

MAASTON VAIKUTUKSESTA METSÄTEIDEN RAKENNUKSEEN

RIHKO HAARLAA

SUMMARY:

ON THE EFFECT OF TERRAIN ON FOREST ROAD CONSTRUCTION

Saapunut toimitukselle 13. 11. 1973

Yhteispohjoismaiseen MAASTO-KONE-projektiin kuuluvana osaongelmana selvitetiin kesällä 1973 tienrakennustyön maastoluokitukselle asettamia vaatimuksia 10 metsätietyömaalla, joilla käytettiin joko pusku- tai kaivurimenetelmää.

Eniten tienpohjan rakentamisaikaan vaikuttaviksi maastotekijöiksi todettiin maaperän tunnuksista syvyysindeksi ja maan kosteus sekä lisäksi maan pintatekijöistä kantoisuus. Nämä selittävät kuitenkin vain varsin pienen osan käytännön metsätietyömailla esiintyvistä laajasta tienrakennustuotoksen vaihtelusta.

1. JOHDANTO

11. TUTKIMUKSEN TAUSTA

Yhteispohjoismaiseen MAASTO-KONE-tutkimusprojektiin kuuluvana osaselvityksenä seuraavassa tarkastellaan metsäteiden rakentamiseen käytettävien koneiden käyttäytymistä erilaisissa maasto-olosuhteissa.

Kuten yhteispohjoismaisen maastoluokitusprojektien ensimmäisen vaiheen loppuraportissa (HAARLAA ja ASSERSTÄHL 1972, s. 5—6) ja projektin toisen vaiheen ensimmäisessä — metsämaan laikutusta koskevassa — tutkimusloistuksessa (HAARLAA 1973 a, s. 5—6) on esitetty, yleisesti käyttökel-

poisen maastoluokituksen laatiminen edellyttää kaikkien metsämaastossa tapahtuvien toimintojen luokitukselle asettamien vaatimusten huomioon ottamista.

Toistaiseksi on selvitetty ensisijaisesti vain maaston vaikutusta puutavaran metsäkuljetustuotukseen (HÄARLAA 1973 b, ASSERSTÄHL 1973). Vaatimuksia, joita maasto asettaa metsätien rakentamiselle, ei sensijaan ole tutkittu. Myöskään ei tiedetä, kuinka eri maastotekijät vaikuttavat tienrakennuksen tekniseen toteuttamiseen. Kun toisaalta myös puutavaran kuljetussuunnitelmia laadittaessa joudutaan tekemään usein laskelmia kuljetus- ja tienrakennuskustannuksista, esillä olevan tutkimuksen suorittaminen on tästäkin syystä perusteltua.

12. METSÄTIEN RAKENNUSTA KOSKEVA AIEMPI KIRJALLISUUS

Harva metsätaloudellisen toiminnan ala on ollut toistaiseksi yhtä vähäisen tutkimustoiminnan kohteena kuin metsätienrakennus. Kotimaiset alan tutkimukset puuttuvat — lähinnä talviteitä lukuunottamatta — miltei kokonaan. Vain eräistä oppikirjoista ja lehtiartikkeleista on ollut saatavissa aihepiiriä koskevaa painettua tietoa. Ulkomaiset tutkimukset puolestaan koskevat olosuhteita, jotka poikkeavat täkäläisistä, eivätkä ne siten ole sellaisenaan soveltamiskelpoisia.

Joko kesä- tai talviteitä koskevia oppikirjoja ovat kirjoittaneet LEHTOLA (1934), VUORISTO ja HALLENBERG (1937), PUTKISTO (1952) sekä SILVAN ja TAIVAINEN (1952). Vastaavaa informaatiota ovat julkaisseet myös esim. SILVAN (1947, 1968), PUTKISTO (1951, 1953 a), WAHLGREN (1963—4), WECKSTEN (1966) ja ARNKIL (1970). Tienrakennuskoneiden käyttöä ovat selostaneet KOSKENMAA (1951) ja SALMINEN (1970). Tienrakennustekniikkaan liittyvistä erikoisrakennusmateriaaleista ovat kirjoittaneet mm. HUDSON (1967) sekä GANDAHL ja NYKVIST (1971). Jättämällä metsätieverkon mitoitukseen liittyvät tutkimukset tässä yhteydessä käsittelemättä, itse tien mitoitusta käsittelevien artikkeleiden kirjoittajina BOHM ym. (1965) sekä LINDSTRÖM ja NILSSON (1971). Tienrakennustoimintaan liittyviä kustannuksia ovat käsitelleet PUTKISTO (1953 b, 1965), VIRTANEN (1972) sekä SUNDBERG ja TURÉN (1971). Nimenomaan maastotekijöiden vaikutuksesta kevytrakenteisen metsätien tekoon on saatavissa tietoja RUUSKASEN (1967) ja SÄKKISEN (1968) tutkimuksista. Sen sijaan VUORION (1972) tutkimus maaston vaikutuksesta maantien geometriaan Suomessa sekä AITOLAHDEN ja NUMMISEN (1968) metsäojankaivureiden työtehotutkimus ovat jo sivussa tämän tutkimuksen perusongelmasta, vaikka ne osittain sitä sivuavatkin. Voimassa olevat metsäautotienormit on julkaissut Metsähallitus (ANON. 1972).

13. TUTKIMUSTEHTÄVÄN ASETTAMINEN JA RAJOITTAMINEN

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää metsätien rakentamisen tuotos erilaisissa maasto-olosuhteissa. Kokonaistuotoksen selvittämiseksi rakennustyö jaetaan ensin komponentteihin, jotka yhdistämällä saadaan selville tienrakennuksen kokonaisajanmenekki. Tuotoksen perusteella voidaan laskea tienteon kustannus eri olosuhteissa sekä suorittaa kustannusvertailu.

Maastotekijöiden vaikutusta tutkitaan tealueen raivauksen sekä tienpohjan muotoilun ja tasoituksen osalta. Tutkimus kohdistuu kahteen tienrakennustapaan, nimittäin pusku- ja kaivurimenetelmään. Metsätietyypeistä tutkimus rajataan koskemaan vain kahta keveintä tyyppiluokkaa, alueita ja varsiteitä. Koska koko tienrakennustyö on monivaiheinen töiden sarja, tutkimus painottuu varsinaiseen tealueen raivaukseen ja tienpohjan muotoiluun, joihin maastotekijöillä on ilmeisesti suurin vaikutus. Varsinaisten tienrungon rakennusmassojen kuljetus tienpohjalle ja niiden tasointu jätetään siten tarkastelun ulkopuolelle. Ei myöskään räjäytys-, rumpu- ym. erikoistöitä tarkastella lähemmin, koska niitä koskeva aineisto jäi yksittäishavainnoksi.

Vaikka tutkimus on rakenteeltaan tavanomaisen tuotoselvityksen muotoinen, samassa yhteydessä uskotaan saatavan selville maastoluokituksen laadinnassa välttämättömät tiedot kunkin maastotekijän merkityksestä tienrakennustoiminnassa ja siten siis tienrakennuksen maastoluokitukselle asettamat vaatimukset.

Tutkimusaineiston keräyksen järjestelyssä avustivat Helsingin, Tampereen, Jyväskylän ja Lahden metsänparannuspiirien sekä Enso-Gutzeit Oy:n ja Tehdaspuu Oy:n metsäammattimiehet. MH JUSSI SEPPÄLÄ ja metsät.yliopp. HANS POLMAN huolehtivat kenttätöistä. Ylimetsänhoitaja LAURI SILVÄN avusti tutkimuksen suunnittelussa ja esitti käsikirjoituksen parannuksia. Prof. KALLE PUTKISTO seurasi läheltä tutkimuksen edistymistä ja antoi varteenotettuja ohjeita työn eri vaiheissa. METSÄTALouden EDISTÄMISRahasto tuki tutkimusta taloudellisesti. — Esitän kaikille parhaat kiitokset saamastani avusta.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

21. AINEISTON KERÄYSMENETELMÄT JA -LAITTEISTOT

Maastotekijöiden ja tienrakennusta suorittavien koneiden tuotoksen väliset riippuvuudet ovat luonteisesti selvitettävissä kokeellisesti. Koejärjestelyin, so. työkone ja koealan paikka valitsemalla osa tienrakennukseen vaikuttavista tekijöistä voidaan pitää vakiona ja siten mitata vain määrätyn muuttuvan tekijän erillinen vaikutus. Tienrakennuksen maastovaikutustekijöiden luokitusongelma ratkaistaan kolmessa vaiheessa. Ensiksi laaditaan ko-

keita varten väliaikainen primäärinen maastovaikeusluokitus. Toiseksi mitataan valittujen koneiden työskentelystä joukko havaintoja perusriippuvuuksien selvittämiseksi. Kolmanneksi luodaan eri riippuvuuksien pohjalta sekundäärinen tienteon maastovaikeusluokitus, mikäli riippuvuudet ovat riittävän luotettavat ja yksiselitteiset.

Tutkimusaineiston keräyksessä noudatettu väliaikainen maastotekijöiden luokitus ja mittaustapa on esitetty liitteessä (s. 307) Tielinja jaettiin aineiston keräyksessä maastoltaan mahdollisimman yhdenmukaisiin osiin, joiden pituus oli puskumenetelmässä keskim. 35 m (19 . . . 100 m) ja kaivurimenetelmässä 12 m (2 . . . 24 m). Osa maastotekijöistä mitattiin ennen työn aloittamista, osa vasta työn jälkeen (esim. maalaji). Lisäksi tehtiin työn laatuun liittyviä havaintoja jälkikäteen.

Yksityiskohtaisten aikahavaintojen teossa aikatutkija käytti ns. kolmen kellon HEUER-menetelmää.¹⁾ Työyksikön päivittäisen ajankäytön selvittämiseksi kussakin tutkitussa työkoneessa oli tärinäkello (Kienzle TFW 3/8). Kiekkojen tulkinnan helpottamiseksi kuljettaja täytti erityisen työmaalomakkeen, johon hän merkitsi tunnin tarkkuudella keskeytyksen syyn. Kiekkojen analysoinnissa käytettiin ko. tehtaan kehittämää tulkintalaitetta.



Kuva 1. Tutkimustyömaiden sijainti
Fig. 1. Location of the studied operations

1) Työvaiheen vaihtuessa vivusta painettaessa samanaikaisesti a) yksi kello pysähtyy ilmoittaen päättyneen ajan pituuden, b) toinen kello käynnistyy uuden vaiheen mittauksen varten ja c) kolmannen kellon osoitin siirtyy nolla-asentoon. Talletettavan havainnon muistiinmerkintään on siten käytettävissä koko seuraavan havainnon kesto. Koska lukeminen tapahtuu pysähtyneestä osoitimesta, havainnoinnin tarkkuus on myös tavanomaista palautuskellomenetelmää parempi.

22. AINEISTO LAAJUUS JA LAATU

Tutkimustyömaiden sijainti on esitetty oheisessä kartassa. Tutkimuksen kohteena olleet työkoneet on lueteltu taulukossa 1. Yleisnimike kaivuri tarkoittaa tässä tutkimuksessa sekä varsinaisia kaivukoneita (koneet 2, 3 ja 4) että traktorikaivureita (kone 5).

Taulukko 1. Tutkitut tienrakennuskoneet
Table 1. Road construction machines included in the data

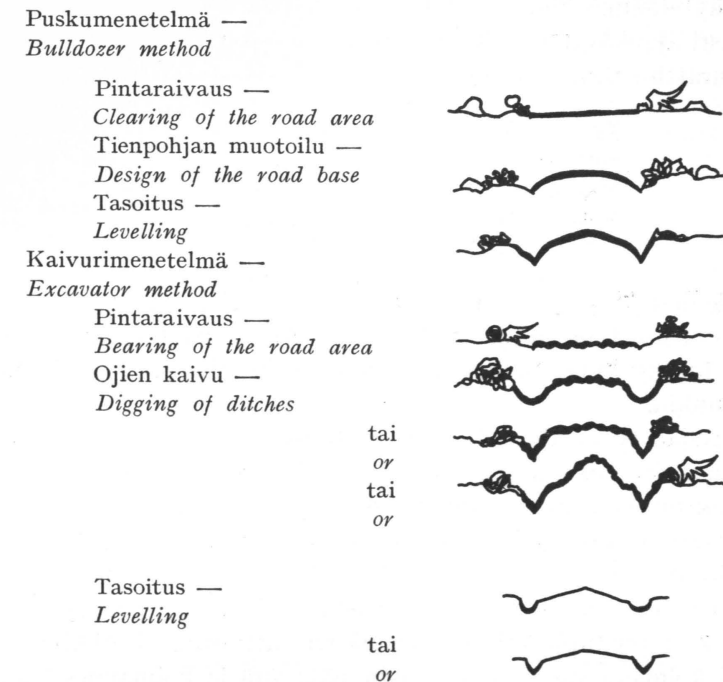
Koneen merkki ja malli <i>Make and model</i>	Työmaan n:o <i>No. of the operation</i>	Havainnoja <i>Observations</i>	
		kpl <i>Freq.</i>	m
Puskutraktori — <i>Bulldozer</i>			
1. Caterpillar D 8	1, 2, 7, 8	138	4126
Kaivurit — <i>Excavators</i>			
2. RH 5 HD	3	5	57
3. BROYT X 2	4, 9	75	998
4. POCLAIN TC S	5	9	93
5. UKKO-MESTARI	6, 10	70	763
(Ford 5000)			
Yhteensä — <i>Total</i>	10	297	6037

Puskumenetelmää koskevassa tutkimusaineistossa erotettiin tehollisina tienrakennuksen työvaiheina 1. pintaraivaus, 2. tienpohjan muotoilu ja 3. tasoitus (kuva 2, s. 289). Pintaraivauksessa teialueelta irroitetaan kannot ja pintakivet, jotka työnnetään kasoihin teialueen ulkopuolelle. Tienpohjan muotoiluvaiheessa pusketaan sivu-ojat ja tie saa kuperan muodon, kun leikkaus- ja ojamassat siirretään tienpohjaksi. Viimeistelyvaiheessa on pääpaino siirrettyjen massojen tasoituksessa ja tiivistämisessä. Puskumenetelmässä työvaiheiden suoritusjärjestys pysyi yleensä samana ja ne olivat melko helposti toisistaan erotettavissa.

Kaivurimenetelmän työtekniikka vaihteli melkoisesti työn suorittajan mukaan. Ensimmäinen työvaihe oli tällöinkin pintaraivaus, jolloin isot (halkaisijaltaan yli 20 cm) kivet ja kannot, suuret hakkuutähteet ja osa humuksesta poistettiin teialueelta. Toisena työvaiheena oli ojien kaivu, jonka tuloksena saatiin tienrunkoon tarvittavat massat. Toisinaan massat levitettiin heti tasaisesti teialueelle (tiet 3, 4, 6 ja 9), toisinaan ne jätettiin pitkänomaisesti ojamaavalliksi tien keskelle (tiet 5 ja 10). Joskus kaivurilla tehtiin koko

Kuva 2. Metsätienrakennuksen työmenetelmät

Fig. 2. Work methods in forest road construction



tien pohja kerralla valmiiksi (tiet 3, 4 ja 9), toisinaan taas kaivettiin vain toinen oja kerrallaan (tiet 5, 6 ja 10). Kolmantena työvaiheena oleva tasoitus tehtiin joko pienellä puskutraktorilla (tiet 3, 4, 5, 9 ja 10) tai lanalla (tie 6).

23. AINEISTON KÄSITTELY

Maastohavainnot muokattiin esikäsittelyssä yhtenäisiä maasto-osuuksia koskeviksi havainnoiksi, jotka lävistettiin reikäkortteille. Kutakin tien päätäkää koskeva tietue käsitti 43 muuttujaa kahdella reikäkortilla. Aineiston käsittelyssä käytettiin hyväksi Helsingin yliopiston laskentakokeskuksen kehittämää HYLPS-ohjelmistoa.

3. TUTKIMUSTULOKSET

31. AJANKÄYTÖN RAKENNE TIENRAKENNUSTÖISSÄ

311. Työmaa-aika

Metsätien rakennus on tyypillistä urakointitoimintaa. Koska suurin osa maamme urakointiyrityksistä on pieniä, korkeintaan muutaman koneyksikön

omistavia, toiminta on vakiintumatonta ja töiden järjestelyssä ja siitä seuraavassa työkoneiden ajankäytössä on käytännössä suurta vaihtelua. Pelkätään se, käytetäänkö konetta yhdessä vain kahdessa työvuorossa, vaikuttaa ratkaisevasti ajankäyttöön. Tutkimuksen kuluessa tutkimustyökoneiden toimintaa seurattiin tärinäkellojen avulla ja saatiin seuraavat karkeat tulokset:

Työmaa-aika	43 %
Siirto työmaalta toiselle	2 %
Muu ajankäyttö	55 %
Kokonaisaika	100 %
(52 vrk à 24 h)	

Tärinäkellojen kiekkojen tulkinna ja kuljettajan täyttämän lomakkeen nojalla todettiin työmaa-ajasta käytetyn 61 % päätyöhön (puskuun tai kaivuun). Lisäksi kului huoltoon, korjauksiin ja erilaisiin työn keskeytyksiin 13 % kuhunkin.

Aikatutkijan työmaalla tekemien mittausten perusteella laskettu suhteellinen työmaa-ajan rakenne on esitetty koneittain taulukossa 2. Siitä havaitaan tienrakennuskoneiden ajankäytössä suuri vaihtelu, mihin edellä viitattiin. Päätyön osuus työmaa-ajasta vaihteli nyt 61 ... 96 %. Tärinäkello osoittama 61 % lienee kuitenkin yleistettävämpi luku, koska aikatutkija saapui usein aamulla työmaalle vasta huoltotöiden päätyttyä ja poistui työmaalta heti pitempiaikaisen korjauksen sattuessa. Kaikkiaan on siten noin kaksi kolmannesta työmaa-ajasta päätyötä ja kolmannes huolto-, korjaus- ja muuta seisonta-aikaa.

Taulukko 2. Metsätiekoneiden työmaa-ajan suhteellinen rakenne
Table 2. Structure of the working area time for road construction machines

Työvaihe Work phase	Koneen numero ¹⁾ No. of the machine ¹⁾					Keskim. On average
	1	2	3	4	5	
	%					
Työn valmistelut — Preparations	0.1	—	0.8	—	1.6	0.6
Pääaika — Main time	78.4	96.3	71.8	65.7	61.6	72.6
Työsk.liit. siirto — Changing position during work	—	3.7	4.7	7.6	5.9	2.8
Huolto — Service	1.2	—	1.0	13.1	0.3	1.1
Korjaus — Repair	0.1	—	0.8	—	—	0.3
Keskeytykset — Delay	20.2	—	20.9	13.6	30.6	22.6
Yhteensä — Total	100	100	100	100	100	100

¹⁾ Taulukko 1 (s. 288) — Table 1 (p. 288).

312. Päätyöaika

Puskumenetelmässä (kuva 2, s. 289) ensimmäinen työlaji, pintaraivaus suoritettiin joko erikseen tai muotoiluun yhdistettynä. Taulukon 3 mukaan käytettiin yhteensä n. 30 % päätyöajasta tiealueen raivaukseen ja runsaat 65 % tienpohjan muotoiluun ja tasoitukseen. Loppu koostui harvoin esiintyvistä työlajeista, kuten erillisestä ojan puskusta, maan otosta tiealueen ulkopuolelta ja muista erittelemättömistä töistä.

Kaivurimenetelmässä (kuva 2, s. 289) pintaraivauksen osuus ajankäytöstä on jonkin verran vähäisempi kuin puskumenetelmässä. Raivaustarve on tällöin näet pienempi, koska osa maanpinnan epätasaisuuksista voidaan peittää välittömästi ojista nostetuilla massoilla. Pelkkää tienpohjan muotoilua ei toisaalta ole kaivurityössä juuri lainkaan, vaan se yhdistyy joko ojan tai ojien kaivuun. Toisaalta tienrakennuksessa voidaan käyttää kaivurin lisäksi tasoitukseen pientä puskutraktoria tai lanaa, jolloin kaivurin työ on pelkätään ojan kaivua. Työssä noudatetun työtavan perusteella laskien saatiin taulukossa 3 esitetyt sadannekset eri työläjien osuuksista.

Taulukko 3. Metsätiekoneiden päätyöajan suhteellinen rakenne
Table 3. Structure of the main time for road construction machines

Työlaji Type of work	Koneen numero ¹⁾ No. of the machine ¹⁾					Kaivurit keskim. Excavators on average
	1	2	3	4	5	
	%					
Raivaus — Clearing	23.0	—	20.1	—	13.0	16.3
Muotoilu — Design	55.8	—	0.6	—	0.1	0.3
Sivuojan kaivu — Digging of a side-ditch	2.3	100	—	100	34.6	18.7
Raivaus + muotoilu — Clearing + design	14.3	—	4.6	—	1.2	3.0
Muotoilu + 1 s.o. — Design 1 + s.d.	0.2	—	41.8	—	23.3	32.3
Muotoilu + 2 s.o. — Design + 2 s.d.	—	—	32.9	—	27.7	29.4
Muut työt — Other work	4.4	—	—	—	0.1	Δ
Yhteensä — Total	100	100	100	100	100	100

¹⁾ Taulukko 1 (s. 288) — Table 1 (p. 288).

32. TIENRAKENNUSTYÖN TUOTOKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

321. Yleisiä näkökohtia

Toiminnan monimuotoisuudesta johtuen tienrakennustyöhön vaikuttavien tekijöiden pelkistäminen on tutkijalle vaikea tehtävä. Yksiselitteisten johtopäätösten tekeminen edellyttää aina lukuisten samanaikaisten rajoitusten ottamista huomioon. Niinpä seuraavassa metsätien rakennuksesta esitettävät johtopäätökset jäävät pakostakin yleisluonteisiksi ja ne tehdään ensisijassa maastoluokituksen kannalta keskeisten näkökohtien ilmaisemiseksi. Niissä ei ole esim. voitu erottaa kuljettajien ammattitaidon vaikutusta, koska tämän tärkeän tuotostekijän mittaamiseksi ei toistaiseksi valitettavasti ole riidatonta menetelmää.

Maastotekijöiden vaikutus tienrakennuksen tuotokseen ilmaistaan aluksi numeerisesti osoittamalla aarin suuruinen tienpohjan rakentamiseen kulunut teho- ja kokonaisajan menekki (min/a). Kokonaisaika on tällöin tehoajan ja työn kuluessa sattuneiden keskeytysten summa. Näin laskien eliminoidaan tienpohjan leveyden vaikutus, joka puskutraktoriaineistossa oli keskimäärin 5.5 m (3.8 ... 11.2 m) ja kaivuriaineistossa 6.0 m (3.9 ... 8.9 m). Keskimääräinen tehoajanmenekki oli puskumenetelmässä 16.4 min/a ja kaivurimenetelmässä 40.1 min/a. Vastaavat kokonaisajan menekit olivat 20.7 min/a ja 55.2 min/a. — Koepätkän tekoon tarvittavien puskujen lukumäärä vaihteli 1 ... 216 ja kauhaisukertojen määrä vastaavasti 14 ... 369.

322. Maaston vaikeus

322.1. Maaperä

Tutkimusaineiston keräyksessä selvitettiin työhön vaikuttavina maaperätekijöinä a) humuksen paksuus, b) maalaji, c) maankosteus, d) syvyysindeksi ja e) maan leikkauslujuus (ks. liite, s. 307).

Humuksen paksuus tarkoitti tällöin kivennäismaan tai kallion päällä olevan eloperäisen kerroksen paksuutta, joten se sisälsi sekä kangashumuksen että turpeen. Aineiston käsittelyssä havainnot jaettiin neljään luokkaan: 1. alle 5 cm, 2. 6 ... 10 cm, 3. 11 ... 15 cm ja 4. 16 ... 30 cm. Keskimääräiset tienpohjan tekoajat olivat seuraavat:

Humuksen paksuus — *Thickness of humus layer*

	1	2	3	4	Keskim. — Average (Yht. — Total)
<i>Puskutraktori — Bulldozer</i>					
Tehoaika — <i>Effective time</i> , min/a	14.3	13.8	8.7	22.6	14.8
Kokonaisaika — <i>Total time</i> , min/a	18.4	17.9	8.7	31.4	19.3
Havaintoja, kpl — <i>No. of observations</i>	11	12	1	3	(27)
<i>Kaivurit — Excavators</i>					
Tehoaika — <i>Effective time</i> , min/a	34.9	42.3	34.2	32.7	34.7
Kokonaisaika — <i>Total time</i> , min/a	44.6	78.3	39.3	51.5	44.7
Havaintoja, kpl — <i>No. of observations</i>	42	1	11	5	(59)

Lukujen perusteella työajoissa ei voida havaita muutosta, joka seuraisi humuksen paksuuden vaihtelusta. Sen sijaan työmenetelmällinen eroavuus on kiistaton. Puskumenetelmän kokonaisajanmenekkinen on keskimäärin vain puolet kaivurimenetelmän tehoajanmenekistä. Lisäksi on huomattava, että kaivurityön jäljiltä tienpohja jäi usein tasoittamatta, siis keskeneräiseksi.

Tienrakennuksessa työstyetty vallitseva *maalaji* määritettiin silmävaraisesti työnteon jälkeen. Aineistossa esiintyivät 1. turve, 2. savi, 3. siltti, 4. hiekka, 5. silttimoreeni, 6. hiekkamoreeni ja 7. soramoreeni. Maajaleittain keskimääräiset ajanmenekit olivat seuraavat:

	Maalaji — <i>Soil type</i>							Keskim. (Yht.)
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Puskutraktori¹⁾</i>								
Tehoaika, min/a	24.6	14.8	..	7.7	21.2	13.7	..	16.4
Kokonaisaika, min/a	33.7	18.2	..	9.7	26.8	17.3	..	20.7
Havaintoja, kpl	5	40	—	17	50	26	—	(138)
<i>Kaivurit</i>								
Tehoaika, min/a .....	..	31.3	57.7	..	36.8	..	48.0	40.1
Kokonaisaika, min/a .....	..	4.51	86.2	..	49.0	..	68.8	55.2
Havaintoja, kpl	—	10	19	—	114	—	16	(159)

¹⁾ Cf. p. 293

Ylivoimaisesti edullisinta maalajia tämänkin aineiston mukaan on lajitunut hiekka. Minimiajanmenekki oli puskumenetelmässä 7.7 min/a. Asetta huonompaa ainesta ovat savi ja sorainen moreeni, joihin tienpohjan pusku edellyttää n. 15 min/a ajanmenekkiä. Kivikkoisen turve ja silttimoreeni olivat puskun kannalta aineiston vaikeimmat maalajit. Kaivurimenetelmän huipputuotos saavutettiin savimaalla. Seuraavina olivat siltti- ja soramoreenimaat. Hankalinta tienteko oli kaivurilla iskostuneeseen

silttimaahan, jolloin ilmeisesti työskenneltiin lähellä koneen suorituskyvyn rajaa, koska kokonaisajan menekki oli jo yli kaksinkertainen keskimääräiseen ajanmenekkiin verrattuna.

Tulosten mukaan pelkkä maalajin raekoon vaihtelu ei korreloi merkittävästi ajanmenekin kanssa, vaan raekoostumuksen homogeenisuus, maan tiiviys ja mahdollinen kivisyys ratkaisevat yhdessä tienpohjan rakennustyön tuotoksen suuruuden. — Toisaalta päällysrakenteen laadusta päätettäessä maalaji on välttämättä tunnettava, joten sekin joudutaan tienrakennuksen suunnittelussa aina selvittämään.

Maan kosteus arvioitiin silmänvaraisesti opaskasvien perusteella käyttäen ruotsalaista luokitusta (ks. liite, s. 307). Havaintoja saatiin kuitenkin vain neljästä keskimmäisestä luokasta.

Maan kosteus — *Moisture content of soil*

	2	3	4	5	Keskim. (Yht.)
Puskutraktori ¹⁾					
Tehoaika, min/a	7.9	17.2	16.4	21.9	16.4
Kokonaisaika, min/a	10.2	21.5	20.8	29.6	20.7
Havaintoja, kpl	13	93	26	6	(138)
Kaivurit					
Tehoaika, min/a	42.3	41.4	35.1	21.6	40.1
Kokonaisaika, min/a	68.1	54.5	46.4	21.6	55.2
Havaintoja, kpl	31	92	35	1	(159)

¹⁾ Cf. p. 293

Maan kosteuden vaikutus tuli esille etenkin kaivureita koskevissa tuloksissa. Mitä kosteampi maa oli kysymyksessä, sitä nopeammin työ sujui. Kostean metsämaan leikkauslujuus on yleensä myös kuivaa alhaisempi, joten esitetuille tuloksille on kaivuvaikeuden kautta looginen selitys.

Puskutraktorin tapauksessa sen sijaan maan kosteuden lisääntyminen ilmenee nimenomaan traktorin liikkuvuuden huononemisenä ja runsaan kosteuden vaikutus on tästä syystä päinvastainen. Niinpä alhaisin tuotos saavutettiin kaikkein märimmällä savimaalla toimittaessa ja suurin tuotos vastaavasti kuivalla hiekkakankaalla. Tavanomaisissa metsämaastoissa, joissa maan kosteus on joko luokkaa 3 tai 4, puskutuotosta säätelevät ilmeisesti muut maastovaikeustekijät enemmän kuin maan kosteus.

Syvyysindeksi-muuttujana talletettiin aineiston keräyksessä luku, joka ilmoitti, moniko kymmenestä rassin painamisesta upposi vähemmän kuin 30 cm (vrt. AITOLAHTI 1968). Syvyysindekseittäin saatiin seuraavat keskimääräiset työajat:

Syvyysindeksi — *Depth index*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Puskutraktori ¹⁾										
Tehoaika, min/a	12.9	9.6	18.4	25.9	15.1	13.7	17.5	20.1	16.8	25.6
Kokonaisaika, min/a	20.6	11.8	24.6	26.6	19.3	13.7	21.0	28.6	21.4	30.4
Havaintoja, kpl	4	15	4	1	14	4	19	8	17	22
Kaivurit										
Tehoaika, min/a .....	..	35.3	36.9	30.3	37.8	45.1	41.7	42.7	31.7	44.5
Kokonaisaika, min/a ....	..	35.3	61.3	46.3	42.1	74.6	58.4	53.4	37.8	64.9
Havaintoja, kpl	—	1	6	8	7	9	19	29	27	49

¹⁾ Cf. p. 293

Lukujen nojalla on havaittavissa ajanmenekin suurentuminen maan sisäisten kivien ym. jäykistävien aineiden lisääntyessä, mutta muutos on varsin loiva. Käytetty syvyysindeksi ei siten indikoi puskutraktorin eikä kaivurin työskentelyssä työvaikeutta yhtä selväpiirteisesti kuin esim. laikutustyössä käytetty indeksi (vrt. HAARLAA 1973 a, s. 23).

Maan *leikkauslujuus* mitattiin tutkimuksessa kartiopenetrometrillä kartioindeksinä (4'') (esim. HAARLAA 1972, s. 8). Aineiston käsittelyssä indeksilukemat ryhmiteltiin seuraavasti: 1. 0 ... 50, 2. 51 ... 100, 3. 101 ... 150, 4. 151 ... 200, 5. 201 ... 250 ja 6. 251 ... 300. Vastaavat ajanmenekit olivat:

Leikkauslujuus — *Soil strength*

	1	2	3	4	5	6	Keskim. (Yht.)
Puskutraktori ¹⁾							
Tehoaika, min/a	24.6	..	14.3	13.7	17.8	16.1	16.4
Kokonaisaika, min/a ..	33.7	..	20.0	17.3	21.7	20.3	20.7
Havaintoja, kpl	5	—	12	26	49	46	(138)
Kaivurit							
Tehoaika, min/a	35.2	33.4	35.9	41.5	42.5	32.5	40.1
Kokonaisaika, min/a ..	46.3	41.8	50.5	59.0	58.8	37.4	55.2
Havaintoja, kpl	13	5	17	47	68	9	(159)

¹⁾ Cf. p. 293

Tulosten mukaan ajanmenekin muutokset ovat kartioindeksin vaihdellessa vähintään yhtä epämääräisiä kuin syvyysindeksin vaihtelun osalta. Kaivureilla ajanmenekki lisääntyy keskimäärin hieman kartioindeksiarvojen suurentuessa, mutta puskutraktorilla keskiarvolukujen suunta on ehkä päinvastaisesti loistavasti laskeva.

Kaivurityön ajanmenekin tasaisuuden voidaan tulkita myös osoittavan nykyisten kaivulaitteiden riittävää voimakkuutta, joten maan leikkauslujuuden erot eivät aiheuta muutoksia kauhan tai sen käyttöpuomien liikeratoihin eikä -nopeuksiin, vaan työ sujuu lähes muuttumattomasti kaikkialla. Jos näet kauhan irroitus- ja nostokyky olisivat alimitoitettuja, tämä todennäköisesti kävisi ilmi ajanmenekkiarvojen selvänä kasvamisena määrärajan jälkeen. — Havaittu ilmiö yksinkertaistaa maaston luokitustarvetta.

322.2. Maanpinnan rakenne

Maanpinnan rakenne kuvattiin aineiston keräyksessä sekä kuusijakoisen pintakivisyys- että kantoisuusluokituksen avulla (ks. liite, s. 307). Ajanmenekit olivat kivisyysluokittain seuraavat:

Pintakivisyys — <i>Ground roughness</i>						Keskim.
	1	2	3	4	5	(Yht.)
Puskutraktori ¹⁾						
Tehoaika, min/a	12.8	9.9	17.2	24.9	..	16.4
Kokonaisaika, min/a	17.2	12.6	21.8	29.5	..	20.7
Havaintoja, kpl	39	21	50	28	—	(138)
Kaivurit						
Tehoaika, min/a	35.9	36.5	50.0	42.6	35.4	40.1
Kokonaisaika, min/a	50.5	48.6	74.9	59.7	44.5	55.2
Havaintoja, kpl	17	34	17	62	29	(159)

Kantoisuusluokittain keskiarvot olivat vastaavasti:

Kantoisuus — <i>Amount of stumps</i>						Keskim.
	1	2	3	4		(Yht.)
Puskutraktori ¹⁾						
Tehoaika, min/a	13.4	13.5	22.3	..	..	16.4
Kokonaisaika, min/a	16.8	17.8	27.5	..	..	20.7
Havaintoja, kpl	55	37	46	—	—	(138)
Kaivurit						
Tehoaika, min/a	45.0	32.2	44.4	39.6	..	40.1
Kokonaisaika, min/a	52.0	43.9	65.2	52.2	..	55.2
Havaintoja, kpl	11	36	62	49	..	(159)

¹⁾ Cf. p. 293

Ajanmenekin muutokset ovat sekä pintakivisyyden että kantoisuuden vaikutuksesta samansuuntaiset. Jos maanpinnan epätasaisuus muuttuu luokasta 2 luokkaan 3, ajanmenekki lisääntyy kaikissa tapauksissa. Toisaalta tätä tapausta helpommissa, siis täysin kivittömissä tai kannottomissa maastoissa, tai vaikeammassa luokissa 4 tai 5, muutos saattoi olla joko negatiivinen tai positiivinen. Näin ollen maanpintatekijät eivät säätelä yksiselitteisesti tienrakennuksen tuotosta.

322.3. Maanpinnan kaltevuus

Maanpinnan viettävyys työkohteessa selvitetiin sekä kaltevuutena työn etenemissuuntaan (pituuskaltevuutena) että sivukaltevuutena. Prosentin tarkkuudella tehdyt mittaukset ryhmiteltiin aineiston käsittelyssä:

1. —20 ... —6 %, 2. —5 ... 0 %, 3. 1 ... 5 % ja 4. 6 ... 20 %, sekä sivukaltevuudet vastaavasti: 1. 0 %, 2. 1 ... 2 %, 3. 3 ... 4 %, 4. 5 ... 8 %, 5. 9 ... 10 %, 6. 11 ... 15 %, 7. 16 ... 20 %, 8. 21 ... 30 % ja 9. 31 ... 40 %.

Kaltevuus työn etenemissuuntaan — <i>Slope in direction of the work</i>						Keskim.
	1	2	3	4		(Yht.)
Puskutraktori ¹⁾						
Tehoaika, min/a	14.8	16.9	16.7	17.7	..	16.4
Kokonaisaika, min/a	19.0	21.4	22.7	18.9	..	20.7
Havaintoja, kpl	38	74	15	11	..	(138)
Kaivurit						
Tehoaika, min/a	36.7	39.3	54.0	37.6	..	40.1
Kokonaisaika, min/a	53.8	52.5	70.1	37.6	..	55.2
Havaintoja, kpl	75	58	22	4	..	(159)

Sivukaltevuus — <i>Side-slope</i>										Keskim.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	(Yht.)
Puskutraktori ¹⁾										
Tehoaika, min/a	16.1	18.5	13.9	17.4	21.4	26.5	36.5	12.9	6.9	16.4
Kokonaisaika, min/a	20.3	23.4	16.6	19.2	29.8	30.9	51.1	16.7	8.0	20.7
Havaintoja, kpl	118	1	3	3	3	4	1	2	3	(138)
Kaivurit										
Tehoaika, min/a	39.9	31.5	25.4	37.8	32.4	42.3	74.8	..	..	40.1
Kokonaisaika, min/a	55.1	31.5	25.4	62.3	33.8	54.9	103.2	..	..	55.2
Havaintoja, kpl	142	3	1	6	1	4	2	—	—	(159)

¹⁾ Cf. p. 293

Aineistosta laskettujen keskimääräisten ajanmenekkilukujen perusteella on tässäkin tapauksessa todettava, ettei tien pituus- tai sivukaltevuuden muutos aiheuta säännömukaista vaihtelua tienrakennuksen tuotokseen. Sivukaltevuuden osalta aineisto jäi varsin hataraksi, koska tielinja kulki yleensä rinnettä suoraan ylös tai alas. Pituuskaltevuudenkaan vaikutus ei ole ratkaiseva, koska pusku suunnataan tavallisesti rinnettä alaspäin.

323. Tienrakennustyön ajanmenekin ennustemallit

Maastovaikeustekijöiden vaihteluun perustuva tienpohjan teon tehoajanmenekin ennustemalli kehitettiin valikoivan regressioanalyysiohjelman avulla erikseen puskutraktorille ja kaivureille. Yhteensä 138 koepätkän nojalla saatiin *puskutraktorin* työskentelylle seuraava yhtälö (1):

$$\hat{Y}_1 = 0.034 + 0.84X_1 + 0.52X_2 + 0.312X_3, \quad (1)$$

missä

\hat{Y}_1 = puskutraktorin tehoaika — *effective time for bulldozing*, min/10 m²
 X_1 = syvyysindeksi — *depth index* (0...10)
 X_2 = kantoisuus — *amount of stumps* (1...3)
 X_3 = maan kosteus — *moisture content of soil* (2...5)

Yhtälön (1) laadinnassa käytettiin pakollisina tai valinnaisina tehoajanmenekin vaihtelun selittäjinä vain sellaisia maastovaikeutta ilmentäviä muuttujia, joiden arvot ovat selvitetävissä etukäteen. Jos mahdollisena selittäjänä otettiin mukaan myös puskussa paljastuneiden isokokoisten (yli 60 cm) kivien lukumäärä, malli sai seuraavan muodon:

$$\hat{Y}_2 = 0.024 + 1.240X_4 + 0.336X_3 + 0.050X_1, \quad (2)$$

missä

\hat{Y}_2 = puskutraktorin tehoaika — *effective time for bulldozing*, min/10 m²
 X_1 = syvyysindeksi — *depth index* (0...10)
 X_3 = maan kosteus — *moisture content of soil* (2...5)
 X_4 = läpimitaltaan yli 60 cm-kokoisten kivien lukumäärä, kpl/tielinjan pituusmetri — *number of rocks larger than 60 cm in diameter per meter of road*

Kunkin yhtälöön sisältyneen muuttujan merkitsevyys ajanmenekin vaihtelun selittäjänä ja mallin selityssasteen lisääntyminen muuttujien lisäämisen vaikutuksesta oli seuraava:

Malli 1:

	X_1	X_2	X_3
t-arvo	3.86	3.02	2.81
R ² , selityssaste, %	18.2	24.6	28.8

Malli 2:

	X_4	X_3	X_1
t-arvo	5.28	3.25	2.30
R ² , selityssaste, %	30.4	34.5	37.0

Muut kuin yhtälöihin 1 ja 2 sisällytetyt muuttujat eivät olleet $t_{0,05}$ -arvon nojalla merkitseviä tehoajanmenekin vaihtelun selittäjiä, vaikka valinnaisina muuttujina tarjottiin kaikkia aineiston keräyksessä selvitettyjä loogisia tunnuksia. Selityssastetta eivät myöskään lisänneet merkitsevästi eräät keinotekoiset valemuuttujat, jotka oli saatu esim. maalaji ryhmittelemällä.

Kaivureille 159 koepätkän perusteella kehitetty paras lineaarinen regressiomalli sai vastaavasti seuraavan muodon:

$$\hat{Y}_3 = -0.719 + 0.714X_5 + 0.094X_6 + 0.523X_7 - 0.347X_3,$$

missä

\hat{Y}_3 = kaivurin tehoaika — *effective time for excavating*, min/10 m²
 X_3 = maan kosteus — *moisture content of soil* (2...5)

X_5 = kantoisuus, jos luokkaa 3 tai 4 = 1, muutoin = 0 — *amount of stumps = 1 if class 3 or 4, otherwise = 0*
 X_6 = pituuskaltevuus, % — *slope in direction of the work*
 X_7 = pintakivisyys, jos luokkaa 3, 4 tai 5 = 1, muutoin = 0 — *ground roughness = 1 if class 3, 4 or 5, otherwise = 0*

Tällöin eri muuttujien selitysarvo ja mallin selityssaste olivat:

	X_5	X_6	X_7	X_3
t-arvo	2.84	2.73	2.16	-2.00
R ² , selityssaste, %	7.3	11.7	14.2	16.4

Huomataan, että kaivureiden työskentelyn tehoajanmenekin vaihtelusta voitiin selittää alle puolet siitä mitä puskutraktorin tapauksessa. Tämä johdetaan lähinnä perusaineistojen eroavuuksista. Kaivuriaineistohan oli heterogeeninen sisältäen useita työyksiköitä, kun taas puskutraktoriaineisto koski vain yhtä traktoria. Kummatkin parhaat selityssasteet (37.0 % ja 16.4 %) ovat kuitenkin siksi alhaisia, että mallien suora muuntaminen sekundääriseksi maastoluokitukseksi on uskallettua tai tarpeetonta. Saadut tutkimustulokset osoittavat oikeastaan vain maastojen määrätynlaisen homogeenisuuden suhteessa nykyisiin tienrakennuskoneisiin. Suuri osa tienrakennusmaastoista näyttää olevan luokiteltavissa yhteen samanarvoiseen ryhmään, mitä maastoluokitusmielessä on pidettävä etuna. — Tämänkaltaista tulosta saatettiin odottaa jo korrelaatiomatriisia tarkastelemalla. Suurin korrelaatiokerroin tehoajanmenekin ja jonkin ulkoisen työvaikeustekijän välillä oli näet puskumenetelmässä $r = 0.55$ ja kaivurimenetelmässä $r = 0.28$.

33 TIENRAKENNUSTYÖN AJANMENEKIN JA TYÖJÄLJEN RIIPPUVUUS

Työnsuorituksen taso arvosteltiin aineiston keräyksessä luokittelemalla tienpohjan ja ojan pohjan laatu kolmijakoisin luokituksin (liite, s. 307). Näin haluttiin selvittää työjäljen riippuvuus sekä yksikköajanmenekistä että maastotekijöistä.

Tienpohjan laatu — *Quality of the road base*

	1	2	3
Puskutraktori ¹⁾			
Tehoaika, min/a	17.2	15.5	8.1
Kokonaisaika, min/a	22.1	18.6	10.0
Havainnot, kpl	97	35	6
Kaivurit			
Tehoaika, min/a	38.0	28.1	41.3
Kokonaisaika, min/a	38.5	28.1	57.2
Havainnot, kpl	4	1	143

¹⁾ Cf. p. 293

Ojan pohjan laatu — *Quality of the ditch bottom*

Puskutraktori ¹⁾	1	2	3
Tehoaika, min/a	14.4	21.5	..
Kokonaisaika, min/a	17.9	26.3	..
Havainnot, kpl	40	45	—
Kaivurit			
Tehoaika, min/a	42.8	27.2	40.0
Kokonaisaika, min/a	59.4	48.7	53.6
Havainnot, kpl	50	10	97

¹⁾ Cf. p. 293

Edellä olevista luvuista on havaittavissa, että laadultaan huonoa tien pohjaa on syntynyt *puskumenetelmällä* olosuhteissa, missä työ on sujunut hyvin ja ajanmenekki on ollut alhainen. Keskimääräistä heikompaa ojaa sitävastoin on syntynyt puskettaessa ojaa hitaasti, eli runsaasti aikaa käyttäen. Ensimmäisen riippuvuuden selitys on todennäköisesti siinä, ettei tienpohjaa ole tuolloin syystä tai toisesta tehty valmiiksi, vaan se on jätetty keskeneräiseksi. Huonon ojan syntyminen hankalissa työolosuhteissa on sinänsä luonnollinen asia, koska ojaan jää tuolloin pakostakin kiviä ja muita kokkareita.

Edellä esitettyjen lukujen *kaivureiden* työskentelyn tuloksellisuudesta antama informaatio on varsin vähäinen. Puskutraktorin työnjälkeen verrattuna tienpohja jäi yleensä aina epätasaiseksi ja muille työkoneilla myöhemmin tasoitettavaksi. Ojan laatu taas riippuu olennaisesti käytetystä kaivuelimestä, koska ns. muotokauhalla saadaan paremman näköistä ojaa kuin tavanomaisella pistokauhalla.

Tutkittaessa työjäljen laadun riippuvuutta maastotekijöiden arvoista voitiin todeta puskenetelmässä suurin korrelaatiokerroin tienpohjan laatuluokan ja pituuskaltevuuden välillä ($r = 0.23$) sekä kaivurimenetelmässä vastaavasti maan kosteuden ($r = 0.40$) ja kantoisuuden ($r = 0.33$) välillä. Ojan pohjan laatu korreloi puskenetelmässä voimakkaimmin kantoisuuden ($r = 0.52$) ja maan leikkauslujuuden ($r = 0.46$) kanssa. Vastaavasti kaivurimenetelmässä voitiin todeta merkitsevä korrelaatio ($r = 0.75$) pintakivisyyden ja syvyysindeksin ($r = 0.35$) välillä, jotka siten ovat työn laatuun ensisijaisesti vaikuttavia tekijöitä.

4. TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU

41. HAVAINNOINNIN LUOTETTAVUUS

Tutkimuksessa käytetty mittaustekniikka oli pääosaltaan yhdenmukainen projektin tutkimuksissa aikaisemmin käytetyn kanssa, joten tätä tutkimusta

koskevat paljolti edellisissä julkaisuissa mittausten luotettavuudesta esitetyt päätelmät (esim. HAARLAA 1973 a, s. 33—37). Yksilöityjen aikahavaintojen teossa oli tosin nyt käytössä aiempaa luotettavampi kolmen kellon HEUER-menetelmä (vrt. s. 287).

Tutkimusaineiston keräyksen erikoispiirteinä voidaan tässä todeta ne vaikeudet, jotka aikatutkijalla oli työlajien erottamisessa. Esimerkiksi puskenetelmässä tuotti vaikeutta lähinnä raivausvaiheen loppumisen tarkka määrittäminen. Usein raivauksena alkanut pusku oli näet loppuvaiheessa muotoilua ja päinvastoin. Tämänkaltaisen epävarmuus vaikutti tosin vain taulukon 3 (s. 291) lukuihin. Maastovaikeuteen liittyvässä ajanmenekin tarkastelussa sitävastoin kaikkia päätyön osa-aikoja käsiteltiin yhtenä lukuna, johon mainittu epävarmuus ei vaikuttanut.

Tulosten yleistämiskelpoisuuden kannalta kerättyjen havaintojen lukumäärää on pidettävä pienenä. Onhan tutkittuun päämuuttujaan, tehoajanmenekkiin, suoranaisesti vaikuttavia tekijöitä toista kymmentä, ja kukin niistä vaihtelee varsin laajasti käytännön työolosuhteissa. Tällä perusteella tutkimusta on pidettävä esitutkimuksena, jonka viitoittamalla tavalla myöhemmin voidaan kerätä tätä laajempi ja peittävämpi aineisto. Esimerkiksi tämän tutkimuksen aineisto ei kata lainkaan tietekoa pehmeikköjen poikki. Maastoluokitusprojektin tarpeisiin nyt saatu informaatio lienee kuitenkin jo keskeiseltä osaltaan riittävä.

42. VERTAILU AIEMPIIN TUTKIMUKSIIN

Niin kuin kirjallisuuskatsauksessa (s. 285) on todettu, metsätien rakentamisesta on käytettävissä tutkimustuloksia varsin vähän. Tämän tutkimuksen kanssa lähinnä vertailukelpoisia ajanmenekkilukuja on saatavissa vain RUUSKASEN (1967) ja SÄKKISEN (1968) tutkimuslaskelmista, jotka on laskettu Metsähallituksen tietyömailta kerättyjen aineistojen perusteella.

RUUSKASEN (1967) mukaan 101 km:n kevyen metsätien (moottorivarsitien) aineiston nojalla tienpohjan raivauksen, muotoilun ja leikkausten kone-työtuntien tarve puskenetelmässä oli v. 1965 1.32 min ja v. 1966 1.68 min tien pituusmetriä kohden laskettuna. Vastaavasti hän toteaa leimikko-kohtaisten teiden edellyttäneen v. 1965 vain 0.9 min ja v. 1960 0.6 min tietmetriä kohden, joskin vaihtelu mm. tapauksessa on laaja (0.3 ... 4.98). Ajanmenekkien erot johtuvat työtapojen ja mm. raivauslevyden eroista eri tapauksissa.

SÄKKISEN (1968) tutkimustulokset ilmaisevat myös maastotekijöiden vaikutusta tienrakennuksen ajanmenekkiin. Puskenetelmässä, missä aineistoa oli runsaat 5 km, keskimääräinen kokonaisajanmenekki oli 2.4 min/tietmetri, jolloin työ käsitti sekä raivauksen että muotoilun. Tehoajan-

menekki oli tuolloin 1.0 min/tiemetri. Maan kovuus, isojen kivien määrä tai maan kivisyys yleensä eivät häneen mukaansa vaikuttaneet saatuun tulokseen. Kaivumenetelmässä maan laatu sitävastoin vaikutti voimakkaasti. Kivisyys oli ratkaiseva työvaikeustekijä, mutta vetisyys ei haitannut työtä. Sadan metrin koealoille hän sai seuraavat ajanmenekit: kivinen ja kova maa 2.9 min/m, hiekka 1.0 min/m, kivinen moreeni 2.0 min/m ja hieman kivinen moreenimaa 1.0 min/tiemetri.

Tämän tutkimuksen tulokset, jotka on laskettu yksikkönä min/a, vastaavat puskumenetelmässä 18.1 tiemetriä ja kaivurimenetelmässä 16.7 tiemetriä. Tehoajanmenekki oli siten purkumenetelmässä keskimäärin 0.9 min/m ja kaivurimenetelmässä 2.4 min/m sekä kokonaisajanmenekit vastaavasti 1.1 min/m ja 3.3 min/m. Kun näitä lukuja verraten RUUSKASEN ja SÄKKISEN esittämiin arvoihin, voidaan todeta kiistaton yhdenmukaisuus nimenomaan keskiarvolukujen osalta. Koepätkien ajanmenekkiluvuissa on ymmärrettävästi hajontaa kaikissa tarkastelluissa aineistoissa, mutta nimenomaan SÄKKISEN eri työvaikeustekijöiden merkityksestä ajanmenekin säätelijänä tekemät johtopäätökset osuvat yksiin tämän tutkimuksen lukujen antaman informaation kanssa.

43. MAASTOLUOKITUKSEEN LIITTYVÄT NÄKÖKOHDAT

Maaperällisistä maastotekijöistä *humuksen paksuudella* ei ole tienrakennustyön tekniseen toteuttamiseen puskumenetelmällä merkittävää vaikutusta, jos humusta on niin merkitykseltömästi, että tie voidaan rakentaa suoraan humuskerroksen alla olevan kovan pohjan varaan. Jos taas elope- räistä maata on pinnassa ohuelti (20 ... 30 cm), kerros pusketaan aluksi sivuun ennen tienpohjan muotoilun aloittamista. Tämä lisää ajanmenekkiä, niin kuin asetelmassa sivulla 293 on havaittavissa — tosin vain kolmen havainnon perusteella. Paksun humuskerroksen tapauksessa pehmeä suojuotti joudutaan joko täyttämään tai tienpohja rakennetaan näretelan päälle, jolloin työnmenekki ja sen johdosta rakentamiskustannukset nousevat jyrkästi. Näistä syistä humuksen paksuuden selvittäminen maaston luokituksessa on sinänsä perusteltua.

Tienrakennustuotos vaihtelee *maalajeittain* suuresti (s. 293). Kuitenkin maalajin vaihtelua indikoivat hyvin eräät toiset tunnuksot, kuten maan kosteus ja syvyysindeksi, jotka puolestaan selittivät ajanmenekkiä maalajia paremmin. Niinpä maalajimuuttuja ei sisältynyt yhteenkään kehitetyistä ennusteyhtälöistä. Tämän mukaan maalaji ei ole välttämätön tunnus maastoluokituksessa, jos muut sen kanssa voimakkaasti korreloivat tunnuksot sisältyvät luokitukseen. — Päälysrakennetta valittaessa maalaji on toisaalta aina tunnettava.

Maan kosteuden vaikutus tienrakennukseen oli erilainen pusku- ja kaivurimenetelmässä. Puskutraktorin liikkumista haittaava maan runsas kosteus alensi tuotosta. Sen sijaan kaivurin toimintaedellytykset paranivat maan kosteuden lisääntyessä, sillä kostea maa on helpommin kaivettavaa kuin kuiva. Maan kosteus oli kaikissa kolmessa tienrakennustyön ajanmenekin ennustemallissa merkitsevä selittäjä, joten sen tulisi tien rakennuksen kannalta sisältyä maastoluokitukseen.

Maan sisäisten kivien määrän selvittämiseksi tässä tutkimuksessa kokeiltiin mm. Ruotsin valtakunnan metsien inventoinnissa käytettävää *syvyysindeksiä*. Tutkimushypoteesina oli väittämä, jonka mukaan rassi painuu sitä useammin vaaditut 30 cm mitä vähemmän maanpinnan alla on kiviä ja muita jäykistäviä aineksia. Jatkohypoteesin mukaan ajanmenekki kasvaa sitä suuremmaksi, mitä harvemmin rassi painuu maahan eli mitä suurempi on indeksin arvo. Kerätyn aineiston nojalla molemmat hypoteesit jäivät voimaan, sillä indeksiarvo korreloi kummassakin työmenetelmässä positiivisesti tienteossa paljastuneiden kivien lukumäärän kanssa ($r = 0.344$ ja $r = 0.571$). Samoin ajanmenekki lisääntyi indeksin kasvaessa ($r = 0.427$ ja $r = 0.143$). Regressioanalyysin perusteella syvyysindeksin voidaan todeta ilmaisevan erityisesti maaperän puskuvaikeutta. Sen sijaan kaivuvaikeutta kuvaavat syvyysindeksiä paremmin muut maastotunnukset, kuten esim. maan kosteus ja kantoisuus.

Aikaisempien tutkimusten mukaisesti selvitettiin maan *leikkauslujuutta* indikoivan kartioindeksin vaikutus ajanmenekkiin. Saatujen tulosten mukaan ajanmenekin ja kartioindeksin riippuvuus ei ole suoraviivainen koko indeksin vaihteluvälillä. Ajanmenekki on yleensä pienillä indeksiarvoilla suurempi kuin trendi edellyttäisi, koska alhaisten indeksiarvojen tapauksessa maa on usein humuksen peittämä ja kostea, mitkä hankaloittavat erityisesti puskutyötä. Tuolloin mainitut tekijät lisäävät ajanmenekkiä suhteettoman runsaasti. Vastaavasti maksimaalisten indeksiarvojen tapauksessa tien-teko voi olla erityisen helppoa, koska maanpinta on sellaisenaan kantavaa ja soveliaista tienpohjaksi. Näistä syistä kartioindeksi ilmaisee tientekovaikeutta parhaiten puskumenetelmässä vain indeksiasteikon ylläpään arvojen (150 ... 300) tapauksissa ja kaivurimenetelmässä ainoastaan asteikon alaosalla (50 ... 250). Mainitut rajoitukset alentavatkin leikkauslujuuden käyttökelpoisuutta maastoluokitusluokituksena.

Maanpinnan epätasaisuutta indikoivat *pintakivisyys ja kantoisuusluokitukset* osoittautuivat varsin keskinkertaisiksi työvaikeuden ilmaisijoiksi. Kantoisuus oli sekä pusku- että kaivurimenetelmässä järjestyksessä toinen muuttuja, joka oli liitettävä regressioyhtälöön. Pintakivisyysluokista ryhmittämällä saatu valemuuttuja kuului vain kaivureiden ajanmenekin ennusteyhtälöön. Keskeisin syy tähän on, ettei ajanmenekki lisäännä loogisesti maanpinnan vaikeuden kasvaessa, vaan sekä pintakivisyyden että

kantoisuuden vaikutus hukkuu suurelta osalta muiden samanaikaisesti vaikuttavien tekijöiden aiheuttamaan vaihteluun. Ilmeistä on myös, ettei maanpintatekijöiden vaikeutuminen lopulta huononna kovin ratkaisevasti työjälkeäkään, eikä siten lisää myöhempien työvaiheiden ajanmenekkiä tai massojen tarvetta, vaikka esim. ojan laatu laskee pintakivisyyden lisääntyessä (vrt. s. 300). Vain maanpintatekijöiden vaikeutuminen luokasta 2 luokkaan 3 aiheutti poikkeuksetta ajanmenekin lisääntymisen. Maastoluokituksen perustavoitteiden kannalta kumpikaan luokitus ei siten täytä luokitustunnukselle tässä tapauksessa asetettuja vaatimuksia, eli eivät ole luotettavia yksinkertaisen säännönmukaisuuden ilmaisijoita.

Tienrakennuksen teknisen toteuttamisen vaatimaan ajanmenekkiin tien *pituus-* tai *sivukaltevuudella* ei myöskään ollut merkitsevää vaikutusta. — Aineisto ei tosin ollut tässä suhteessa erityisen edustava, koska pääosa havainnoista sattui melko tasaisille paikoille. Tielinjan suunnittelussahan pyritään välttämään etenkin jyrkkiä nousuja ja tässä onnistutaankin varsin usein. — Kaltevuustunnukset ovat siten tienrakennustöiden suorittamisen kannalta toisarvoisia maastoluokituksessa, mutta tieverkon suunnittelussa ne on ehdottomasti otettava huomioon.

Kaikkiaan ovat siis maaperälliset maastotunnukset tienrakennuksessa maastoluokituksen kannalta maanpinta- ja kaltevuustekijöitä tärkeämpiä. Tiensuunnittelussa tosin kaltevuustunnuksen merkitys voi tosin olla ns. ehdottomasti tielinjaa suuntaavana tekijänä vieläkin painavampi, niin kuin on paksu ja vetinen turvekerroskin. Tienrakennustyön kannalta maan kosteus oli keskeisin ja ajanmenekkiin vaikuttava tekijä. Puskumenetelmässä maan sisäisten kivien määrää indikoiva syvyysindeksi ja kaivurimenetelmässä kantoisuus olivat tosin maastotunnuksia, jotka yhdessä säätelivät eniten työn edistymistä. Myös maalajin vaihdella ajanmenekki muuttui merkitsevästi, mutta maalaji korreloi siinä määrin toisten maaperätunnusten kanssa, ettei sitä tarvitse ottaa erillisenä tuotostekijänä huomioon.

5. TIIVISTELMÄ

Yhteisohjoisomaiseen MAASTO-KONE-tutkimusprojektiin kuuluvana osangelmana tutkittiin kesällä 1973 tienrakennustyön maastoluokitukselle asettamia vaatimuksia 10 metsätietyömaalla, joilla käytettiin joko ns. puskun- tai kaivurimenetelmää. Aikatutkimuksena selvitettiin maaperä-, maanpinta- ja kaltevuustekijöiden vaikutusta tiealueen raivaukseen, tienpohjan muotoiluun ja sen viimeistelyyn. Työkoneiden päivittäisestä ajankäytöstä tehtiin havainnot ns. tärinäkelomenetelmällä ja yksityiskohtaiset ajanmittaukset HEUER-aikatutkimuslaitteella.

Tutkimusaineiston laajuus ja laatu ilmenevät taulukosta 1 (s. 288). Kukin havainto koski maastoltaan yhdenmukaista tien patkää. Patkien

pituus oli puskumenetelmässä keskimäärin 35 m ja kaivurimenetelmässä 12 m. Tien leveys oli vastaavasti 5.5 m ja 6.0 m.

Tutkimustuloksina todettiin tienrakennuskoneiden olleen käytössä noin 45 % kokonaisajasta. Noin kaksikolmasosa työmaa-ajasta oli päätyötä (puskua tai kaivua) ja kolmannes huolto-, korjaus- ja muuta keskeytysaikaa jakaantuen tasan mainittujen osa-aikojen kesken. Puskun pääajasta käytettiin kolmannes raivaukseen ja loput tienpohjan muotoiluun ja viimeistelyyn. Kaivureiden työskentelyssä tienpohjan muotoilu jätettiin usein puolitiehen, joten päätyöajan rakenne vaihteli sen mukaan (taulukko 3, s. 291).

Maastotekijöinä aineiston keräyksessä otettiin huomioon humuksen paksuus, maalaji, maan kosteus, maan sisäisten kivien määrää indikoiva syvyysindeksi, maan leikkauslujuus (kartioindeksi), pintakivisyys, kantoisuus, tielinjan pituus- ja sivukaltevuus (liite). Näiden vaihtelun mukaiset keskimääräiset teho- ja kokonaisajanmenekkiarvot on esitetty sivuilla 293 . . . 297 käyttäen yksikkönä min/a, jotta tien leveyden vaikutus eliminoiduu. — Sekä tienpohjan että ojan pohjan laadun ja ajanmenekkien väliset riippuvuudet on esitetty sivulla 299 . . . 300. — Kaikkien maastotekijöiden yhteisvaikutusta tehoajanmenekkiin indikoivat regressiomallit kehitettiin erikseen puskun- (yhtälöt 1 ja 2) ja kaivurimenetelmälle (yhtälö 3). Tienpohjan rakentamisen tehoajanmenekin vaihtelusta voitiin selittää kuitenkin puskumenetelmässä vain korkeintaan 37 % ja kaivurimenetelmässä 16.4 %.

Keskeisimmät tienrakennustyöhön vaikuttavat ja siten myös tässä tapauksessa maastoluokituksen kannalta tärkeimmät maastotekijät ovat maan sisäisten kivien määrä (syvyysindeksi), maan kosteus ja kantoisuus. Kaivurityössä myös pituuskaltevuus-% ja pintakivisyysluokasta muodostettu valemuuttuja olivat merkitseviä tehoajan vaihtelun selittäjiä. Maalaji sen sijaan osoittautui tällä perusteella toisten tunnusten kanssa voimakkaasti korreloivana muuttujana tarpeettomaksi maastoluokituksen tekijäksi.

KIRJALLISUUS

- AITOLAHTI, M. 1968. Metsäojien kaivurityön kaivu vaikeusluokituksista. Summary: On classification of digging difficulty in forest ditching with light excavators. Suo 6.
- » — & NUMMINEN, E. 1968. Metsäojakaivureiden työteho ja ehdotus kaivu vaikeusluokituksiksi. Summary: On the efficiency of light excavators in forest ditching and a proposal for the classification of digging difficulty. Commun. Inst. For. Fenn. 67.
- Anon. 1972. Metsäteiden rakentamista koskevat normit ja ohjeet. Metsähallitus. Vahvistettu Metsähallituksen istunnossa 4. 2. 1972.
- ARNKIL, J.-E. 1970. Puutavaran kuljetusta ja työmaiden huoltoa palvelevat tiet. Teiden tarve, rakenne sekä hoito ja hoitokalusto. Metsänkäyttöoppi 1. Kirjayhtymä, Helsinki.
- ASSERSTÄHL, R. 1973. Terrängtransport med skotare. Analys av terrängfaktorers inverkan på hastigheten. Redog. ForsknStift. Skogsarb. 2.

- BOHM, H., BYLANDER, G., LARSSON, G. & VIBORG, L. 1965. Vägstandardens inverkan på tunga fordons hastighet. Tekn. ForsknStift. Skogsarb. 13.
- BYRNE, J. J., NELSON, R. J. & GOOGINS, P. H. 1960. Logging road handbook. The effect of road design on hauling costs. U.S.D.A. Agr. Handbook No. 183. Washington D.C.
- GANDAHL, R. & NYKVIST, N. 1971. Bark som vägbyggnadsmaterial. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1.
- HAARLAA, R. 1973 a. Maastotekijöiden vaikutuksesta metsämaan laikutukseen. Summary: On the effect of terrain to scarifying of forest soils. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 23.
- » — 1973 b. The effect of terrain on the output in forest transportation of timber. Seloste: Maaston vaikutus puutavaran metsäkuljetustuotokseen. Acta For. Fenn. 128.
- » — & ASSERSTÄHL, R. 1972. The Inter-Nordic Forest Terrain Classification Project in 1969—1972. Seloste: Yhteispohjoismainen metsämaaston luokitusprojekti 1969—1972. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 20.
- HUDSON, D. W. 1967. Salt as stabilizing agent for woods truck roads. Pulp Paper Mag. Can. 7.
- KOSKENMAA, E. J. 1951. Koneiden käyttö tie- ja uittoväylärakennuksilla. Silva Fenn. 69.
- LEHTOLA, K. F. 1934. Tietyöt. Helsinki.
- LINDSTRÖM, I. & NILSSON, A. 1971. Anpassa skogsvägen till bilens utrymmesbehov. Skogen 5.
- PUTKISTO, K. 1951. Moottoritalviteistä ja niiden rakentamisesta. Metsäteho Tied. 52.
- » — 1952. Moottoritalviteiden rakennus ja hoito. Metsäteho oppaita. Helsinki.
- » — 1953 a. Hevospolannetie. Metsäteho Tied. 89.
- » — 1953 b. Metsäautotie vaiko moottoritalvitie? Metsäteho Tied. 83.
- » — 1958. Metsäteiden leveys ja tiheys puun tuotannon kannalta. Metsäteho Tied. 151.
- » — 1965. Puun korjuumenetelmien ja tieverkon väliset suhteet. Metsät. Aikak. 12.
- RUUSKANEN, K. 1967. Kesäajokelpoinen moottorivarsitie. Osaselvitys, vuosi 1966. Metsähallituksen hankintateknillinen toimisto. Tutkimuslaskelma 81.
- SALMINEN, J. 1970. Metsätaloudessa käytettävät maansiirtokoneet. Metsänkäyttöoppi 1. Kirjayhtymä. Helsinki.
- SILVÄN, L. 1947. Metsäautoteiden rakentaminen. Silva Fenn. 64.
- » — 1968. Rakennamme moottorivarsiteitä. Työtehoseuran metsätiedotus 129.
- » — & TAIVAINEN, O. A. 1952. Metsämiehen tieoppi. Helsinki.
- SUNDBERG, U. & TURÉN, A. 1971. Kostnadsfördelning för samfällda skogsbilvägar enl. TL-metoden jämte ADB-rutin. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. 47.
- SÄKKINEN, V. 1968. B-tutkimus kesäajokelpoisesta moottorivarsitiestä. Osaselvitys vuodelta 1966. Metsähallituksen hankintateknillinen toimisto. Tutkimuslaskelma 87.
- WAHLGREN, O. 1963—4. Tiesuunnitelma ja sen toteuttaminen. Maansiirto 7—12/1963, 1/1964.
- WECKSTÉN, P.-E. 1966. Kaivukone metsäautotien teossa. Työtehoseuran metsätiedotus 104.
- VIRTANEN, J. 1972. Toimintaverkkomenetelmä metsätiehankkeiden suunnittelussa. Summary: Network analysis for planning of forest roads. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 18.
- VUORIO, M. U. 1972. Maaston vaikutuksesta tien geometriaan Suomessa. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Tieteellisiä julkaisuja 50.
- VUORISTO, I. & HALLENBERG, H. 1937. Talviajotiet. Niiden rakentaminen ja hoito. Porvoo—Helsinki.

Maasto- ym. tunnusten mittaus aineiston keruussa

HUMUKSEN PAKSUUS: mitataan cm:n tarkkuudella

SYVYYYSINDEKSI: mitataan moniko kymmenestä rassin painamisesta uppoaa vähemmän kuin 30 cm

MAAN KOSTEUS: Arvioidaan mm. opaskasvien perusteella. Kooditetaan:

- 1 = hyvin kuiva maa: mm. kukkuloiden laet, harjut, pohjavesi syvällä; jäkälää
- 2 = kuiva maa: mm. rinteiden yläosat, väh. 2 m avoveden yläpuolella; puolukkaa
- 3 = tuore maa: mm. rinteiden alaosat, pohjavesi 1...2 m syvyydessä; mustikkaa
- 4 = tuoreen kostea maa: mm. tasaiset maat; pohjavesi alle 1...1,5 m syvyydessä; karhun-sammalta
- 5 = hieman veden vaivaama maa: mm. paikoin soistunut, ajoittain vettä näkyvissä; ruohoja ja heiniä
- 6 = runsaasti veden vaivaama maa: mm. usein veden vallassa; suosammalia, niittyvillaa

PINTAKIVISYYS: kooditetaan:

- 1 = kivetön maanpinta
- 2 = hyvin tasainen maanpinta, jossa matalia (10...30 cm) kiviä on melkoisesti (väli 1,6...5,0 m). Yksittäisiä, korkeudeltaan kohtalaisia 30...50 cm kiviä saa olla, jos matalia kiviä on harvassa (5,1...16,0 m).
- 3 = väliluokka, jossa yksinomaan matalia kiviä saa esiintyä runsaasti (alle 1,6 m). Kohtalaisia kiviä saa olla harvassa, jos matalia kiviä on melkoisesti. Suuria kiviä (yli 50 cm) saa olla vain yksittäin.
- 4 = jonkin verran epätasainen maanpinta, jossa matalia kiviä saa olla runsaasti. Kohtalaisia kiviä saa olla melkoisesti ja suuria harvassa.
- 5 = väliluokka, jossa matalia ja kohtalaisia kiviä saa olla runsaasti sekä suuria kiviä melkoisesti.
- 6 = erittäin epätasainen maanpinta, joka on vaikeampi kuin luokka 5. Louhikkoa.

KANTOISUUS: otetaan huomioon lahoamattomat, halkaisijaltaan 10 cm:ä suuremmat kannot ja luokitellaan ne välimatkan ja korkeuden mukaan. Kooditetaan:

1. kannoton maanpinta
- 2—6. kuten pintakivisyys

PITUUSKALTEVUUS: mitataan %:ssa kaltevuusmittarilla

SIVUKALTEVUUS: mitataan %:ssa kaltevuusmittarilla

MAALAJI: joka käsittää yli 50 % työtetyn maan poikkileikkauksesta, kooditetaan:

- 1 = turve
- 2 = savi
- 3 = siltti
- 4 = hiekka
- 5 = sora
- 6 = silttimoreeni
- 7 = hiekkamoreeni
- 8 = soramoreeni
- 9 = kivikko

LEIKKAUSLUJUUS: mitataan kartiopenetrometrillä, kartioindeksi/4''

KIVISYYS: työlinjalta poissiirrettyjen, kierrettyjen tai räjäytettyjen, läpimitaltaan yli 60 cm kiven lukumäärä, kpl.

AJORADAN OIKEAN REUNAN KORKEUS: mitataan maanpinnasta dm:ssä (+, -)

TIENPOHJAN SUURIN LEVEYS: mitataan dm:ssä

TIENPOHJAN PIENIN LEVEYS: mitataan dm:ssä

TIEN POIKKILEIKKAUSPINTA-ALA: lasketaan tiehankkeen asiakirjoista jälkikäteen
 OJAN PINTALEVEYS: mitataan dm:ssä
 OJAN POHJALEVEYS- mitataan dm:ssä
 OJAN SYVYYS: mitataan dm:ssä
 RÄJÄYTYSKOHTEIDEN LUKUMÄÄRÄ
 RÄJÄYTYSKOHTEIDEN REIKIEN LUKUMÄÄRÄ
 RÄJÄYTYSKOHTEIDEN REIKIEN YHTEENLASKETTU PITUUS: mitataan dm:ssä
 TIENPOHJAN LAATU: kooditetaan
 1 = *erittäin tasainen*: (> 20 cm) kiviä ei näkyvässä, tienpohja kupera
 2 = *melko tasainen*: pieniä kuoppia ja kiviä sallitaan, tienpohja kupera tai tasainen
 3 = *epätasainen*: tienpinnassa suuria (> 20 cm) kuoppia ja kiviä, tienpohja kovera.
 OJAN POHJAN LAATU: kooditetaan
 1. pohja sileä, eikä sinne tippunut kokkareita
 2. hieman kokkareita ojan pohjalla
 3. pohja epätasainen, jossa runsaasti veden juoksua estäviä kokkareita ja kohoumia

SUMMARY:

ON THE EFFECT OF TERRAIN ON FOREST ROAD CONSTRUCTION

As a subproblem in the joint Nordic Terrain-Machine Project, the requirements set by forest road construction on the terrain classification were studied during the summer 1973 in ten operations, in which either a bulldozer or an excavator method was used. The effects of ground, ground roughness and slope factors on the clearing of the road area, on the design of the road base and the levelling of it were defined by making time-studies. The structure of the total time consumption of the machines was tallied using automatic recorders and the detailed time measurements were done with a HEUER time-study device.

The amount and quality of data has been presented in table 1 (p. 288). Each observation dealt with an uniform piece of the road line, the lengths of which were on average in the bulldozer method 35 m and in the excavator method 12 m. The width of the road was correspondingly 5.5 m and 6.0 m.

The results of the study showed that the machines were in use for some 46% of the total time. Some two thirds of the working area time was taken up by the main work (bulldozing and digging) and the share of service, repair and other delay times in the last third was about even. Of the time taken up by bulldozing, a third was used for clearing the road area and the rest for design and levelling. In the excavator work the desing of the road was not always entirely finished, so the structure of the main work time varied largely according to which state the road was in that was built by the excavator in question (table 3, p. 291).

In gathering the data the thickness of the humus layer, the soil type, the moisture content of the soil, and an index indicating the stoniness of the soil (depth index), soil strength (cone index), the ground roughness, the amount of stumps, the slope of the road line and the side-slope were tallied as terrain factors. The average effective and total time consumption according to the terrain factor values have been presented on pages 293 to 297 using the unit min/a, so that the effect of the road width was eliminated. — The correlations between the time consumption and the quality of the road base and the bottom of the ditches after finishing the work have been presented on p. 299 to 300. — Regression models indicating the joint effect of all terrain factors were developed separately for the bulldozer (eq. 1 and 2) and the excavators (eq. 3). However it was possible to explain only 37 % of the variation in the effective road construction time in the bulldozer method and 16,4 % in the excavator method.

The most important terrain factors affecting the road construction time, and thus also the most necessary factors to be included in the terrain classification in this respect, were the stoniness of the soil (the depth index), the moisture content of the soil and the amount of stumps. The slope-% and a dummy variable formed from the ground roughness classes were also significant variables explaining the variation in the effective digging time in the excavator method. On the other hand the soil type proved to be an insignificant constituent in the terrain classification because of high intercorrelations with the other terrain factors.