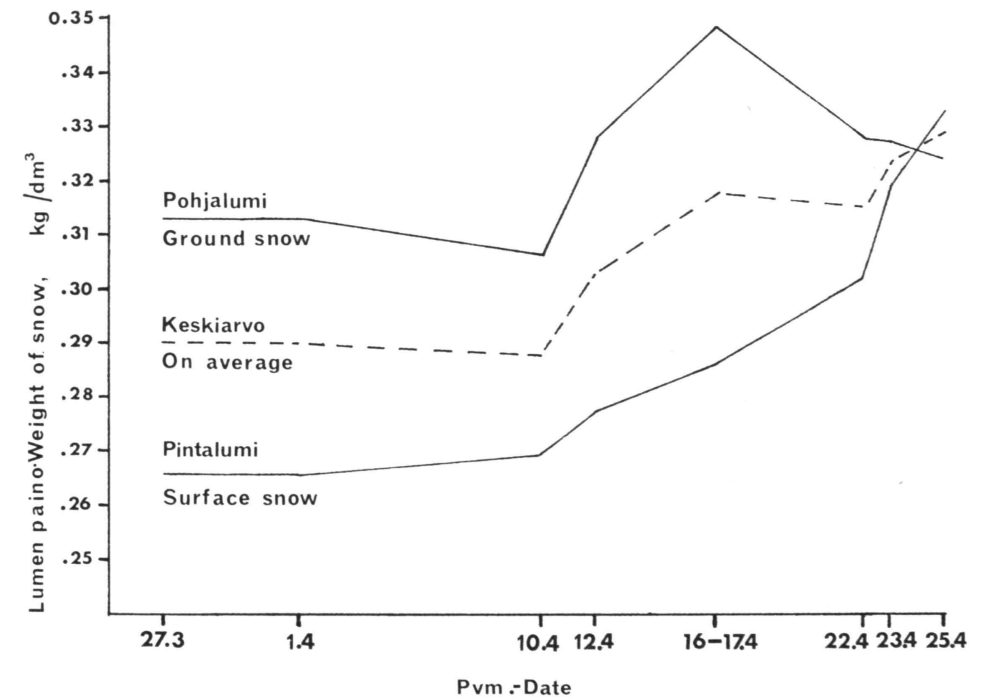
keskiarvojen ero on 4.1 cm, havaintovälien lumisuhteita voidaan pitää verraten homogeenisina.

Lumen paksuus ei vaihdellut merkittävästi mittausajankohtina 1.4, 10.4, 12.4, 16—17.4 tai 22.4. Vasta 22. 4. 69 alkanut lämmin kausi alensi lumikerrok-
sen paksuuden nopeasti. 23.4 se oli 8 cm alhaisempi kuin 22.4 ja 25.4 edelleen
11 cm alhaisempi kuin 23.4.

233. Lumen rakenne

Lumen rakenneominaisuudet, kuten raekoko ja ominaispaino, riippuvat tunnetusti sääsuhteista. Koepäivien sää- ja lumiolosuhteet on selostettu taulu-
kossa 2 (s. 152).

Lumen kerroksellisuutta 16. 4. 1969 havainnollistaa kuva 3 (s. 151). Siitä
havaitaan mm., että pohjapuoli lumesta on tuolloin jo tiivistynyt karkearakei-
seksi ja pintapuoli on useiden ohuiden jäämäisten kerrosten jakamaa hienora-
keista lunta. Pohjalumi onkin painavinta niin kauan, kunnes sään lämpenemisen
johdosta pintalumi kastuu kokonaan ja kaikki lumi on keskimäärin yhtä paina-
vaa. Lumen painon vaihtelu kokeiden kuluessa on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Lumen painon vaihtelu kokeiden kuluessa
Fig. 4. Weight of snow during the tests

24. KOETRAKTORIT JA NIIDEN KULJETTAJAT

Kokeisiin osallistuneet traktorit ja erät niiden rakenneominaisuuksista on lueteltu taulukossa 3.

Taulukko 3. Koetraktorit ja erät niiden rakenneominaisuuksista
Table 3. Test tractors and some of their equipment

N:o No.	Merkki ja malli Make and model	Vuosi- malli Year	Moottorin teho SAE hv. Engine hp. SAE	Maavara, cm Ground clear.	Huomautuksia Remarks
1	Clark Ranger 666	1968	128	51	Edessä Fiskars »Neli- selkä»-ketjut, takana Fiskars »Rengashokki»- ketjut
2	Timberjack 230 C	1965	97	60	Fiskars »Neliselkä»-ketjut
3	Valmet Terra 865	1965	80	50	» » »
4	Ford Brunett 5000	1966	64	49	» » »
5	Fiskars 510	1967	53	50	» » »
6	BM-Volvo SM 660	1966	60	47	Talvitelat
7	BM-Volvo SM 661	1968	65	47	Talvitelat
8	Ford County 6	1969	95	40	Metsävarustein
9	MF-Robur I	1966	62	48	Kuluneet kesätelat 22. 4 uudet talvitelat
10	BM-Boxer T-350	1965	60	45	Häntäohjaus

Traktorit valittiin kokeisiin ennen kaikkea järjestelyteknisistä syistä. Mainitut traktorit, joiden voidaan katsoa edustavan hyvin Pohjois-Suomessa talvella 1969 käytetyn traktorikaluston parhaimmista, olivat saatavilla kokeisiin kohtuullisin siirtokustannuksin. Traktoreiden kunto oli hyvä.

Kokeisiin osallistui kaikkiaan viisi kuljettajaa. Kaikki olivat ammattitaitoisia, omasivat usean vuoden kokemuksen metsätraktorin kuljettajana ja tunsivat myös kuljettamiensa traktoreiden ominaisuudet.

25. AINEISTON LAAJUUS JA LAATU

Aineiston keskeinen osa kerättiin 27.—29. 3. 1969 yhdeksästä traktorista. Tavoitteena oli ajaa kaikilla traktoreilla tyhjänä kaikki koeradat kolme kertaa peräkkäin. Erällä hitailla traktoreilla ajettiin kuitenkin vain jokin koeradon kaista kerran tai kaksi.

Neljällä traktorilla ajettiin yön yli kovettunut kaista tyhjänä, samoin kuin tehtiin ajokokeita vaihtelevan suuruusilla puumäärillä kuormatuilla traktoreilla.

Kokeita jatkettiin 16.—17.4, 22.4 ja 25.4 MF-Robur traktorilla ja lisäksi BM-Volvo SM 660:llä 23.4 ja Ford Brunett 5000:lla 25.4. BM-Volvo SM 661 osallistui kokeisiin 23.4.

Esikokeissa kuljettaja opetteli valitsemaan kunkin traktorin edullisimman välityksen ja käyttämään hyväkseen kulloinkin tarjolla olevia erikoisominaisuuksia, kuten runko- tai häntäohjausta, jotta traktorin etenemisnopeus kokeissa olisi mahdollisimman suuri. Tutkimuksessa ei vähennetty ajon normaalisti kuuluvia, vaihtamisesta tai vähäisestä kiinnijuuttumisesta aiheutuneita keskeytyksiä. Joitakin havaintoja, jotka esim. maanpinnan esteiden vuoksi ovat muusta aineistosta täysin poikkeavia, jätettiin pois aineiston käsittelystä.

Niinkuin aiemmin on esitetty, tarkastelun perussuure oli sadan metrin matkaan käytetty keskimääräinen ajoaika (min/100 m).

3. TUTKIMUKSEN TULOKSET

31. TRAKTOREIDEN AJONOPEUDET ENSIMMÄISENÄ KOEJAKSONA (27.—29. 3. 1969)

311. Umpilumessa ajo

Traktorin lumessaliikkuvuuden tarkastelun lähtökohta-arvona voitaneen pitää ajoa tyhjänä umpilumessa tasaisella paikalla. Kun tasaishekkoksi katsottiin maasto, joka oli kaltevuudeltaan $\pm 5\%$, ajoajat muodostuivat taulukon 4 mukaisiksi.

Taulukko 4. Traktoreiden etenemisnopeudet umpilumessa tasaisella paikalla
Table 4. Driving speeds of tractors on untouched snow on almost level ground

Selitys Expl.	Traktorin numero ¹⁾ — Tractor No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ajoaika, min/100 m	5.87	7.67	4.71	4.17	..	3.81	7.25	7.56
Std. poikk., min/100 m	0.60	0.72	—	..	2.33	1.47	..	1.54	2.13	3.74
Havaintomäärä, m	200	100	—	..	500	175	..	525	175	175

¹⁾ Taulukon 3 (s. 154) numerointi.

Taulukon luvut perustuvat siis 27.—29. 3. 1969 järjestettyjen kokeiden tuloksiin. Lumen paksuus oli keskimäärin 99.3 cm ja muut olosuhteet, niinkuin edellä taulukoissa 1 (s. 150) ja 2 (s. 152) on esitetty.

Ford County-traktorin ajanmenekki on ollut pienin, joskaan ero BM-Volvo 660- ja Fiskars-traktoreihin ei ole ollut kovin suuri. Ero ei ole tilastollisesti merkitsevä (t 5 %) kumpaankaan nähden. Country eroaa näistä kahdesta 3/4-tela-

traktorista paitsi suuremman moottoritehonsa, erityisesti pitkien telojensa vuoksi. Sen akseliväli on 1830 mm, kun tämä Fiskars-traktorilla on 1580 mm ja BM-Volvo SM 660:llä 1770 mm. Lisäksi Countyssä on iso etupyörä ja erityinen telankiristyspyörä, jotka nekin lisäävät telan kantavaa pituutta. Kun Countyn tela on lisäksi leveä ja rivoiltaan kantava, se pysyi melko hyvin lumen pinnalla ja sai pitävän otteen pääasiassa kokoon puristamastaan lumesta muiden koneiden joutuessa kaivautumaan lumen läpi maahan asti. Muihin traktoreihin verrattuna County käytti myös vähemmän häntäohjausta etenemisen auttamiseen. Näistä seikoista johtuen saatiin jo silminnähden vaikutelma Countyn muita helpommasta liikkumisesta.

MF-Robur oli selvästi kahta muuta 3/4-telatraktoria (Fiskars ja BM-Volvo SM 660) hitaampi. Kokeisiin osallistuneen Valmet Terra 865-traktorin osalta koe katsottiin aiheelliseksi keskeyttää jo ensimmäisellä havaintovälillä. A-radon ensimmäisellä havaintovälillä (kaltevuus +6 %) se käytti aikaa 12 metrin matkaan 70 min/100 m.

Kaltevuuden vaikutus eri traktoreiden etenemiseen umpilumessa on esitetty kuvassa 5 (s. 157). Siinä Fiskars- ja BM-Volvo SM 660- ja toisaalta MF-Robur- ja BM-Boxer-traktoreita voitiin kuvata yhteisillä murtoviivoilla. Kuvassa Fiskars-, Clark-, County- ja BM-Volvo SM 660-traktoreiden tulokset ovat kahden kaistan keskiarvoja, muiden yhden. Ford Brunett- sekä Clark- että Timberjack-traktoreiden koe keskeytettiin ensin mainitun osalta +7 %:n ja viimeksi mainittujen +11 %:n nousussa hitaan etenemisen vuoksi. Clark Ranger käytti etenemiseen alamäessä lähes kaksinkertaisen ajan Fiskars- ja BM-Volvo SM 660-traktoreihin verrattuna, mutta ylämäessä ero pieneni huomattavasti. 3/4-telakoneet pystyivät nimittäin alamäessä paremmin kohoamaan lumen pinnalle, kun taas pyöräkoneiden oli kaivauduttava sielläkin täysin maahan asti.

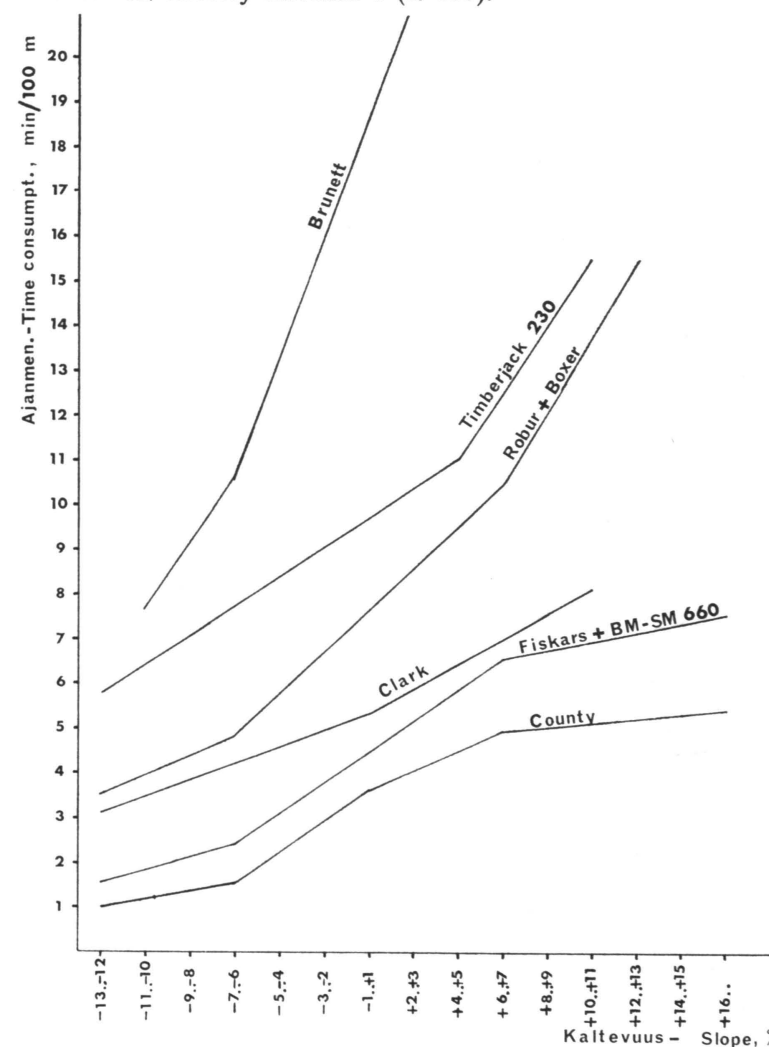
Laahusuonto- eli vetotraktorityypiset Clark Ranger ja Timberjack 230 ovat molemmat rengaskooltaan ja muilta mitoiltaan lähes samanarvoisia koneita. Niiden tärkein ero on voimansiirrossa, joka Timberjackilla on mekaaninen, kun taas Clarkissa on momentinmuunnin. Momentinmuuntimen aiheuttama tehonhäviö on toisaalta samaa suuruusluokkaa kuin niiden hevosvoimamäärien ero. Clarkin etenemisnopeus paksussa lumessa oli kuitenkin miltei kaksinkertainen Timberjackiin nähden. Ero johtunee pääasiassa Clarkin voimakkaasta ja nopeasta runko-ohjauksesta, koska kone jaksaa kiemurrella silmiinpistävän nopein liikkein lumessa eteenpäin. Merkittävä osuus lienee myös momentinmuuntimella, joka antoi joka tilanteessa pyörälle suurimman mahdollisen momentin. Myös takapyörien ketjut olivat näillä traktoreilla erilaiset. Clarkin ja Timberjackin ero oli havaittavissa myös ajojäljessä. Clark sekoitti lunta huomattavasti paremmin nostoen pintaan hakkuutähteitä ja jopa kuntaakin.

Ford Brunettin alhainen ajonopeus johtui ilmeisesti leveistä renkaista, jotka aiheuttivat suuren vastuksen. Valmet Terra 865 kevyenä pienipyöräisenä traktorina jäi yksinkertaisesti lumen kannatukselle alustansa varaan. Runko-ohjausliikkeistä huolimatta sen pyörät eivät saaneet otetta maanpinnasta.

Useimpien kokeiltujen traktoreiden mäennousukyvyyn raja on noin metrin paksuisessa lumessa +10...12 %. Fiskars- ja BM-Volvo SM 660-traktorit pysyivät selviytymään jokseenkin vaivatta vielä suuremmistakin nousuista. Kahden alimman käyrän taipuminen alaspäin nousujen jyrkentyessä johtunee siitä, että jyrkimmissä nousuissa lunta oli tuiskujen vuoksi keskimääräistä vähemmän.

312. Ajokertojen lisääntymisen ja polantumisen vaikutus

Koetraktoreilla ajettiin samaa jälkeä kolme kertaa peräkkäin (Countyllä neljä). Seuraavana päivänä polantunutta jälkeä ajettiin neljäs (Countyllä viides) kerta. Tulokset on esitetty kuvassa 6 (s. 158).



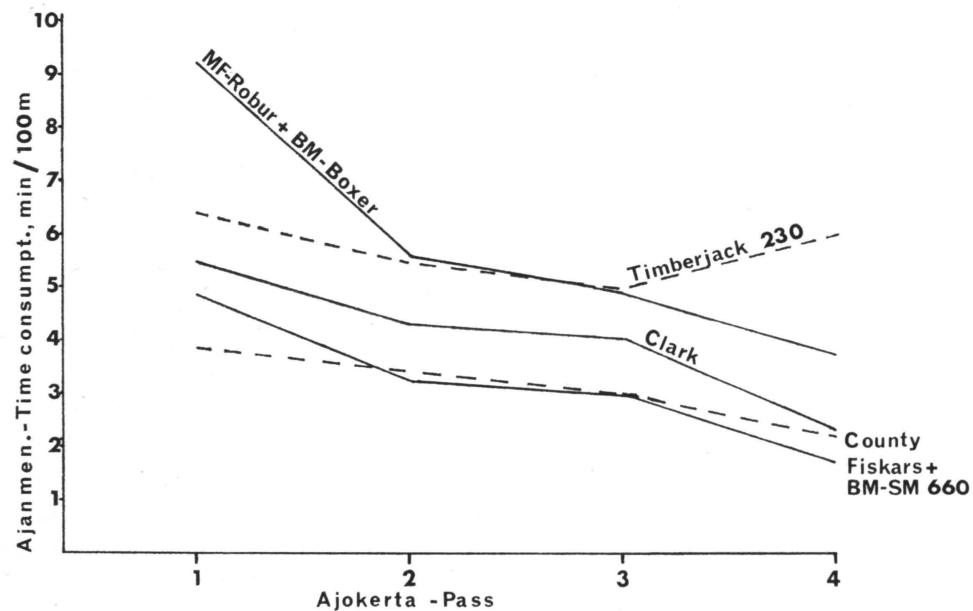
Kuva 5. Kaltevuuden vaikutus traktoreiden etenemisnopeuteen umpilumessa
Fig. 5. Effect of slope on the driving speed on untouched snow

Siinä on traktoreittain laskettu eri ajokertojen keskimääräiset ajoajat. Tässä tapauksessa traktorien välinen vertailu ei ole mahdollinen, koska kaikilla traktoreilla ei ajettu jokaista koerataa. Fiskars- ja BM-Volvo 660 sekä MF-Robur ja BM-Boxer-tractoreiden ajat on yhdistetty, koska niillä ei ollut merkitsevää eroa.

Kuvasta 6 (s. 158) huomataan, että ajoaika on poikkeuksetta toisella ajokerralla pienempi kuin ensimmäisellä. Tarvittava ajanmenekki laski keskimäärin 72 %:iin (61...92 %). Ford Brunett 5000:lla, joka puuttuu kuvasta, lasku oli 25.4 min/100 m:sta 13.8 min/100 m:iin (54 %).

Kolmannella ajokerralla liikkuminen helpottui vielä hieman, ajanmenekin ollessa tuolloin keskimäärin 64 % ensimmäisen kerran arvoista. Countyllä ajossa ei havaittu enää eroa neljännen ja kolmannen kerran välillä.

Polantuminen, siis lumen kovettuminen, on edelleen helpottanut koneiden liikkumista, Timberjack-tractoria lukuunottamatta. Keskimäärin ajoaika oli muilla 44 % ensimmäisen ajokerran ajanmenekistä. Nousuissa Timberjackin ajonopeus hidastui polantumisen vaikutuksesta jopa niin selvästi, että jo +4...+5 %:n kaltevuoksissa ajanmenekki oli suurempi kuin umpilumessa ensimmäistä kertaa ajettaessa. Alamäessä ja tasaisella sitä vastoin sen nopeus on lisääntynyt samoin kuin toisella ajokerralla. Havaitut erot johtuvat siitä, että syntynyt polanne kantoi traktoria alamäessä ja tasaisella paikalla, mutta ylämäessä sen oli uudelleen jauhettava polanne hienoksi pitävän otteen saamiseksi maanpinnasta. Clark-tractoria kohdalla samaa ilmiötä ei voitu havaita, vaikka



Kuva 6. Ajokerran vaikutus ajonopeuteen
Fig. 6. Effect of number of passes on driving speed

sillä ajettiin jopa +10...+11 %:n nousuja. Tämä johtuu siitä, että Clark sekoittaa lumen ensimmäisellä ajokerralla erittäin perusteellisesti, jolloin polanteesta tulee Timberjackin polannetta kovempi.

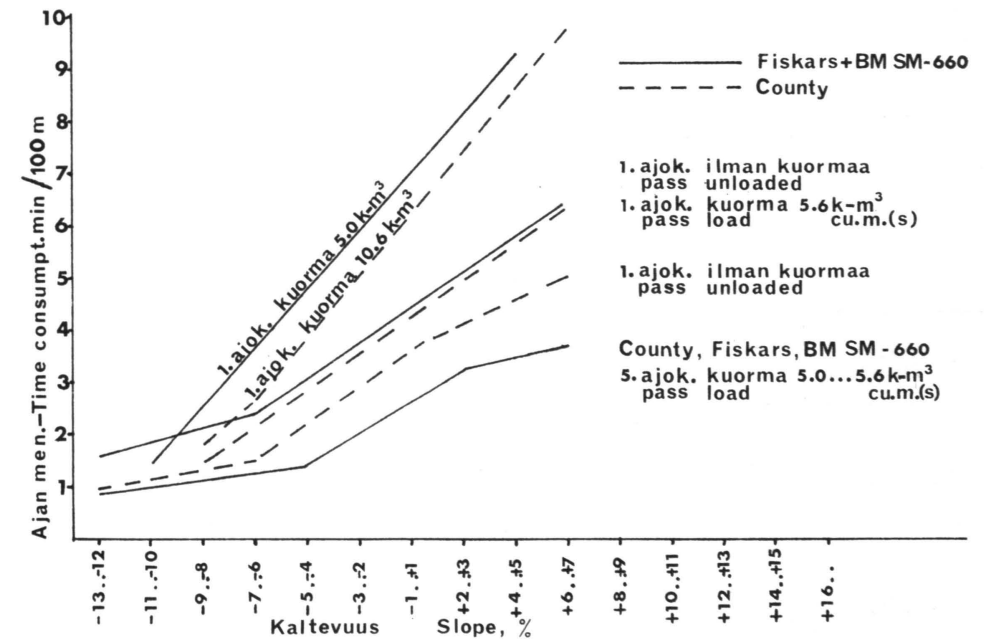
Polantumisasteen vertailemiseksi neljän traktorin yksi koekaista jätettiin kovettumaan yön yli ensimmäisen ajokerran jälkeen. Yöllä oli pakkasta noin -10°C (ks. taul. 2, s. 152). Fiskars- ja Clark-tractoreiden osalta polantumisella oli tässäkin tapauksessa edullinen vaikutus, koska ajoaika oli keskimäärin vain 55 % ja 60 % ensimmäisen ajokerran ajoajasta. Ensimmäisenä päivänä toista kertaa ajettaessa ajanmenekki oli 61 % ja 80 %.

Timberjack-tractoria kohdalla ei havaittu eroa siinä, oliko polantumaan jätettyä ajouraa ajettu kerran tai kolmesti.

Ford Countyllä sen sijaan yhdellä ajokerralla lumi ei sekoittunut tyydyttävästi polantumista varten. Edellisenä päivänä vain kerran ajettuna jäljellä ajanmenekki oli 96 % ensimmäisen ajokerran arvosta. Ensimmäisenä päivänä toistamiseen ajettaessakin ajoaika oli laskenut 91 %:iin. Yhden ajokerran johdosta syntynyt kuoripolanne oli näin ollen liian heikko, ja se murtui traktorin painosta.

313. Kuorman vaikutus

Fiskars-, BM-Volvo SM 660- ja Ford County-tractoreilla ajettiin radat A ja C umpilumessa myös kuormattuna, viimeksi mainitulla kahdella kuormankoolla.



Kuva 7. Kuorman vaikutus ajonopeuteen
Fig. 7. Effect of load on driving speed

Kuormana oli tuoreita kuoripäällisiä mäntytukkeja. Kuorman painopiste pyrittiin silmävaraisesti sijoittamaan kuormatilan keskelle. Kuorma oli 45 %, Countyllä myös 90 % ajoneuvon normaalista täydestä kuormasta. Kokeen jälkeen kuormat mitattiin ja niiden koot olivat seuraavat: Fiskars 5.1 k-m³, BM-Volvo 5.1 k-m³ sekä County 5.6 k-m³ ja 10.6 k-m³.

Kuorman vaikutusta ajoaikaan koskevat tulokset on esitetty kuvassa 7 (s. 159). Countyn ajanmenekki on lisääntynyt kokeissa esiintyvillä kaltevuuksilla 5.6 k-m³:n kuormalla 20...25 % ja 10.6 k-m³:n kuormalla 60...90%. Fiskars ja BM-Volvo SM 660-traktoreiden ajanmenekki on lisääntynyt n. 5.0 k-m³ kuormalla 35...55 %.

Kaistat, joita oli ajettu tyhjänä neljä kertaa, ajettiin vielä 5.0...5.6 k-m³:n kuormilla viides kerta (Countyllä kuudes). Nämäkin tulokset on esitetty kuvassa 7 (s. 159).

32. JATKOTUTKIMUKSET

321. Sään ja lumen rakenteen muutoksen vaikutus

Ajokokeet aloitettiin 27. 3. 69, jolloin lumiolosuhteet olivat vaikeimmat (ks. taulukko 2, s. 152). Tämän jälkeen lumi pysyi kuivana ja rakenteeltaan lähes muuttumattomana aina 21. 4 saakka. Välillä oli tosin joitakin vesi- tai räntäsadekausia, jolloin lumi joko kastui pintakerrokseltaan (enintään 10...15 cm) tai sen pintaan muodostui öisin hankikerros. 22. 4 aamulla hanki kantoi miehen, mutta iltapäivällä lumi oli pinnaltaan (n. 10 cm) märkää ja seuraavana päivänä jo täysin märkää 15 cm:n syvyyteen saakka ja sen alapuolella hieman kostunutta. 25. 4 lumi oli kauttaaltaan täysin märkää ja erittäin suurijyvistä (vrt. kuva 3 s. 151).

Taulukko 5. Ajoajat lumen rakenteen muuttuessa
Table 5. Driving speeds on different quality of snow

Traktori Tractor	Ajokerta Trip	Koeajankohta Date			
		27. 3	16 - 17. 4	22. 4	25. 4
		Keskim. ajoaika, - Driving time, min/100 m			
MF-Robur	1	5.83	7.76	8.67	2.75
	2	3.88	4.76	2.53	1.44
	3	3.49	4.12	1.74	1.14

Taulukkoon 5 on laskettu erään traktorin keskimääräiset ajoajat tasaisella ajoradalla eri koeajankohtina. Luvuista havaitaan, ettei ajonopeus parane merkittävästi ennenkuin 25. 4, jolloin lumi on kauttaaltaan kastunutta. Ajonopeuden lisääntymistä on havaittavissa tosin jo etenkin toisella ajokerralla 22. 4,

kun lumi on ollut pinnaltaan selvästi märkää. Kolmannen ajokerran tulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin toisen. Lumen pintakerroksen kastuminen ohuelti ei helpota syvässä kulkevan traktorin liikkumista, mutta edistää ajajäljen kovettumista, jolloin seuraavilla ajokerroilla nopeus lisääntyy enemmän kuin vastaavasti kuivassa lumessa ajettaessa.

Märässä lumessa telatraktoreiden ajo on nopeutunut merkittävästi, kun ajanmenekki on alentunut 30...40 %:lla. Toisen ajokerran ajonopeus on lisääntynyt vielä selvemmin, mutta tässä tapauksessa ajokertojen lisääntymisellä ei ole samaa positiivista vaikutusta traktorin liikkumiseen kuin kuivassa lumessa ajettaessa. Lumen kylmäarvosta johtuen märkä lumi polantuu näet suoja-säälläkin.

Brunett-traktorin ajoaikaan lumen kostumisen vaikutus on ollut merkittävin. Jyrkästi nousevaa B-rataa se ei pystynyt nousemaan kuivan lumen aikaan lainkaan ja A-radalla 5...6 %:n nousussa kului aikaa ensimmäisellä ajokerralla n. 25 min/100 m eli 3...4-kertainen määrä telakoneisiin verrattuna. Kauttaaltaan kastuneessa lumessa Brunett sen sijaan saavutti suunnilleen saman ajonopeuden kuin telakoneet.

322. Traktorin rakenteen vaikutus ajoaikaan

Eräänä 3/4-telatraktoreiden edustajana käytettiin kokeissa BM-Volvo SM 660-metsätraktoria, joka oli vuosimallia 1966. Sitä verrattiin 23. 4. 69 vuosimallia 1968 olevaan BM-Volvo SM 661-traktoriin. Viimeksi mainitulla oleva napavälitys on niiden tärkein rakenteellinen ero.

Kummallakin traktorilla ajettiin rinnakkaisia kaistoja. Ensimmäisellä ajokerralla BM-Volvo SM 661 käytti aikaa keskimäärin 26 %, toisella 12 %, kolmannella 7 % ja neljännellä 8 % vähemmän kuin BM-Volvo SM 660.

Voimansiirron parantuminen oli näin ollen havaittavissa nimenomaan vaikeissa ajo-olosuhteissa. Sen sijaan poljetuilla raiteilla ajoaikojen erot olivat vähäisiä.

MF-Robur-3/4-telatraktorilla verrattiin vastaavalla tavalla ns. kesä- ja talviteloja keskenään. Ensin klo 11...13 (22. 4) ajettiin kaista talviteloin ja klo 15...17 toinen kaista kesäteloin.

Talviteloilla ajettaessa ajanmenekki oli ensimmäisellä ajokerralla keskimäärin 8 % pienempi kuin kesäteloilla ajettaessa. Toisella ja kolmannella ajokerralla sen sijaan kesäteloin saavutettiin merkittävästi suuremmat ajonopeudet kuin talviteloin. Määrätyssä mielessä ristiriitaiset tulokset johtunevat sään ja lumen ominaisuuksien muuttumisesta koepäivänä. Vertailun kohteena olevia lukuja ei ole näet saavutettu samanarvoisissa olosuhteissa, koska illan suussa lumi oli kostunut pinnaltaan noin 10 cm:n paksuudelta. Toisaalta korkearipaiset talvitelat aiheuttavat poljetuilla raiteilla suuremman vierintävastuksen.

4. TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU

41. MITTAUSTEN LUOTETTAVUUS

Edellä on tarkasteltu lumen vaikutusta traktoreiden liikkuvuuteen järjestettyjen kokeiden puitteissa. Tutkimusmenetelmästä johtuu, että mittausten pääosa on voitu suorittaa mittausteknisesti varsin hyvissä olosuhteissa. Koeradat ja niiden keskeiset tunnusethan mitattiin etukäteen. Itse koepäivinä kerättiin varsinaisesti vain ajonopeutta koskevat mittaustulokset. Aikahavaintojen tekoonkaan liittyy tuskin mittausvirheitä, koska traktoreiden etenemisnopeudet olivat aina alhaiset. Vaikka siis useat eri henkilöt tekivät aikahavaintoja, mittausten helppoudesta johtuen havaintoihin ei todennäköisesti sisälly mittajasta aiheutuvaa merkitsevää virhettä.

42. TULOSTEN YLEISTÄMISKELPOISUUS

Tutkimusmenetelmästä johtuen edellä on voitu esittää vain koetuloksia, jotka pätevät ensi sijassa vain vallinneissa olosuhteissa. Kutakin koetraktoria koskevat ajoajat poikkesivat myös yleensä siinä määrin toisistaan, että tulokset kuvaavat absoluuttisina arvoina vain erikseen kutakin koeyksikköä.

Ylimalkainen traktoreiden lumessa liikkuvuuden yleiskuva voidaan kuitenkin muodostaa kokeissa käytetyn kaluston ryhmittelyn nojalla. Perusjakona on pidettävä pyörätraktoreiden erottamista telakoneista. Lumikelpoisuudeltaan parhaaseen ryhmään kuuluvat hyvät telatraktorit. Ne liikkuvat Ford Countyn tapaan pääasiassa lumen päällä, jolloin lumne paksuuden haittavaikutus ajettaessa pienenee likimain puoleen. Niinpä kokeissa ei löydetty tämän ryhmän traktorille ajokelpoisuuden teknistä paksuusmaksimia. Keskinertaisia telatraktoreita edustivat kokeissa parhaat 3/4-telatraktorit BM-Volvo SM 660-, Fiskars- ja BM-Volvo SM 661-traktorit. Nämä selviytyivät tyydyttävästi vielä vajaan metrin paksuisesta märestä lumesta. Lumikelpoisuudeltaan huonoiksi telatraktoreiksi on katsottava vanhimmat 3/4-telatraktorit ja 1/2-telatraktorit. Näillä ei ole mielekää ajaa kuin korkeintaan 80 cm:n lumessa ja silloinkin mieluummin alamäen suuntaan tai tasaista ajouraa pitkin.

Pyörätraktoritkin voidaan jakaa lumikelpoisuutensa puolesta hyviin, keskinkertaisiin ja huonoihin. Hyviä ovat mm. momentinmuuntimella ja voimakkaalla moottorilla varustetut suuripyöräiset traktorit. Clark Ranger edusti kokeissa tätä ryhmää. Keskinertäiseksi lienee syytä katsoa pyörätraktori, joka huonojen telatraktoreiden tapaan selviytyi jopa 80 cm:n lumesta, jos lumen laatu ja ajoradan kaltevuus olivat suotuisat. Tällaiset traktorit (Timberjack 230) on kuitenkin erotettava edellisestä ryhmästä lähinnä oleellisesti hitaamman etenemisen vuoksi. Kokeissa olleilla lumikelpoisuudeltaan huonoilla pyörätraktoreilla sen sijaan ei ole mielekää työskennellä enää 80 cm:n paksuisessa kuivassa lu-

nessa. Tosin lumen ollessa märkää ajo onnistuu niilläkin tyydyttävästi vielä metrin lumessa.

Vaikka tässä tutkimuksessa on tarkasteltu erilaisten traktoreiden selviytymistä pelkästään lumen etenemiselle aiheuttamasta haitasta, saadut tulokset ovat määrätyn varauksin yleistettävissä myös kantavuudeltaan heikkojen maiden kesäaikaista puun korjuuta koskeviksi. Esimerkiksi telatraktoreiden liikkuvuusominaisuudet ovat soilla aina pyörätraktoreita paremmat.

43. TULOSTEN ANTAMAT VIITTEET MAASTON LUOKITTAMISELLE, TYÖMAASUUNNITTELULLE JA KONEKEHITTELYLLE

Maastoluokituksen kehittämistä varten edellä esitetyt tulokset antavat informaatiota sekä lumen haittavaikutuksen asteen että ajokelpoisuuden raja-arvojen määrittämistä varten. Niinkuin edellisestä kohdasta (42.) on käynyt ilmi, määrätty lumenpaksuus saattaa olla toiselle traktorille esteluokkaa ja toiselle vain ajoa hankaloittava tekijä lumen laadun pysyessä samana. Samoin edellä on käynyt ilmi, että määrättyihin traktoreihin ajoradan kaltevuus vaikuttaa lumiolosuhteissa eri tavoin. Myös ajokerta ajouralla ja polantumisen vaikuttavat siinä määrin traktorin liikkuvuuteen, että nekin on sisällytettävä ajo-olosuhteiden kuvaukseen paksun lumen aikana. Näin ollen arvosteltaessa traktorin liikkuvuutta talvella on aina otettava huomioon sekä lumen paksuuden ja laadun, ajokaltevuuden, polantumisen että ajokerran samanaikaisen vaikutuksen ilmaiseva ajo-olosuhteiden indikaattori, — joskin sen tiivistäminen yhdeksi suureksi on vaikea tehtävä.

Puutavaran metsäkuljetusten suunnittelulle edellä esitetyt tulokset osoittavat paitsi teknisen ajokelpoisuuden ehdottomat lumiestearvot traktorityypeittäin, ne antavat myös viitteitä taloudellisen ajokelpoisuuden määrittämiselle. Kun lumen aiheuttama haitta ilmenee aina usean tekijän yhdistettynä vaikutuksena, työmaasuunnittelulla ja töiden ajoittamisella voidaan tietoisesti välttää talvisten työolosuhteiden negatiivisia vaikutuksia. Käytännössä esiintyvien variaatioiden suuri runsaus tekee kuitenkin optimoinnin vaikeaksi, varsinkin kun lumen paksuus ja sen ominaisuudet ovat alati vaihtelevasta säästä riippuvia.

Puutavaran kuljetuskaluston kehittämistä ajatellen kutakin traktoria koskevat tulokset antavat sellaisinaan informaatiota. Lumikelpoisuudeltaan hyvän metsätraktorin on oltava liikkumisperiaatteeltaan lumen päällä kulkeva. Telarakenteen on kyettävä nostamaan koko ajoneuvo lumen varaan. Vetokitkan on näin ollen kohdistuttava pelkästään kokoon puristettuun lumeen.

Niistä ajoneuvoista, joiden vetokitka kohdistuu lumen läpi maahan, telatraktorit osoittautuivat varsinaisia metsäpyörätraktoreita paremmiksi. Voimansiirtolajitelma näytti olevan voimakas vaikutus traktorin lumikelpoisuuteen, esim. momentinmuunnin paransi liikkuvuutta paksussa lumessa. Runko-ohjattavien pyörätraktoreiden ohjauslaitteiston voimakkuudella ja etenkin sen toimintanopeudella näytti myös olevan positiivinen vaikutus.

Kun toisaalta vuosittain joudutaan työskentelemään hyvin vaikeissa lumiolosuhteissa vain suhteellisen lyhyt aika, konekehittelyssä olisi kiinnitettävä entistä suurempi huomio sellaisen hankintahinnaltaan kohtuullisen telavarustuksen kehittämiseen, jolla pyörätraktoreiden lumikelpoisuutta voitaisiin parantaa tilapäisesti siten, että ajoneuvolla olisi lopulta sekä pyörä- että telakoneen hyvät liikkuvuusominaisuudet. Telavarustus tulisi suunnitella myös kantavuudeltaan heikkojen maiden kesäaikaiseen puun korjuuseen soveltuvaksi. Lisäksi telojen tulisi olla irroitettavissa nopeasti, jottei niiden käyttö rajoittaisi traktorin ajamista teitä pitkin työmaalta toiselle.

5. YHDISTELMÄ

Puutavaran kuljetuksen maastoluokituksen laadintaa, puun korjuun suunnittelua ja konekehittelyä varten tutkittiin talvella 1969 10 erilaisen traktorin (taulukko 3 s. 154) liikkuvuutta poikkeuksellisen vaikeissa lumiolosuhteissa. Ajonopeutta kriteerinä käyttäen verrattiin traktoreiden lumessakulkukykyä järjestettyjen rinnakkaiskokeiden periaatteella. Päätulokset olivat seuraavat:

1. Traktoreiden eteneminen umpilumessa tasaisella ajoalustalla ja kaltevuuksiltaan erilaisissa rinteissä on esitetty taulukossa 4 (s. 155) ja kuvassa 5 (s. 157). Ford County-traktori, jossa oli pitkät ja kantavat telat, osoittautui lumiominaisuksiltaan muita koetraktoreita merkittävästi paremmaksi. 3/4-telatraktoreista MF-Robur oli Fiskars- ja BM-Volvo SM 660-traktoria hitaampi. Tehokkaamman nivelohjauksen ja momentinmuuntimen vuoksi Clark oli Timberjackia nopeampi laahuosuontotraktori. Valmet 865-niveltraktorilla ajo noin metrin umpilumessa oli sinänsä teknisesti mahdotonta.

Pyörätraktoreilla rinteen estearvo oli Ford Brunettilla tuolloin +7 % sekä Clarkilla ja Timberjackilla +11 %. Järjestetyissä kokeissa ei tullut esille parhaiden 3/4-telatraktoreiden etenemisen estearvoja.

Alamäessä ajossa voitiin havaita 3/4-telatraktoreiden ja laahuosuontotraktoreiden välillä merkittäviä eroja, vaikka tasaisella tai loivassa ylämäessä ne selviytyivät lähes samanarvoisesti. Tämä johtuu siitä, että telakoneet nousivat suurilla ajonopeuksilla helpommin lumen varaan.

2. Ajokerran vaikutus ajonopeuteen ilmenee kuvasta 6 (s. 158). Toisen ajokerran ajonopeus on poikkeuksetta aina suurempi kuin ensimmäisen. Ajanmenekki pienenee yleensä noin kolmeen neljäsosaan. Kolmannella ajokerralla ajanmenekki oli keskimäärin kaksikolmasosa ensimmäisen ajokerran ajoajasta.

Lumen kovettuminen polantumisen vaikutuksesta helpottaa edelleen traktorin liikkumista, eräitä pyörätraktoreita lukuunottamatta. Ajanmenekki polantuneella ajouralla oli keskimäärin 44 % ensimmäisen ajokerran ajoajasta. Jos pyörätraktori ei sekoita lunta perusteellisesti, syntyvä polanne ei myöskään kestä ajoa etenkään ylämäessä, vaan traktorin on jauhettava koko polanne uudelleen hienoksi.

Kunnollisen polanteen syntymiseen tarvitaan kokeiden mukaan muilla traktoreilla vain yksi ajokerta, sen sijaan Ford Countylla ajettaessa ensimmäisen ajokerran johdosta syntyvä kuoripolanne on kantavuudeltaan riittämätön.

3. Kuorman vaikutus traktorin ajoaikaan on esitetty kuvassa 7 (s. 159). Ford Countyn ajanmenekki on lisääntynyt puolella kuormalla 20...25 % ja täydellä kuormalla 60...90 %. Fiskars- ja BM-Volvo SM 660-traktoreiden ajanmenekki lisääntyi puolella kuormalla ajettaessa 35...55 % tyhjänä ajoon verrattaessa.

4. Lumen ominaisuuksien muuttumisen vaikutusta havainnollistaa taulukko 5 (s. 160). Luvut osoittavat, ettei ajonopeus lisääntynyt merkittävästi ennenkuin lumen rakenne on muuttunut kastumisen johdosta selvästi. Lumen kastuminen pinnaltaan vaikuttaa polantumista edistävasti, joten ajoajat ovat myöhemmillä ajokerroilla pienempiä kuin vastaavasti kuivassa lumessa ajettaessa.

Telatraktoreiden eteneminen on erittäin merkittävästi nopeampaa kauttaaltaan märässä lumessa kuin kuivassa. Ajanmenekki on alentunut ensimmäisellä ajokerralla 30...40 % ja toisella vielä selvemmin. Seuraavilla ajokerroilla ajonopeutumista ei ole enää havaittavissa.

Lumen tilavuuspainon lisääntymisellä on erityisesti leveärenkaisten pyörätraktoreiden liikkumiseen merkittävän positiivinen vaikutus.

5. Puutavaran kuljetuksen maastoluokituksen laadintaa varten edellä selostetut tulokset tarjoavat arvokasta informaatiota sekä lumen haittavaikutuksen arvioinnin että lumen estearvojen määrittämisen osalta. Jotta määrätyn traktorin ajonopeus talvisessa työympäristössä olisi ennustettavissa, sitä varten on tunnettava kaltevuustietojen lisäksi lumen paksuus ja laatu. Lisäksi tarkastelussa on otettava huomioon ajokerta ajouralla ja ajojäljen polantuminen.

6. Puunkorjuun työmaasuunnittelulle tämän tutkimuksen tulokset kertovat ennen kaikkea eri traktoreiden käytön raja-arvot sekä lumen paksuuden että ajokaltevuuden osalta. Tässä mielessä voidaan erottaa ajokelpoisista lumi- ja kaltevuussuhteista teknisesti ajokelvottomat ja taloudellisen käytön ulkopuolelle jäävät työskentelyolosuhteet.

Myös puunkorjuukaluston kehittelylle tutkimus antoi viitteitä. Paksussa lumessa tyydyttävästi liikkuvan traktorin telarakenteen on oltava sellainen, että traktori nousee lumen päälle ja käyttää vedon tartuntapintana kokoon purista maansa lunta.

Sinänsä tutkimuksessa kävi ilmi telatraktoreiden paremmuus pyörätraktoreihin nähden vaikeissa lumiolosuhteissa. Toisaalta lienee kehitettävissä ajoneuvo, jossa tela- ja pyörätraktoreiden hyvät liikkuvuusominaisuudet ovat yhdistettävissä, ainakin tilapäisesti.

KIRJALLISUUS:

- HAARLAA, R. 1971. Maaston ja kuorman vaikutus metsätraktoreiden ajonopeuteen. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja n:o 9.
- KANTOLA, M. & PUOSKARI, O. 1960. Tutkimuksia maatalouspyörätraktorin lumikelpoisuuden lisäämiseksi. Työtehoseuran julkaisuja n:o 86.

- LEVANTO, S. 1964. Koetuloksia eräiden traktoriperävaunujen ajo-ominaisuuksista. Työtehoseuran metsätiedoitus 77.
- MAKKONEN, A. 1965. Traktoreiden kittakaketjut ja -vyöt. Työtehoseuran metsätiedoitus 84.
- SILVENNOINEN, U. 1966. Metsätraktoreiden kyky liikkua lumessa. Metsätaloudellinen aikakauslehti 21/1966.
- SVENSSON, A. 1968. Erfarenheter från utvecklingsarbete med skogsmaskiner. Samarbetsorganisation för fordonmarkforskning. Meddelande 4/1968. Stockholm.

THE MOBILITY OF LOGGING TRACTORS ON SNOW
SUMMARY:

The mobility of ten different logging tractors (table 3, p. 154) was tested during the winter 1969 under very difficult snow conditions for development of a terrain classification for timber transportation, for gathering information for planning of logging operations and for logging machinery design. The mobility of tractors was compared on parallel testlanes using the driving speed as a criterion. The main results were as follows:

1. The mobility of tractors on untouched snow on level ground and on slopes of different grades is presented in table 4 (p. 155) and in fig. 5 (p. 157). The Ford County-tractor with long and bearing full-tracks proved out to have a better mobility than the other tractors in the tests. From the three-quarter-track-tractors MF-Robur was slower than the Fiskars- and the BM-Volvo SM 660. Because of its more powerful steering system Clark was a faster skidder than Timberjack. The Valmet 865-skidder was unable to move on onemeter snow at all.

The mobility limit of wheeled tractors was for Ford Brunett +7 % and for Clark and Timberjack +11 %. A mobility limit for three-quarter-track-tractors was not found in these tests.

On downhill grades it was found significant differences between three-quarter-track-tractors and skidders, although their performance on level ground or on uphill grades was about the same. The reason is that the tracked vehicles can easier move on the packed snow layer and reach a high driving speed.

2. The effect of the number of passes on the driving speed can be seen in fig. 6 (p. 158). The driving speed during the second pass is always higher than that during the first pass. In general, the time consumption decreases to three fourths. During the third pass the time consumption was on an average two thirds of that during the first pass.

Because of the packing phenomenon snow becomes harder and the moving of tractors is easier — excluding some wheeled tractors. The time consumption on packed snow was on an average 44 % of that of the first pass. If the wheeled tractor does not mix the snow thoroughly, the packed layer does not last on uphill grades, but the tractor has to grind the snow again. A sufficiently packed snow layer is

achieved by other tractors during the first drive, but using Ford County the thin layer does not bear after one pass.

3. The effect of load on the driving time of the tractors can be seen in fig. 7 (p. 159). The time consumption of Ford County increased with half a load 20 to 25 % and with a full load 60 to 90 %. The time consumption of the Fiskars- and BM-Volvo SM 660 tractors increased with half a load 35 to 55 % compared to the driving without load.

4. The changes in the quality of snow are demonstrated in table 5 (p. 160). The numbers show that the driving speed does not increase significantly until the density of snow has entirely changed through getting wet. The wet top layer of snow has a positive effect on driving, because it promotes the packing phenomenon. Because of that the driving speeds are during the following passes higher than on dry snow.

The mobility of tracked vehicles is very significantly better on thoroughly wet than on dry snow. The time consumption has decreased during the first pass 30 to 40 % and during the second one even more. During the following passes no effect on driving speed was found, however.

The increase in the density of snow had a highly significantly positive effect especially on the mobility of broad-tired wheeled tractors.

5. To the development of a terrain classification for timber transportation the results presented before offer valuable information on both the calculation of the negative effect of snow and the definition of the preventing limits of snow in cross-country movements. To be able to predict the driving speed of a tractor in winter working conditions one must know the height of the snow layer and the density of snow as well as the grade of slope. In addition, the number of passes on the same route and the packing phenomenon of snow must be regarded.

6. To planning of logging operations the results of this study tell before all the limit values for the use of different tractors both concerning the height of snow layer and the grade of slope. Paying attention to these facts it is possible to separate the favourable snow and slope conditions from those which lay outside an economic use.

Even for the machinery design it was gained useable results in this study. The track construction of a tractor must be of the kind that the machine can completely get up on the snow. So it can use only the packed snow as a gripping surface, which is the prerequisite for a fast driving in snow conditions.

In this study it was also found out the obvious preference of tracked vehicles in difficult snow conditions — compared to wheeled tractors. However, it might be possible to design a vehicle where the good driving qualities of both tracked and wheeled tractors are combined, at least temporarily.