

SILVA FENNICA

Vol. 9 1975 N:o 3

Sisällys	SIMO HANNELIUS: Ojitusalueiden kulkukelpoisuudesta puunkorjuussa	181
Contents	<i>Summary: On the trafficability of drained peatlands in harvesting</i>	211
	MATTI KÄRKKÄINEN: Koivu- ja haapatukkien poikkipinta-alan mittaaminen	212
	<i>Summary: Measurement of the cross-sectional area of birch and aspen logs</i>	232
	OLLI MAKKONEN: Puiden lyhytkiertoviljelyn varhishistoriaa	233
	<i>Summary: Early history of short-rotation forestry</i>	240
	TEKLÉ KAPUSTINSKAITÉ: Puuston kasvu ja tuhkapitoisuus ojitetuilla soilla.	241
	<i>Summary: Ash content of peatland soils and stand growth in connection with draining</i>	249

Silva Fennica

A QUARTERLY JOURNAL FOR FOREST SCIENCE

PUBLISHER:

THE SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

OFFICE:

Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland

EDITOR:

MATTI KÄRKKÄINEN

EDITORIAL BOARD:

EERO PAAVILAINEN (Chairman), AULIS E. HAKKARAINEN (Vice Chairman), SEPPÖ KELLOMÄKI, MATTI LEIKOLA, MATTI NUORTEVA, YRJÖ VUOKILA, and KUSTAA SEPPÄLÄ (Secretary).

Silva Fennica is published quarterly. It is a sequel to the Series, vols. 1 (1926)—120(1966). Its annual subscription price is 20 Finnish marks. The Society of Forestry in Finland also publishes *Acta Forestalia Fennica*. This series appears at irregular intervals since the year 1913 (vol. 1).

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions and exchange inquiries can be addressed to the office.

Silva Fennica

NELJÄNNEKVUOSITTAIN ILMESTYVÄ METSÄTIETEELLINEN
AIKAKAUSKIRJA

JULKAISIJA:

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

TOIMISTO:

Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17

TOIMITTAJA:

MATTI KÄRKKÄINEN

TOIMITUSKUNTA:

EERO PAAVILAINEN (puheenjohtaja), AULIS E. HAKKARAINEN (varapuheenjohtaja), SEPPÖ KELLOMÄKI, MATTI LEIKOLA, MATTI NUORTEVA, YRJÖ VUOKILA, ja KUSTAA SEPPÄLÄ (sihteeri).

Silva Fennica, joka vuosina 1926—66 ilmestyi sarjajulkaisuna (niteet 1—120), on vuoden 1967 alusta lähtien neljännesvuosittain ilmestyyvä aikakauskirja. Suomen Metsätieteellinen Seura julkaisee myös *Acta Forestalia Fennica*-sarjaa vuodesta 1913 (nide 1) lähtien.

Tilauksia ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistolle. *Silva Fennican* tilaushinta on 20 mk.

OJITUSALUEIDEN KULKUKELPOISUUDESTA PUUNKORJUUSSA

SIMO HANNELIUS

SUMMARY:

ON THE TRAFFICABILITY OF DRAINED PEATLANDS IN HARVESTING

Saapunut toimitukselle 10. 4. 1975

Tutkimuksessa tarkastellaan kirjallisuuteen ja eräisiin kenttähavaintoihin perustuen puunkorjuun olosuhteita ojitetuilla soilla. Ojitus toiminnan tuloksena ensimmäiset harvennushakkuut alkavat olla ajankohtaisia Suomessa. Koneellistamisen kehityssuunta viittaa siihen, että yhä järetyvä korjuukalusto ei soveltune ainakaan lämpimänä vuodenaikana huonosti kantaville ojitusalueille. Puunkorjuun suunnittelija ei myöskään voi luottaa Etelä-Suomessa siihen, että routa parantaa pintaturpeen kantavuutta riittävästi.

1. JOHDANTO

Luonnon tilaisten ja ojitetujen soiden kulkukelpoisuuteen on viitattu useissa tutkimuksissa. Näissä on yleensä todettu, että suon kulkukelpoisuus pienee ojituksen vaikutuksesta (esim. LUKKALA 1940, s. 178, NISKANEN 1949, s. 26). Roudan ja lumipeitteen aiheuttamaa kantavuuden lisääntymistä soilla ovat käsitelleet useat tutkijat (esim. VUORISTO ja HALLENBERG 1937, HAKKARAINEN 1948 ja 1949, PUOSKARI 1949, NUMMINEN 1963, STOECKELER 1965). Koska suot ovat useinkin esteenä kesäaikaiselle liikennöinnille, talviteiden rakentamistekniikan kehittymisellä on ollut suuri merkitys suoalueiden puunkorjuuseen. Talviteiden rakentamistekniikkaa ovat käsitelleet mm. HAKKARAINEN (1949) ja PUTKISTO (1950). Talviteiden käyttö on kuitenkin vähentynyt puunkorjuumenetelmien ja -koneiden kehittymisen, metsäautotieverkon laajentumisen ja ympärivuotisen puunkorjuun vuoksi.

Suoalueiden puunkorjuu ei kuitenkaan ole sujunut vaikeuksista, vaikka heikosti kantavien kulkualustojen käyttö onkin ajoitettu talvikauteen. Talvikausien kokemuksia etenkin 1970-luvun alun työmailta on kommentoitu mm. seuraavasti: »Ongelmat tällä työmaalla olivat muodostuneet jatkukuljetuksen osuudelle ojitetun suon pysyessä sulana. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen metsätraktorikuljetus piti ulottaa metsärunkotien varteen saakka, koska talviautotien rakentaminen sulalle suolle oli mahdottomuus» (Menneen . . . , s. 12, 1974). »Nyt haikaillaan puolitelaisia kevyehköjä maataloustraktoreita metsäajoon, mutta ne ovatkin jossain välissä vähentyneet Koillis-Suomen tiloilta niin, että ainakaan metsäajoon niitä ei ole ilmaantunut riittävästi. Korjuu ja kuljetus on trimmattu niin pitkälle, että ne kärsivät herkästi tällaisesta poikkeuksellisesta talvesta. Lähikuljetuksessa ongelma on vaikeampi kuin kaukokuljetuksessa, koska pohjat jäivät surkeiksi» (Puut . . . 1975).

Ojitettu suo, etenkin jos sillä kasvaa korjuukelpoista puustoa, poikkeaa oleellisilta osin kulkualustana luonnontilaisesta suosta. Ojituksen vaikutuksesta suon pohjavesi laskee ja turvekerros tiivistyy. Puiden juuriston määrä lisääntyy turvekerroksessa, mikä omalta osaltaan kiinteyttää turvekerrosta. Turvekerroksen tiivistyminen merkitsee yleensä myös pintaesteiden lisääntymistä, sillä mättäät ja painanteet tulevat korostuneina esiin suonpinnan laskiessa. Pohjavesipinnan putoaminen vaikuttaa niin ikään ojitetun suon lämpöoloihin ja routaantumiseen. Kantavuus ei näin ollen myöskään lisääntyne suon routaantumisen vuoksi luonnontilaisella ja ojitetulla suolla samalla tavalla.

Ojitettujen soiden kulkukelpoisuutta on tutkittu toistaiseksi varsin vähän. Tämän kirjallisuuteen ja eräisiin mittauksiin perustuvan tutkimuksen tarkoituksena on valaista ojitusalueiden kulkukelpoisuutta puunkorjuussa ja etenkin siihen kuuluvassa lähikuljetuksessa. Havainnot mitattiin talvella 1973—1974. Luonnontilaiselta avonevalta ja rämeeltä sekä ojitetulta rämeeltä mitattiin roudan syvyyttä, lumen syvyyttä, pohjavesipinnan syvyyttä ja roustaantuneen turvekerroksen läpäisevyyttä. Aiheen käsittely keskittyy paljolti roudan tarkasteluun turvemaidella ja sen turvemaan kantavuutta parantavan vaikutuksen analysointiin.

Kenttämittauksista ovat pääasiassa vastanneet MH Jukka Laine, Timo Tikka ja Kirsti Voimala tutkijaryhmä Heikuraisen koaloilla. Kenttämittausten tulosten käsittelyyn on osallistunut fil. yo. Liisa Iisalo. Käsikirjoituksen ovat lukuineet prof. Leo Heikurainen, prof. Kalle Putkisto, MMT Matti Kärkkäinen, MMT Juhani Päivänen ja MH Jukka Laine, jotka ovat tehneet monia varteenotettuja parannusehdotuksia. Englanninkieliset tekstit on kääntänyt MH Karl-Johan Ahlsved. Esitän kaikille edellä mainituille parhaat kiitokseni.

2. LIIKENNÖIMISTARVE LISÄÄNTYY OJITUSALUEILLA

Metsätraktoreiden yleistyminen ja kuormien koon kasvu johtivat 1960-luvulla etenkin Etelä-Suomessa perinteisestä talvitietekniikasta luopumiseen. Perinteisellä talvitietekniikalla tarkoitetaan lumiperustaisten teiden rakentamista siten, että tielinja vedetään kaltevuuksien välttämiseksi pääasiassa soille ja järvien jäille (esim. VUORISTO ja HALLENBERG 1937, s. 12). Nykyisessä talvitietekniikassa tiet pyritään sijoittamaan koville maille, koska tällöin ei ole riskiä kulkualustan huonosta kantavuudesta. Kovien maiden käyttöön kulkualustana on vaikuttanut myös metsätraktoreiden kyky kuljettaa puuta vastamäkeen. Kuormaa kantava nykyaikainen metsätraktori selviää 25 . . . 30 %:n noususta vielä lähes täydellä kuormalla (RANTAPUU 1970, s. 1). Esim. Tehdaspuu Oy:n talviteistä oli perustettu talvikautena 1973—1974 koville maille 97 % teiden yhteenlasketusta pituudesta. Kaikkiaan talviteitä oli käytössä mainittuna ajanjaksona n. 1 650 km (HYPPÖNEN 1975).

Toistaiseksi ojitusalueilta on hakattu vain vähän puuta. Laajan ojitus- ja lannoitustoiminnan vuoksi hakkuut lisääntyvät kuitenkin tuntuvasti jo ennen vuotta 2 000. Ojituksella saatava hakkuusuunnitteen lisäys on esim. MERA III -ohjelman mukaan vuonna 1980 n. 2 milj. m³ ja vuonna 2 000 n. 5,8 milj. m³ (ERVASTI ym. 1969, s. 117). Pitkällä aikajänteellä saadaan MERA III -ohjelman mukaan ojituksen ja lannoituksen tuloksena yhteensä 13,1 milj. m³ vuotuinen kasvunlisäys turvemaidella (KUUSELA 1974, s. 57).

Kokonaispoistuma on kuitenkin kasvunlisäystä suurempi, koska soilla luontaisesti olevaa puustoa ei teknisten vaikeuksien eikä taloudellisten syiden vuoksi yleensä korjata ojituksen yhteydessä (vrt. KELTIKANGAS ja SEPPÄLÄ 1973). Ojitusalueen puunkorjuun tullessa ajankohtaiseksi korjataan näin ollen myös ennen ojitusta kasvanutta puuta. HEIKURAINEN (1961 a, s. 32) on arvioinut puuston poistuman olevan soilla ennen ojitusta n. 5 milj. m³/v koko maassa. Mainittu puumäärä tultaneenkin korjaamaan pääosin vasta sitten, kun ojituksen antamaa puusatoa korjataan.

3. PUUNKORJUUKALUSTON SOVELTUVUUS OJITUSALUEILLA

Puunkorjuukalusto — metsätraktorit ja monitoimikoneet — on kehittynyt viime vuosina erityisen nopeasti. Metsätraktoreiden tyyppivalikoima vakiintui 1960-luvulla. Monitoimikoneiden kehittämistyössä näytetään löydettävän teknisesti parhaat ja taloudellisesti edullisimmat ratkaisut kuluvalle vuosikymmenellä.

Laaditut ennusteet osoittavat kiistatta koneellistamissuunnan. Niinkään oleellista ei ole se, mikä on kunkin työmenetelmän ja siihen oleellisesti kuuluvan konetyypin tarkka prosentuaalinen osuus korjuumäärästä, vaan se, että käytettävissä oleva kalusto vakioituu ja kehittyy yhä järeämpään suuntaan. Seuraavassa tarkastellaankin eräiden nykyisin käytössä olevien puunkorjuukoneiden kokonaispainoja ja pintapaineita. Nämä on esitetty taulukossa 1. (s. 184)

Taulukko 1. Eräiden kuormatraktoreiden ja monitoimikoneiden pintapaineet (kPa)¹⁾ ja kokonaispainot
 Table 1. Surface pressure and total weight of some forwarders, processors and harvesters (kPa)¹⁾

Konetyyppi Type of machine	Pintapaine, kPa — Surface pressure, kPa						Kokonaispaino, t Total weight, t	
	Etuakseli Front axle		Taka-akseli Back axle		Taka-akseli: teloilla Back axle with track shoes		Tyhjänä Unloaded	Kuormatuna Loaded
	Tyhjänä Unloaded	Kuormatuna Loaded	Tyhjänä Unloaded	Kuormatuna Loaded	Tyhjänä Unloaded	Kuormatuna Loaded		
Lokkeri 925 kuormatraktori — forwarder	61	77	41	144	26	68	11,3	26,3
Lokomo 909 kuormatraktori — forwarder	60	60	45	110	—	43	8,9	14,9
Volvo SM 462 kuormatraktori (3/4-telat) — forwarder (3/4-track)	66	72	30	102	15	36	8,6	14,6
Volvo BM 971 kuormatraktori — forwarder	85	85	58	158	31	84	16,0	30,0
Kockum 78 ATK prosessori — processor	83	—	110	—	57	—	22,7	—
Logma T-310 prosessori — processor	73	—	110	—	—	—	20,2	—
Volvo SM 880 prosessori — processor	81	—	94	—	43	—	18,9	—
Drott 40 YC harvesteri (koko telat) — harvester (full track)	—	—	—	—	42	—	13,6	—
Valmet 880 KK harvesteri — harvester	77	73	65	107	—	—	14,9	19,0

¹⁾ 98,066 kPa = 1 kp/cm²

Taulukon 1 metsätraktoreiden kokonaispainot ovat tyhjänä 9...16 t ja kuormattuna 15...30 t. Metsätraktoreiden kokonaispainojen kasvu on edellyttänyt, että koneiden maastoajo-ominaisuudet ovat vastaavasti parantuneet. Pyörätraktoreiden kantavuusominaisuuksia on pyritty parantamaan pyörän halkaisijaa ja leveyttä suurentamalla sekä varaamalla mahdollisuus irrotettavien telojen käyttöön. Kiinteillä teloilla varustetut puunkorjuukoneet eivät ole saaneet Suomessa juuri jalansijaa. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että keskimäärin pienet leimikot vaativat runsaasti siirtoajoja ja telakoneen siirtäminen työmaalta toiselle on tunnetusti hankalampaa kuin pyöräkoneen. Neuvostoliitossa sen sijaan suurin osa puun metsäkuljetuksista tapahtuu telatraktoreilla, mikä johtuu suurien työmaiden ohella myös havumetsävyöhykkeen runsaista soista ja talvien lumipeitteestä. Suurilla työmailla koneiden siirroilla ei ole käytännöllistä merkitystä (RANTAPUU 1970, s. 4).

Taulukossa 1 olevien kuormatraktoreiden ja monitoimikoneiden etuakselien pintapaineet näyttävät vaihtelevan konetyypeittäin vain vähän. Kuorma ei myöskään lisää etuakselin pintapainetta oleellisesti. Taka-akselin pintapaine on kuormattuna noin 2,5...3,5-kertainen kuormaamattomaan verrattuna, kun taka-akselia ei ole varustettu teloilla. Teloilla pintapaine saadaan alennetuksi samaan tasoon tai jonkin verran etuakselin pintapainetta pienemmäksi. Teloilla varustetun kuormatraktorin pintapaine on kuormattuna 60...85 kPa.

Taulukossa 1 nähdään niin ikään, että monitoimikoneiden pintapaineet ovat kiinteillä teloilla varustettua Drott-monitoimikonetta lukuun ottamatta keskimäärin suuremmat kuin kuormatraktoreilla. Taulukon 1 monitoimikoneiden pintapaineet ovat 42...110 kPa. Monitoimikoneet näyttävätkin asetavan suuremmat vaatimukset kulkualustan kantavuudelle kuin kuormatraktorit. Monitoimikoneen, etenkin harvesterin, maasto-ominaisuuksien tulisi kuitenkin olla paremmat kuin kuormatraktorin. Kuormatraktorilla liikutaan yleensä etukäteen suunniteltuja ajouria pitkin, jolloin maaston pahimmat paikat ovat kierrettävissä. Harvesterin sen sijaan pitäisi ainakin periaatteessa päästä kunkin kasvavan puun välittömään läheisyyteen. Harvesterien käsittelyulottuvuutta lisäämällä voidaan kuitenkin osittain eliminoida pintaesteistä aiheutuvat haitat.

Minkälaista pintapainetta ojitettu suo sitten kestää? Seuraavassa tarkastellaan ojitetun suon kantavuutta kesäaikana kirjallisuustietojen perusteella. On kuitenkin huomattava, että useat havainnot koskevat luonnontilaisen suon kantavuutta.

HEIKURAISEN (1971 a, s. 196) mukaan suolla liikkuvan tela-ajoneuvon pintapaine ei saisi olla 35 kPa:a suurempi, jos halutaan selviytyä upottavissakin soissa: vähemmän upottavilla soilla pintapaine saa olla 40...50 kPa. Täydennysojituksiin suositellaan samoja koneyhdistelmiä kuin uudisojituks-

siin. HEIKURAINEN kiinnittää niin ikään huomiota raskaiden koneiden puustolle aiheuttamiin vaurioihin. HUIRARI (1958, s. 38) mukaan metsäoja-auran vetokoneen maasto-ominaisuutena on tärkeää koneen painon suhde maata koskettavaan telapinta-alaan. Mikäli pintapaine ei ylitä 30 kPa:a, sopii kone erittäin hyvin metsäoja-auran vetokoneeksi. Jos pintapaine on 30...40 kPa:n välillä, on konetta pidettävä sopivana. Myös KLEMELÄN (1956, s. 10) mukaan olisi pyrittävä metsäojien auruksessa sellaisiin vetokoneisiin, joiden telojen pintapaine olisi 40...45 kPa. Jos pintapaine on 40...60 kPa, on telaajoneuvo hyvin sopiva vetokoneeksi sellaiseen ojituskohteeseen, jossa on yleensä vain ohutturpeisia soita. Saraiset suot ovat poikkeuksetta paremmin kantavia kuin sellaiset suot, joilla ei ole saroja. Suon kantavuus riippuu lähinnä siitä, miten tehokkaasti pintakasvillisuuden juuret ovat muodostaneet suon pintaan sitkeän maton, joka ei murru telojen alla.

THOMSONIN (1961) mukaan suo-olosuhteisiin suunnitellun ajoneuvon pintapaine voi olla suolla tasaisesti kuormattuna 35 kPa. Ajoneuvon kulku riippuu myös oleellisesti suonpinnan olosuhteista sekä liikenteen ajankohdasta. Ajoneuvon kulkukelpoisuus riippuu niin ikään turpeen paksuudesta ja vesipitoisuudesta (MACFARLANE 1969, s. 266).

Edellä esitetyt lukuarvoja tulkittaessa on otettava huomioon, että ojituksessa käytettävä telakone liikkuu yleensä kullakin paikalla vain kerran. Puunkorjuussa sen sijaan traktorit ajavat monesti useita kertoja samalla ajo-uralla.

Ruotsissa suoritettujen ajokokeiden mukaan metsätraktorin pintapaine ei saisi olla suurempi kuin 50 kPa, mikäli ajoneuvoa on tarkoitus käyttää myös suolla (HAAJA ja LAMPEN 1970, s. 5). Tela- ja pyöräajoneuvojen pintapaineita ei voitaneakaan suoranaisesti verrata keskenään lukuarvojen perusteella, koska telaajoneuvon paino jakautuu laajemmalle alueelle kuin pyöräajoneuvon. Pintaesteet — mättäät ja painanteet — ovat lisäksi tuntuvasti haitallisempia pyöräajoneuvon kuin telaajoneuvon kannalta.

Pyöräajoneuvon pyörän kuormitus jakaantuu tuntuvasti pienemmälle alalle kuin telojen. Ojitetulla suolla juurien sitoman turpeen pintakerros rikkoutuu ilmeisesti helpommin pyörän kuin telojen alla, vaikka pyörän ja telojen pintapaine olisikin sama. Telojen paremmuus johtuu siitä, että turvekerros ei ole homogeeninen kantokyvyn suhteen ja tela tasaa paremmin turvekerroksen kantavuudessa ilmenevät mikroerot kuin pyörä. Luonnontilaisen suon kantokyky ei todennäköisesti parane pyöräajoneuvon kannalta yhtä oleellisesti ojituksen ja lisääntyvän pintajuuriston vuoksi kuin telaajoneuvon.

Telaajoneuvojen käyttökelpoisuuden arvioimiseksi esitetyt pintapaineiden lukuarvoja ei voitaneakaan sellaisenaan käyttää pyöräajoneuvojen maasto-ominaisuuksien arvioimiseksi. Pyöräajoneuvon pintapaineen tulisikin ilmeisesti olla alaisempi kuin telaajoneuvon, mikäli sillä aiotaan liikkua turve-

alustalla. Taulukon 1 (s. 184) lukuarvojen perusteella voidaan päätellä, että nykyisin käytössä olevat puunkorjuukoneet soveltuvat huonosti ojitusaluiden puunkorjuuteen ainakin kesäaikana.

4. TURVEALUSTAN KANTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

41. ROUTAANTUMINEN

411. Routaantumislilmiö

Koska suon kulkukelpoisuus on puunkorjuun kannalta huono lähinnä turpeen heikon kantavuuden vuoksi, korjuu pyritään yleensä ajoittamaan talvi-kauteen. Seuraavassa tarkastellaankin turpeen routaantumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Ojitetun suon routaantumisen tarkastelussa on oleellista se, kehittykö routakerros riittävän paksuksi ja kestäkö se nykyisin käytössä olevien suurten puunkorjuukoneiden painon.

Maan routaantuminen on ilmiö, johon vaikuttavat useat tekijät samanaikaisesti. Näistä tekijöistä ovat tärkeimmät:

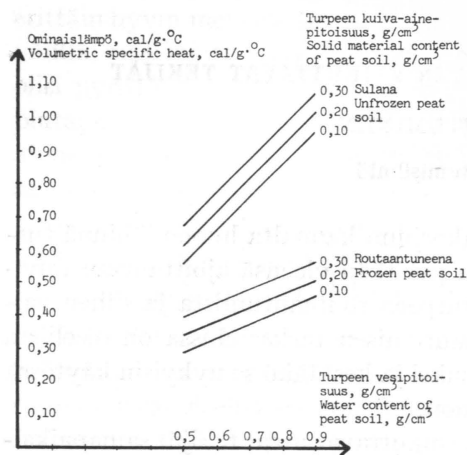
- ilmasto-olosuhteet, lähinnä maanpinnan lämpötila talvella,
- maan ominaislämpö (maalaji ja sen kosteus),
- maan lämmönjohtavuus,
- maan lämpötilanjohtavuus,
- lumipeitteen paksuus ja tiheys ja
- kasvipeite.

(esim. GARDEMEISTER ym. 1968, s. 107, HELENELUND 1971, s. 56)

Ensin tarkastellaan lämpöominaisuuksia maan ollessa sulana ja routaantuneena. Lämpöominaisuuksien tarkastelu kohdistuu turpeen ominaislämpöön, lämmönjohtavuuteen ja lämpötilanjohtavuuteen.

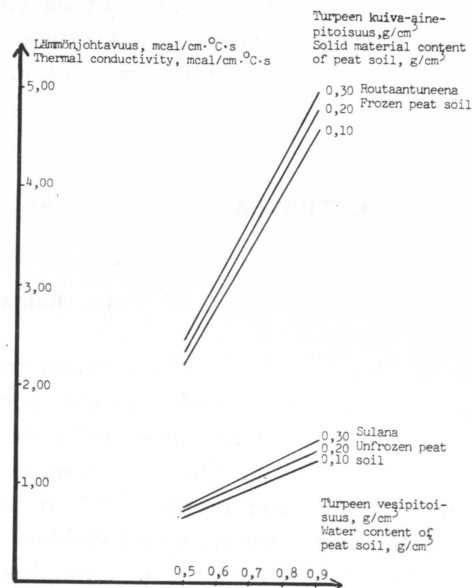
Kuvassa 1 on esitetty sulan ja routaantuneen turpeen ominaislämmön riippuvuus turpeen kuiva-aine- ja vesipitoisuuksista. Kuvan 1 kuvaajat perustuvat laskettuihin arvoihin. Turpeen kuiva-ainepitoisuudella ei ole kovin suurta merkitystä sen ominaislämpöön. Vesipitoisuus (g/cm^3) sen sijaan vaikuttaa ratkaisevasti turpeen ominaislämpöön, koska vedellä on tunnetusti suuri ominaislämpö muihin luonnossa esiintyviin aineisiin verrattuna. Routaantuneen turpeen ominaislämpö on keskimäärin noin puolet vastaavanlaatuisen sulan turpeen ominaislämmöstä.

Ojitetun suon ominaislämpö riippuu oleellisesti ojituksen tehokkuudesta, ts. siitä kuinka hyvin ojitus on kuivattanut suon pinnan. Mikäli suon pintaturpeen vesipitoisuus on alhainen ensimmäisten pakkasten aikaan, routaantuu pintakerros helpommin kuin jos vesi olisi turvekerroksen pinnassa. Koska



Kuva 1. Routaantuneen ja sulan turpeen ominaislämpön riippuvuus turpeen kuiva-ainepitoisuudesta ja vesipitoisuudesta (laskettuja arvoja, MACFARLANE 1969, s. 92)

Fig. 1. Dependence of the volumetric specific heat of frozen and of unfrozen peat soil on the water and solid material content of the soil (calculated values)



Kuva 2. Routaantuneen ja sulan turpeen lämmönjohtavuuden riippuvuus turpeen kuiva-ainepitoisuudesta ja vesipitoisuudesta (laskettuja arvoja, MACFARLANE 1969, s. 93)

Fig. 2. Dependence of the thermal conductivity of frozen and of unfrozen peat soil on the water and solid material content of the soil (calculated values)

ojitusalueen turpeen kosteuspitoisuus on yleensä alhaisempi kuin luonnontilaisen suon, ojitusalueen turpeen ominaislämpökin on pienempi kuin ojittamattoman. Ojitusalueen pintaturve näyttääkin routaantuvan ominaislämpön kannalta arvioituna syvempään kuin luonnontilaisen suon pintaturve. Routaantumisessa ei ilmeisestikään voida joka vuosi havaita eroja, koska syyssateiden vuoksi kosteuserot saattavat olla pienet routaantumisen ajankohtana.

Kuvasta 2 nähdään sulan ja routaantuneen turpeen lämmönjohtavuuden riippuvuus turpeen kuiva-aine- ja vesipitoisuuksista. Kuiva-ainepitoisuuden vaikutus lämmönjohtavuuteen on pieni. Vesipitoisuus sen sijaan vaikuttaa ratkaisevasti turpeen lämmönjohtavuuteen. Lämmönjohtavuus on sitä suurempi, mitä enemmän turve sisältää vettä. Turpeen routaannuttua sen lämmönjohtavuus kasvaa noin nelinkertaiseksi sulaan turpeeseen verrattuna.

Sulan ja routaantuneen turpeen lämpötilanjohtavuuden riippuvuus turpeen kuiva-aine- ja vesipitoisuuksista on esitetty kuvassa 3 (s. 191). Lämpö-

tilanjohtavuudella eli termisellä diffusiviteetillä tarkoitetaan lämmönjohtavuuden ja ominaislämpön suhdetta. Lämpötilanjohtavuus ei riipu siinä määrin turpeen-kuiva-aine- ja vesipitoisuudesta kuin lämmönjohtavuus. Routaantuneena turpeen lämpötilanjohtavuus on kuitenkin noin 8...10-kertainen sulaan turpeeseen nähden.

Mikäli tarkastellaan edellä käsiteltyjen turpeen lämpöominaisuuksien vaikutusta luonnontilaisen ja ojitetun suon routaantumiseen, voidaan tehdä seuraavat päätelmät, jotka perustuvat olettamukseen, että ojitetun suon vesipitoisuus on pienempi kuin luonnontilaisen.

Ojitetun suon routaantuminen alkaa aikaisemmin kuin luonnontilaisen. Mikäli lumi ei peitä maata ja ilman lämpötila on alle 0° C, turve routaantuu nopeasti routaantuneen turpeen lisääntyneen lämmönjohtavuuden ja lämpötilanjohtavuuden vuoksi.

Routaantumisen alettua luonnontilainen ja vesipitoinen suo saattaa routaantua nopeammin kuin ojitettu suo. Luonnontilaisen suon ojittettua nopeamman routaantumiseen vaikuttavat tällöin suurentunut lämmönjohtavuus ja lämpötilanjohtavuus. Toisaalta vastakkaiseen suuntaan vaikuttaa luonnontilaisen suon suuri vesipitoisuus ja siitä johtuva ominaislämpö.

Mikäli lumi sataa sulaan tai vain nimeksi routaantuneeseen maahan, muuttuvat suon routaantumisen edellytykset oleellisesti. Routaantuminen saattaa jäädä lähes olemattomaksi koko pakkaskauden aikana, koska lumi eristää sulan maan. Talvikauden routaantumisen kannalta ratkaisevaksi tekijäksi muodostuu se, kuinka pitkään jo routaantumisen aloittanut suon pintakerros pysyy lumettomana ja alttiina pakkasille.

Ojitetun ja luonnontilaisen suon routaumisesta on useita edellisiä päätelmiä tukevia oppikirjatietoja ja tutkimustuloksia. HEIKURAISEN (1960, s. 160) mukaan kuivatulla suolla routakerros on paksumpi kuin ojittamattomalla. Mikäli turpeen routaantuminen tapahtuu pitkän ajan kuluessa, muodostuu paksu routakerros. Routa ei tunkeudu syvälle, jos turvekerros on alttiina pakkasille vain lyhyen ajan (TROEDSSON ja NYKVIST 1973, s. 43). Routaantumista keinoitekoisesti edistettäessä on pidetty tärkeimpänä sitä, että lumi poljetaan tai jyrätään heti ensimmäisten lumisateiden jälkeen (PUOSKARI 1949, s. 55). Näin saadaan osittain pidennettyä aikaa, jolloin routaantunut turvekerros on alttiina ulossäteilylle. KIVISEN (1949, s. 166) mukaan myös ojittamattomassa suossa, jossa pohjavesi on korkealla ja suo on on hyvin märkää, routa ei mene yhtä syvälle kuin ojitetussa ja siis kuivemmassa suossa. WILLISIN ym. (1961) mukaan Pohjois-Dakotassa tehtyjen mitausten perusteella näyttää siltä, että kuiva turve jäätyy syvemmälle ja nopeammin kuin märkä. PUSTOVOITOVIN (1962) mukaan maan routaantuminen alkaa Siperiassa Amurin alueella 17...20 päivää aikaisemmin kuivatulla alueilla kuin luonnontilaisilla soilla (PELTON ym. 1968, s. 248).

Ojitetun ja ojittamattoman suon routaantumisen eroista on myös vastakkaisia havaintoja. HAKKARAINEN (1949 a, s. 35) mukaan ojitetulla rämeellä roudan paksuus on pienempi kuin ojittamattomalla. Ojitetun rämeen luontainen roudan paksuus oli suurimmillaan 8 cm ja ojittamattomalla 10 cm. Havaintojen mukaan siis kosteuspitoisuuden lisääntyessä turpeen roudan syvyys on kasvanut (HAKKARAINEN 1949 a, s. 37).

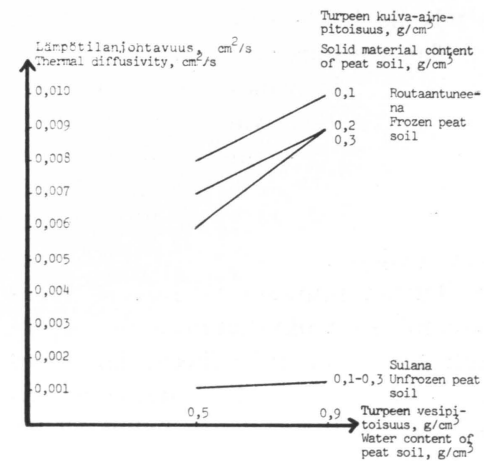
Hieman toisistaan poikkeavat tulokset roudan vahvuudessa ojitetulla ja ojittamattomalla suolla johtunevat alkutalven useinkin vaihtelevista roustaantumiseen vaikuttavista tekijöistä. Näistä on epäilemättä tärkein lumen-
talon ajankohta.

412. Puuston vaikutus routaantumiseen

Ojitetun ja ojittamattoman suon roudan vahvuudessa ilmenevät erot johtuvat ilmeisesti myös puustosta. Seuraavassa tarkastellaankin puuston vaikutusta ojitusalueen roustaantumiseen ja lähtien olettamuksesta, että ojitusalueelle on syntynyt metsikkö. Puusto vaikuttaa ainakin kahdella tavalla ojitusalueen roustaantumiseen. Ensiksikin puusto estää maanpinnan lämmön ulosäteilyä ja toiseksi puusto pienentää lumipeitteen määrää pidättämällä lumen latvustoon.

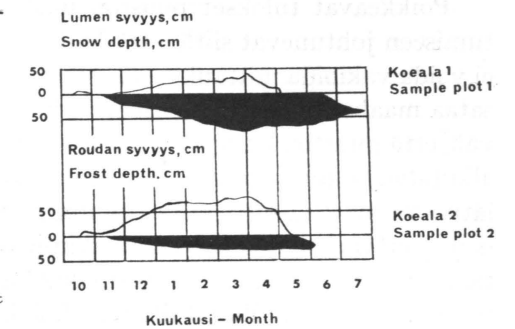
Kangasmaiden metsiköiden roudan syvyyden on todettu riippuvan puulajista ja puuston tiheydestä. RONGE (1928) on tehnyt mittauksia lumen ja roudan syvyydestä Norrlannissa kahdella kuusikkokoealalla. Koeala 1 jätettiin käsittelemättä ja sen runkoluku oli 12 000 kpl/ha, keskipituus 4,7 m ja kuutiomäärä 77 k-m³/ha. Koeala 2 oli ennen raivausta koealan 1 kaltainen. Raivauksen jälkeen koealalla 2 oli 1 900 runkoa/ha ja sen kuutiomäärä oli 29 k-m³/ha. Raivattu puu jätettiin koealalla 2 maahan. Kuvasta 4 nähdään lumen ja roudan syvyyden kehitys em. koealoilla talvikauden 1923—24 aikana. Raivatulla alueella lumen paksuus on ollut selvästi suurempi kuin käsittelemättömällä koealalla. Raivatun alueen roudan vähyys on johtunut lumipeitteen paksuuden ohella myös runsaista raivaustähteistä.

Myös YLI-VAKKURIN (1960, s. 19) mukaan yhtenäisesti suojaavan lumipeitteen muodostuminen kuusikoissa estyy siinä määrin, että talven pakkaset jäädyttävät maan niissä varsin syvälle. Mitä tiheämpi kuusikko on, sitä selvempi tällainen vaikutus lienee. Routa säilyy YLI-VAKKURIN (1960) mukaan myös sitkeimmin puiden tyvillä, vaikka lumipeite sulaakin niiltä ensin. Puuston vaikutuksesta roudan syvyyteen on esitetty myös vastakkaisia tuloksia. MUSTOSEN (1965, s. 27) mukaan puuston kuutiomäärän lisääntyessä roudan syvyys pienenee. Tämän on tulkittu johtuneen puuston suojaavista ominaisuuksista, jotka pienentävät ulosäteilyä ja tuulen vaikutusta.



Kuva 3. Routaantuneen ja sulan turpeen lämpötilanjohdavuuden riippuvuus turpeen kuiva-ainepitoisuudesta ja vesipitoisuudesta (laskettuja arvoja, MACFARLANE 1969, s. 94)

Fig. 3. Dependence of the thermal diffusivity of frozen and of unfrozen peat soil on the water and solid material content of the soil (calculated values)



Kuva 4. Lumen ja roudan syvyys kahdella koealalla RONGEN (1928) mukaan. Raivaamattoman koealan 1 runkoluku oli 12 000 kpl/ha ja raivatun koealan 2 runkoluku 1 900 kpl/ha.

Fig. 4. Snow and frost depths on two sample plots according to RONGE (1928). On the uncleaned sample plot 1 there were 12 000 stems per hectare and on the cleaned one 2 190 stems per hectare.

Kuusikon on todettu pidättävän lunta tehokkaimmin. Lumisuojaan puute on puolestaan edistänyt maan roustaantumista. Kuusikko estää myös säteilyn tunkeutumisen maahan keväällä, minkä vuoksi routa pysyy maassa pitkään (YLI-VAKKURI 1960, s. 38). Männyn vaikutus lumi- ja roustaolosuhteisiin ei ole niin suuri kuin kuusen, ts. männikkö ei estä siinä määrin lumipeitteen muodostumista kuin kuusikko. Maaperä roustaantuukin männikössä sen huonon lumenpidätyskyvyn vuoksi vähemmän kuin kuusikossa. Puhdas lehtimetsä ei sanottavasti pidätä lunta. Kuusikossa roudan syvyys on suurempi kuin pyökimetsissä vastaavissa olosuhteissa (KRAUSS ym. 1930, s. 445). MUSTOSEN (1965, s. 29) mukaan mänty- ja kuusimetsikön roustaumisessa ei kuitenkaan ole keskimäärin oleellista eroa.

PÄIVÄSEN (1973, s. 125) mukaan talvet 1971—1972 olivat Etelä-Suomessa routatutkimusten kannalta epäedullisia, koska lumipeite tuli maahan ennen kovia pakkasia. Turvemaan roustaantuminen jäi näin ollen vähäiseksi. Roudan syvyys vaihteli talvella 1971—1972 2...9 cm:iin. Roudan vahvuus oli alimmillaan koealalla, jolla lunta oli eniten. Vastaavasti vähälumisimmalla koealalla oli eniten routaa. Vahvasti harvennetulla ja avohakatulla koealalla,

jolla lumipeite oli vahvin, ei esiintynyt talvella 1972—1973 routaa lainkaan. Edellistä vähälumisemmilla koealoilla roudan paksuus oli 0...6 cm.

Poikkeavat tulokset puuston määrän ja puulajin vaikutuksesta routautumiseen johtunevat siitä, että kaikkia routautumiseen vaikuttavia tekijöitä ei voida vakioida mittauksissa. Alkutilven olosuhteita — missä vaiheessa lumi sataa maahan — ei ilmeisestikään aina ole otettu huomioon. On kuitenkin selvää, että puuston latvuserroksen lumen pidätyskyky säätelee oleellisesti myös alkutilvella routautumiseen vaikuttavia tekijöitä. Mitä tiheämpi puuston latvuserros on, sitä tuntuvammin se vaikuttaa routautumiseen. Hakkuiden ajoittamisella voitaneen ainakin jossain määrin vaikuttaa myös maan routautumiseen, mikä on tärkeätä hakkuuta seuraavan työvaiheen, lähikuljetuksen, kannalta. Mainitulla näkökohdalla ei kuitenkaan liene suurta merkitystä, koska kehittyneimmässä puunkorjuumenetelmissä lähikuljetus seuraa yleensä välittömästi hakkuuta.

Mikäli esim. harvennushakkuu aloitetaan ojitetulla suolla syksyllä ennen lumen tuloa, poistetaan tällöin myös osa lumipeitteen paksuutta pienentävästä latvuserroksesta. Voimakkaan harvennuksen on todettu lisänneen lumen syvyyttä nuorena männikössä n. 22 %, ja avohakkuun peräti 63 %. Avohakkuun ala oli kuitenkin verraten pieni (PÄIVÄNEN 1973, s. 124). Lumen paksuus metsässä on suurimmillaan, kun puuston määrä on 30...60 m³/ha (SEUNA 1971, s. 34).

Hakkuutähteet jäävät yleensä lumen ohella maahan lämpöä eristäväksi kerrokseksi. Usein on ollut myös tapana kerätä palstateille ja ajourille tavanomaista paksumpi kerros hakkuutähteitä. Edellä mainitut toimenpiteet vaikuttavat epäedullisesti maaperän routautumiseen: harventaminen lisää lumipeitteen paksuutta ja hakkuutähteet eristävät lämpöä. Jos tavoitteena on edistää ojitusalueen routautumista, tulisi hakkuut aloittaa aikaisintaan vasta ensilumen satamisen jälkeen.

413. Pohjavesipinnan syvyyden vaikutus routautumiseen

Ojitus alentaa suon pohjavesipintaa. Mitä kapeampi sarka, sitä syvemmällä pohjavesi on. Ojasyvyys vaikuttaa pohjavesipinnan syvyyteen ainoastaan kapeilla saroilla (HUIKARI ym. 1966, s. 28). Pohjavesipinnan syvyydessä havaittujen erojen on todettu riippuvan turpeen rakenteesta, maatumaisuudesta ja huokostilasta. Pohjavesipinnan syvyydellä tarkoitetaan maanpinnan ja pohjavesipinnan välistä etäisyyttä (HEIKURAINEN 1971 b, s. 4).

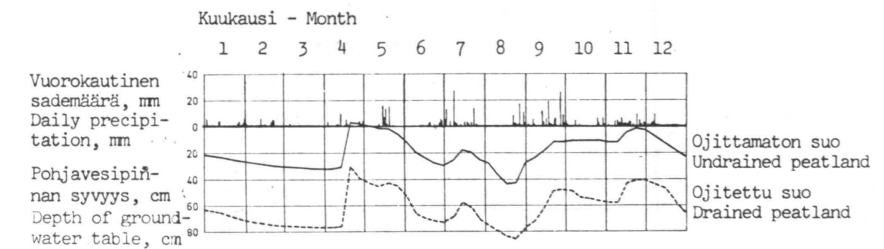
Ojitetun suon pintaturpeen vesipitoisuus riippuu pohjavesipinnan syvyydestä seuraavasti. Turpeen (0...10 cm) kosteus on merkitty 100:ksi pohjaveden ollessa 10 cm:n syvyydessä:

Pohjaveden syvyys, cm	0...10 cm turvekerroksen suhteellinen vesipitoisuus
10	100
30	43
50	16
70	13

(JUUSELA ym. 1969, s. 29)

Kantavuuden kannalta ojittamattoman suon routautumisessa on alkutilvella oleellista se, että runsaasti vettä sisältävä turve muuttuu jääksi. Ojitetun suon pintaturve sen sijaan on yleensä kuivempaa kuin ojittamattoman, minkä vuoksi se on jäätyessään useinkin haurasta. Ojitetulla suolla routautuminen tosin alkaa yleensä aikaisemmin ja routa tunkeutuu syvemmälle kuin ojittamattomalla, mihin jo aiemmin on viitattu. Pohjavesipinnan aleneminen talven mittaan aiheuttaa sen, että routautuneen pintaturpeen ja pohjavesipinnan väliin jää yleensä ilmaa sisältävä huokoinen turvekerros. Huokoiseen turvekerrokseen syntyy huomattava vesihöyryn paineen gradientti. Pohjavedestä haihtuu jatkuvasti vettä ja se tiivistyy routakerroksen alapintaan muodostaen jäätä (RAPELI 1969, s. 110). Kun turvekerroksen vesipitoisuus alenee ja vastaavasti ilmapitoisuus lisääntyy, muuttuu myös turpeen lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus pienemmäksi. Mikäli routakerros vahvistuu, on ilmeistä, että se on sitä hauraampaa mitä myöhemmin talvella se syntyy. Routakerroksen hauraus aiheutuu turpeen alentuneesta vesipitoisuudesta ja siitä, että vesihöyry tiivistyy ja muuttuu jääksi epätasaisesti huokoisessa turvekerroksessa.

Monissa suomalaisissa tutkimuksissa on todettu, että pohjavesipinta saavuttaa suurimman syvyytensä yleensä kevättalvella maaliskuussa ennen lumen sulamista (esim. HEIKURAINEN 1971 b, s. 5, MUSTONEN ja SEUNA



Kuva 5. Pohjaveden syvyys ja vuorokautiset sateet Huhtisuolla vuonna 1969 MUSTONEN ja SEUNAN (1971) mukaan

Fig. 5. Depth of the groundwater table and daily precipitation at Huhtisuo in 1969 according to MUSTONEN and SEUNA (1971)

1971, s. 24). Pohjaveden syvyyden vuodenaikaiset muutokset ovat lähes yhtä suuret ojitetulla ja ojittamattomalla suolla, kuten kuvasta 5 (s. 00) voidaan havaita.

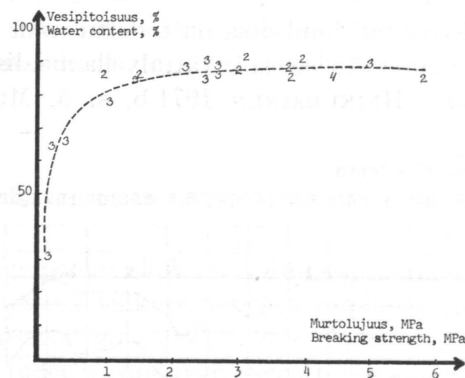
Pohjaveden liikkeiden on todettu estävän turpeen routaantumista. Eri-tyisesti on korostettu turve- ja kivennäismaan yhtymäkohdan huonoa routaantumista. HAKKARAISEN (1949 b, s. 3) mukaan yhtymäkohdassa roudan syvyys on n. 40 % pienempi kuin vastaavana ajankohtana suon keskiosassa.

42. ROUTAANTUNEEN TURPEEN LUJUUSOMINAISUUDET

Routaantuneen turvekerroksen lujuusominaisuudet ja kulutuksen kestävyys riippuvat ensi sijassa turpeen jäätymisajankohdasta vesipitoisuudesta. Ojitetun kuivan suon routakerros on haurasta. Jos taas vesi peittää suon pinnan routaantumisen aikaan, syntyvästä routakerroksesta tulee lujaa jäätä (NUMMINEN 1963).

Suon pintakasvillisuus vaikuttaa niin ikään routaantuneen turvekerroksen lujuusominaisuuksiin. Rahkaturpeen rakenne on jäätyneenä murumainen, sen tiheys on alhainen ja kantokyky heikko. Pyöräajoneuvollajäätyneen rahkasuon ylittäminen on usein vaikeaa. Kevytrakenteinen tela-ajoneuvo sen sijaan kulkee em. jäätyneen suoalueen yli muutamia kertoja suopinnan rikkoutumatta (STOECKELER 1965, s. 4).

HAKKARAISEN (1949 a, s. 70) mukaan routaantuneen turpeen murtolujuus (MPa) kasvaa vesipitoisuuden lisääntyessä, kuten kuvasta 6 havai-



Kuva 6. Routaantuneen turpeen murtolujuuden riippuvuus vesipitoisuudesta HAKKARAISEN (1949 a) mukaan. Mittaustulos merkitty turpeen maatumisasteen numerolla (v. Postin luokitus).

Fig. 6. Dependence of the breaking strength on the water content of frozen peat soil according to HAKKARAINEN (1949 a). The measurement is exposed as the degree of humification (v. Post's method).

taan. Kun vesipitoisuus, joka on laskettu kostean turpeen painosta, laskee alle 70 %:n, pienenevät routaantuneen turpeen lujuusominaisuudet ratkaisevasti. Kuvasta 6 nähdään myös, että routaantuneen turpeen murtolujuus vaihtelee 1...6 MPa:iin vesipitoisuuden ollessa 75...90 %. Turve on routaantuneena varsin heterogeenista lujuusominaisuuksiensa suhteen, mikä ilmeisesti johtuu turpeen orgaanisesta aineksestä. Maatumisasteella, kun se on v. Postin (esim. HEIKURAINEN 1960, s. 130) menetelmällä määritettynä välillä 2...4, ei näytä olevan oleellista merkitystä routaantuneen turpeen murtolujuuteen.

Jään murtolujuus on keskimäärin pienempi kuin routaantuneen turpeen, jonka vesipitoisuus on 80...90 %. SAMUELSSONIN (1958) ja SUNDBERG—FALKENMARKIN (1959) mukaan hohkaisen jään ja kiintojään murtolujuudessa ei havaittu oleellisia eroja koekappaleen koon ollessa n. 100 cm × 20 cm × jään paksuus. Jään murtolujuus oli näissä kokeissa 0,6...0,8 MPa. Kun lujuuskokeet tehtiin pienillä koekappaleilla (20 cm × 2 cm × 2 cm), saatiin murtolujuudeksi 1,5...2,3 MPa kiintojälle ja hohkaiselle jäälle 0,85...1,0 MPa (AGER 1963, s. 36). Kuvan 6 (s. 194) tulokset on saatu 4 cm × 4 cm × 16 cm tai 6 cm × 6 cm × 16 cm koekappaleilla. Viimeksi mainitut ja HAKKARAISEN (1949 a, s. 68...70) mittaustulokset ovat näin ollen vertailukelpoisia.

Kun jäätyneen turpeen vesipitoisuus on alle 70 %, sen murtolujuus on pienempi kuin hohkaisen jään. Vesipitoisuuden pienetessä routaantuneen turpeen lujuus heikkenee edelleen oleellisesti.

Jään kantavuudesta tiedetään, että sen paksuuden tulee olla 10 t:n kuorman alla 30...35 cm ja 30 t:n kuorman alla 50...60 cm, kun kuormittavan pinnan säde on 4 m (AGER 1963, s. 40). Jään ja routaantuneen suon kantavuusominaisuuksia ei voitane suoraan rinnastaa toisiinsa. Näyttää kuitenkin siltä, että nykyiset monitoimikoneet ja suurimmat kuormatraktorit ovat painonsa puolesta soveltumattomia ojitetun suon puunkorjuuseen, vaikka suon pintaturve olisi routaantunut. Ojitetun suon huonot kantavuusominaisuudet johtunevat siitä, että pintaturpeen routaantuessa sen vesipitoisuus on yleensä niin alhainen, että turpeen murtolujuus jää pieneksi.

Routakerroksen paksuudesta turvemaidilla on esitetty lukuarvoja liikennöintiä varten. HAKKARAISEN (1949 a, s. 73) laskelmien mukaan routakerroksen tulee olla n. 30 cm ojitetulla rämeellä, jotta se kantaisi 10 t:n autokuorman. Laskelmassa oletettiin, että turpeen vesipitoisuus on n. 85 %. Vesipitoisuuden laskiessa routakerroksen tulee olla vastaavasti suurempi kestääkseen saman kuorman. MACFARLANEN (1969, s. 243) mukaan 25...30 cm:n routakerros avosuolla kestää raskaimmatkin koneet.

Ojitusalueen routaantuneen pintaturpeen lujuusominaisuuksia ja kantavuutta voitaneen parhaiten parantaa nostamalla pohjaveden pintaa. Pohjavesi saadaan nostetuksi patoamalla laskuojat hyvissä ajoin ennen syksyä.

Pohjaveden korkeuden merkitystä suon talviaikaisen kulkukelpoisuuden kannalta on korostanut mm. PUTKISTO (1950, s. 2).

Pohjavesipinnan nostamisella ei luonnollisestikaan ole haittaa puustolle silloin, kun ojitusalue hakataan paljaaksi. Harvennusleimikoissa sen sijaan on mahdollista, että väliaikaisesti nostettu pohjavesi saattaa vaurioittaa jäätyessään jäljelle jäävien puiden juuristoja. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston koekentällä Vilppulassa on selvitetty vuoden eri aikoina nostetun pohjaveden vaikutusta männyn kasvuun kahden kasvukauden aikana. Talvikauden ajaksi nostetun pohjaveden ei havaittu vaikuttaneen haitallisesti mäntyjen terveydentilaan. Myöskään mäntyjen kasvu ei pienentynyt seuraavan kasvukauden aikana oleellisesti (PELKONEN 1975).

43. PUIDEN JUURET

Ojitusalueiden harvennushakkuisiin liittyy myös puuston vaurioitumisen ongelma. Turvealustan heikon kantavuuden vuoksi puiden juuret ovat alttiina ajovaurioille. Juuriston vaurioitumisriski on suuri erityisesti sen vuoksi, että puiden juuret ovat soilla lähellä maanpintaa. Turvekerros on huono puiden juuristojen kiinnitysalusta. Ojitusalueiden harvennuspuun korjuun raskaan koneellistamisen eräänä pahimmista esteistä onkin pidetty puuston vaurioitumista (esim. HENMAN 1963, s. 18, HEIKURAINEN 1971 a, s. 194).

Puiden juurien pinnallisuutta ojitetulla rämeellä kuvaa seuraava jaotelmä HEIKURAISEN (1960, s. 253) mukaan.

Syvyyskerros, cm	Juurien kokonaismäärän jakauma, %
0—5	71,1
5—10	21,5
10—15	6,2
15—20	1,2

Toimivat juuren osat ovat pinnallisia, kun taas paksut juuret ovat edellisiä huomattavasti syvemmällä. Toimivan juuriston painopiste on vain vähän yli 4 cm:n syvyydessä.

Mustikkakorvessa kuusen ja hieskoivun juuret ulottuvat jopa puolen metrin syvyyteen, kun suo on ojitettu. Juuristo on kuitenkin n. 10 cm:n keski-syvyydessä (PAAVILAINEN 1966, s. 11). Puulajien juuristot eroavat toisistaan jonkin verran sekä määränsä että keskimääräisen syvyytensä suhteen. Juurten määrä puuston kuutiomäärää kohden riippuu ratkaisevasti metsikön iästä ja koosta. Koivun juurimäärä puuston kuutiomäärään nähden on yli kaksinkertainen verrattuna männyn juurimäärään ja noin puolitoistakertainen verrattuna kuusen juurimäärään (HEIKURAINEN 1958, s. 16). Koivun juu-

risto on HEIKURAISEN (1958, s. 13) mukaan myös ilmeisesti keskimäärin syvemmällä kuin männyn ja kuusen.

Puulajien juuristojen pienillä syvyyseroilla soilla ei liene oleellista merkitystä vaurioitumisalttiuteen eikä pintaturpeen kantavuusominaisuuksiin. Juurien määrän lisääntyminen sen sijaan parantane turvealustan kantavuutta. Koivun juuristo lisäneeekin ilmeisesti pintaturpeen kantavuutta eniten ja männyn vähiten. Vaurioiden aiheuttamia seurausvaikutuksia — kasvun pienenemistä ja lahon iskeytymistä haavaumista — ei sen sijaan liene turve-mailla tutkittu. Kuusi ja koivu ovat ilmeisestikin myös turvemilla herempiä lahon iskeytymiselle kuin mänty. Lahon iskeytymisen kannalta suon pintaturpeessa oleva puun juuristo ei kuitenkaan tarjonne samoja kasvumahdollisuuksia lahottajasienien sienirihmastoille kuin kivennäismaassa oleva juuristo. Tämä johtuu siitä, että suon pintaturpeen kosteuspitoisuus saattaa usein olla liian suuri lahottajasienten kasvulle (vrt. NILSSON ja HYPPEL 1968, s. 705).

5. ROUTAANTUMISOLOSUHTEET TALVELLA 1973—1974

Routaantuminen on ollut 1970-luvun alun talvina varsin vähäistä (esim. PÄIVÄNEN 1973, s. 125), mihin jo aiemmin on viitattu. Vähäinen maaperän



Kuva 7. Ojitetun rämeen puuston valtapituus oli 8 m, pohjapinta-ala 14 m²/ha ja latvuston peittoprosentti 75.

Fig. 7. The dominant height on the drained pine swamp was 8 m, the basal area 14 m²/ha, and the canopy coverage 75 %



Kuva 8. Roudan syvyyttä mitattiin routaputkilla. Avonevalla oli neljä, ojittamattomalla rämeellä kolme ja ojitetulla rämeellä kuusi routaputkea. Kuva on otettu ojittamattomalta rämeeltä.

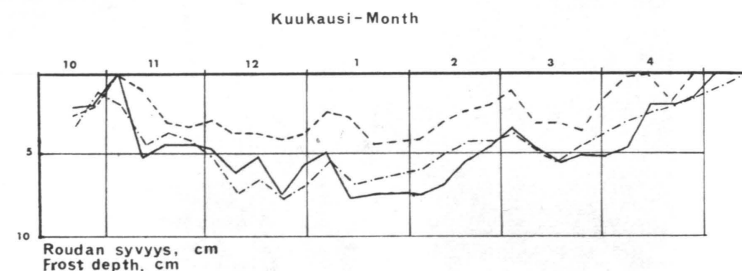
Fig. 8. Frost depth was measured by permanent frost tubes. On the undrained open swamp there were four, on the undrained pine swamp three and on the drained pine swamp six permanent frost tubes.

routaantuminen on haitannut myös routatutkimuksia. Routahavaintojen perusteella ei olekaan voitu tehdä pitkälle meneviä päätelmiä turvemaan routaantumisesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä.

Seuraavassa tarkastellaan roudan kehittymistä talvella 1973—1974 kolmella koealalla, jotka kuuluvat tutkijaryhmä HEIKURAISEN perustamiin metsähydrologisiin koealoihin. Koealat sijaitsevat Juupajoen kunnassa. Koealat eroavat toisistaan puuston ja ojituksen suhteen. Suon pintaturpeen routaantumisesta voidaan verrata ojittamattomalla avonevalla, ojittamattomalla rämeellä ja ojitetulla rämeellä. Ojittamattoman rämeen puuston valtapituus oli 5 m, pohjapinta-ala 5 m²/ha ja latvuspeitto 32 %. Ojitetun rämeen valtapituus oli 8 m, pohjapinta-ala 14 m²/ha ja latvuspeitto 75 %. Rämeiden puulajina oli mänty.

Roudan vahvuutta mitattiin routaputkilla. Avonevalla oli 4, ojittamattomalla rämeellä 3 ja ojitetulla rämeellä 6 routaputkea. Roudan paksuuden kehittymistä mitattiin samoista paikoista viikon välein koko talvikauden ajan. Routaputket oli asennettu suon tasapintoihin. Routaputken käyttöä

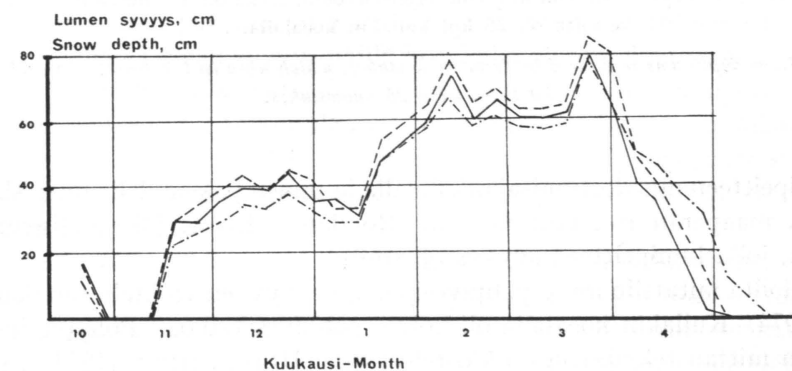
routamittauksissa on selostanut mm. PÄIVÄNEN (1973, s. 117). Roudan kehittyminen talvikautena 1973—1974 eri koealoilla on esitetty kuvassa 9 (s. 199). Routaa on syntynyt tarkastelujakson aikana kaikilla koealoilla vähän. Ojittamattomalla puustoisella rämeellä routaa on ollut vähiten. Avonevalla ja ojitetulla puustoisella rämeellä roudan vahvuus on ollut lähes sama. Avonevalla roudan paksuuden muutokset ovat olleet suurempia kuin muilla koealoilla, mikä ilmeisesti on johtunut puuston suojaavan vaikutuksen puuttumisesta.



Kuva 9. Roudan syvyys koealoittain talvella 1973—1974 (ojittamaton avoneva = —, ojittamaton räme = ---- ja ojitettu räme = -.-.-)

Fig. 9. Frost depth by sample plots in the winter 1973—74 (undrained open swamp = —, undrained pine swamp = ----, drained pine swamp = -.-.-)

Kuvasta 10 (s. 199) nähdään lumen syvyyden kehittyminen talvikauden 1973—1974 aikana koealoittain. Lumen syvyys mitattiin kiinteillä lumisauvoilla, jotka oli asennettu kahteen linjaan ja niitä oli 26 kpl kullakin koealalla.



Kuva 10. Lumen syvyys koealoittain talvella 1973—1974 (ojittamaton avoneva = —, ojittamaton räme = ---- ja ojitettu räme = -.-.-)

Fig. 10. Snow depth by sample plots in the winter 1973—74 (undrained open swamp = —, undrained pine swamp = ---- and drained pine swamp = -.-.-)

Linjaan asennettuja lumisauvoja ovat käyttäneet lumen syvyyden mittauksissa mm. YLI-VAKKURI (1960, s. 9) ja MUSTONEN (1965, s. 7). Ojitetulla puustoisella koealalla lumipeitteen kehittyminen oli alkutalvesta muita koealoja hitaampaa. Lunta oli eniten puustoisella ojittamattomalla rämeellä koko talven ajan. Lumipeitteen syvyyden suhteelliset erot tasoittuvat sydäntalvela koealojen kesken. Lumi säilyi maassa pisimpään puustoisimmalla koealalla.



Kuva 11. Lumen syvyys mitattiin kiinteillä lumisauvoilla, jotka oli asennettu kahteen linjaan ja joita oli 26 kpl kullakin koealalla.

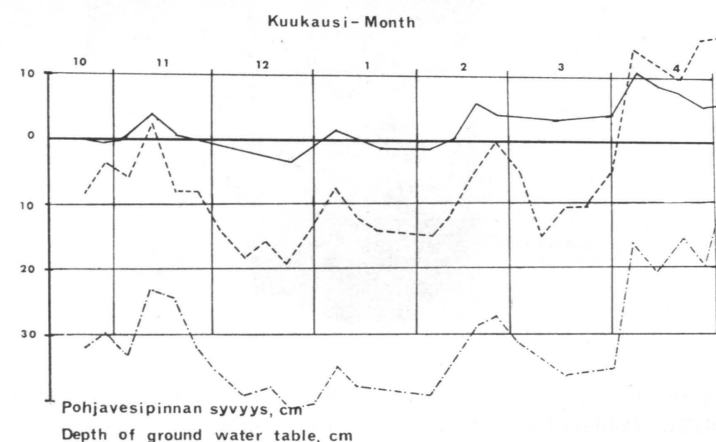
Fig. 11. Snow depth was measured by firm snow stakes, which were in two lines. On each sample plot there were 26 snowstakes.

Lumipeitteen muodostumisajankohdalla ja lumen paksuudella on keskeinen merkitys maaperän routaantumiseen. Roudan vahvuus jäi vähäisemmäksi koealalla, jolla lumipeitteen syvyys oli suurin.

Koealoilta mitattiin myös pohjavesipinnan syvyyden vaihtelu talvikautena 1973–1974. Kullakin koealalla oli kolme pohjavesikaivoa. Pohjavesipinnan syvyyden mittaustekniikkaa on käsitellyt mm. HEIKURAINEN (1971 b, s. 15). Pohjavesipinnan syvyyden vaihtelut koealoittain on esitetty kuvassa 12 (s. 201).

Pohjavesi on ollut avosuolla maanpinnassa koko talven ja jo helmikuussa alkanut lumen sulaminen on nostanut pohjaveden maanpinnan yläpuolelle.

Sulamisen aiheuttama pohjavesipinnan nousu näkyy selvästi myös puustoisella ojittamattomalla rämeellä ja ojitusalueella. Puustoisella rämeellä pohjaveden syvyys on ollut koko talvikauden suurempi kuin avonevalla. Ojitusalueella pohjavesi on ollut tuntuvasti syvemmällä kuin ojittamattomilla koealoilla. Pohjaveden syvyys ei ole muuttunut tarkastelukautena odotetulla tavalla (vrt. kuva 5, s. 193). Poikkeuksellinen pohjavesipinnan syvyyden kehitys on johtunut lumen sulamisesta keskellä talvea.



Kuva 12. Pohjavesipinnan syvyys koealoittain talvella 1973–1974 (ojittamaton avoneva = —, ojittamaton räme = ---- ja ojitettu räme = -.-.-)

Fig. 12. Depth of ground water table by sample plots in the winter 1973–1974 (undrained open swamp = —, undrained pine swamp = ---- and drained pine swamp = -.-.-)

Routakerroksen paksuus on ollut lähes yhtä suuri märimmällä ja kuivimmalla koealalla. Lumen syvyys näillä koealoilla oli niin ikään samaa suuruusluokkaa, joskin ojitusalueen puusto on alkutalvesta estänyt lumipeitteen muodostumista. Ojitusalue onkin alkanut routaantua jonkin verran aikaisemmin kuin avoneva, mikä lienee johtunut pintaturpeen vesipitoisuuseroista. Sään lämpenemisestä johtunut lumien sulaminen ja pohjavesipinnan nousu ovat sulattaneet myös routakerrosta.

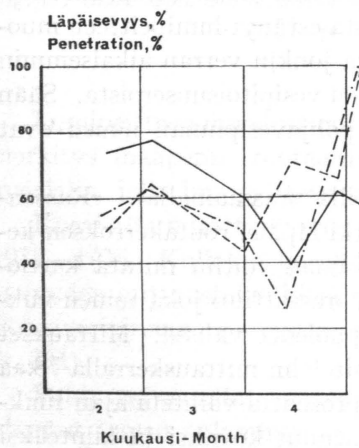
Routakerroksen kiinteyttä mitattiin koealoilla »rassamalla». »Rassamalla» saatiin selville se, kuinka usein rassin kärki läpäisi routakerroksen kevyellä painamisella. Painamisessa käytettyä voimaa voitiin mitata kartio-penetrometrissä olevalla jousiväällä. Koealoja »rassattiin» joka toinen viikko ja nämä mittaukset aloitettiin helmikuun puolessa välissä. Mittaukset tehtiin lumen päältä ja kullakin koealalla kuormitettiin mittauskerralla 78:aa kohtaa. Kuvassa 14 (s. 202) on esitetty läpäisyprosentin vaihtelu ajan funktiona koealoittain. Kun pintaturve on routaantunut kovaksi ja kiinteäksi



Kuva 13. Pohjavesipinnan syvyyttä mitattiin pohjavesikaivoista, joita oli kolme kappaletta kullakin koealalla. Pohjaveden jäätyminen estettiin eristämällä pohjavesikaivo lasivillalla.

Fig. 13. The depth of the ground water table was measured in ground water wells. There were three wells on each sample plot. Freezing of the ground water was prevented by an insulation with glass wool.

eikä rassi tunkeudu kevyellä painamisella pintaturpeen läpi, läpäisyprosentti on 0 % ja vastaavasti kaikkien rassausten mentyä pintaturpeen läpi, on läpäisyprosentti 100 %.



Kuva 14. Routaantuneen pintaturpeen läpäisevyys koealoittain talvella 1973-1974 (ojittamaton avoneva = —, ojittamaton räme = - - - - ja ojitettu räme = - . - . -)

Fig. 14. Penetration of the frozen peat soil by sample plots in the winter 1973-1974 (undrained open swamp = —, undrained pine swamp = - - - - and drained pine swamp = - . - . -)



Kuva 15. Pintaturpeen routakerroksen läpäisevyyttä mitattiin lumen päältä kartiopenetrometrillä. Kuva on otettu ojittamattomalta puustoiselta rämekeosalalta.

Fig. 15. Penetration of the frozen peat layer was measured with a cone penetrometer. This photograph was taken from the undrained pine swamp.

Avonevalla läpäisyprosentti oli suurin helmi- ja maaliskuussa, vaikka routan vahvuus oli keskimäärin n. 5 cm. Kuvasta 12 havaitaan, että avonevan pohjavesipinta on noussut samaan aikaan maanpinnan yläpuolelle lumen sulamisen vuoksi, mikä ilmeisestikin on aiheuttanut routakerroksen muuttumisen hauraaksi. Huhtikuussa avonevan läpäisyprosentti pieneni n. 40 %:iin, mikä johtui lumen nopeasta sulamisesta ja lyhyestä pakkaskaudesta, jonka aikana pintaturve routaantui (vrt. kuvat 9 ja 16).

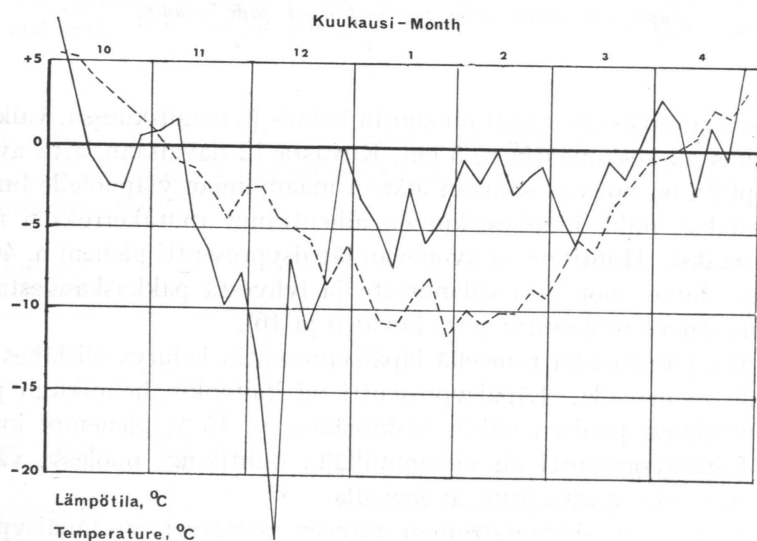
Ojitetulla puustoisella rämeellä läpäisyprosentin kehitys oli lähes samanlainen kuin avonevalla. Läpäisyprosentti oli kuitenkin helmikuun puolesta välistä huhtikuun puoleen väliin keskimäärin n. 15 % pienempi kuin avonevalla. Läpäisyprosentti oli pienimmillään huhtikuun puolella välissä ja ilmeisesti samasta syystä kuin avonevalla.

Harvapuustoisesta ojittamattoman rämeen pintaturpeen läpäisyprosentti on ollut lähes sama kuin ojitetulla rämeellä huhtikuuta lukuun ottamatta. Ojittamattoman rämeen muita koealoja ohuempi routakerros on sulanut lähes kokonaan jo huhtikuussa, mikä on aiheuttanut läpäisyprosentin voimakkaan kasvun jo huhtikuun puolella välissä. Läpäisyprosentin lievä aleneminen

huhtikuun lopussa on johtunut pintaturpeen routaantumisesta (vrt. kuvat 9 ja 14).

Routaantuneen pintaturpeen rassaustulokset osoittavat ensinnäkin sen, että pintaturve ei muodosta yhtenäistä kiinteää kerrosta, kun routakerroksen paksuus on 0...7 cm. Roudan vahvuus ilmeisesti vaihtelee suon pinnanmuotojen mukaan siten, että roudan paksuus on suurimmillaan mätäskohdissa ja pienimmillään painanteissa. Valuvat vedet aiheuttanevat myös routakerroksen paksuudessa vaihtelua. Routakerroksen heterogeenisuus — ainakin silloin kun roudan vahvuus on 0...10 cm — ei ole eduksi, kun sitä tarkastellaan kulkualustana.

Kuvassa 16 on esitetty lisäksi lämpötilan kehitys tarkastelukauden ja kymmenvuotiskauden 1963—1973 aikana. Lämpötilahavainnot on saatu ilmatieteen laitoksen Kuoreveden säähavaintoasemalta, joka sijaitsee n. 12 km:n päässä koealoista. Kuva 16 osoittaa säätilan poikkeuksellisuutta. Poikkeuksellinen sää on vaikuttanut roudan paksuuteen, lumen syvyyteen ja pohjavesipinnan syvyyteen, minkä vuoksi johtopäätösten teko turvemaiden routaantumisilmiöstä on näiden havaintojen perusteella arveluttavaa. Havainnot osoittavat kirjallisuustietojen ohella sen, että turvemaan routaantuminen on erittäin monitahoinen ilmiö. Joka tapauksessa on selvää, että turvemaat saattavat pysyä ilmasto-oloissamme sulina jopa koko talvikauden tai routaantua vain nimeksi.



Kuva 16. Lämpötila talvella 1973—1974 ja kymmenvuotiskauden 1963—1973 keskiarvona (vuosi 1973 = — ja 1963—1973 = ----)

Fig. 16. Temperature in the winter 1973—1974 and during the decade 1963—1973 (year 1973 = — and the decade 1963—1973 = ----)

6. OJAT KULKUESTEINÄ

Ojat muodostavat kulkuesteen. Niiden aiheuttama haitta on pyritty eliminoimaan siten, että hakkuut on ajoitettu ojitustoiminnan yhteyteen. Puutavaran metsäkuljetus on tapahtunut ojalinjoilta kertyneen puutavaran kuljetuksen yhteydessä ennen ojien kaivua (LUKKALA 1940, s. 178, NISKANEN 1949, s. 26, HEIKURAINEN 1971 a, s. 206). Ojitustoiminnassa ei yleensä ole otettu riittävästi huomioon puunkorjuun näkökohtia esim. ojalinjoiden suunnittelussa. Puunkorjuun ja ojituksen asettamat vaatimukset saattavat olla usein myös vastakkaisia.

Ovatko ojat nykyiselle puunkorjuukalustolle ylitsepääsemättömiä esteitä? Kysymykseen ei voitane antaa yleistävää vastausta. Koneen ojanylityskyky riippuu ensinnäkin sen maastokelpoisuudesta ja toisekseen ojan dimensioista. Myös ojanpenkkojen vesipitoisuus ja routaantuneisuus vaikuttavat ajokertojen lukumäärän lisäksi koneen ojanylityskykyyn. Viimeksi mainitun tekijän vaikutus tulee esiin siten, että ensimmäisen ajokerran jälkeen oja yleensä tukkeutuu ja ylityskohta liettyy ajokelvottomaksi.

Mikäli oja ei voida ylittää käytettävissä olevalla korjuukalustolla, on ojien yli rakennettava sillat. Nämä luonnollisesti nostavat korjuukustannuksia. Ojien ylitykseen voidaan ajatella rakennettavaksi myös siirrettäviä rumpurakenteita. Siirrettävää ratkaisua kiinteään verrattuna puoltaisivat useat näkökohdat:

- rumpurakenteen käyttöaika rajoittuu puunkorjuuseen,
- rumpujen asennus on nopeampaa kuin kiinteiden ylityspaikkojen rakentaminen ja
- rumpurakenteita voidaan siirrellä leimikolla tarpeiden mukaan.

Rumpujen rakentamista voidaan puoltaa myös sen vuoksi, että näin vältetään ainakin pahimmat ojien rikkoutumiset. Avohakkuualoilla, joilla kunnostusojitus tulee kyseeseen joka tapauksessa, ojien rikkoutumisella ei kuitenkaan ole merkitystä.

Ojan penkereen kantavuus on usein routaantuneenakin tuntuvasti heikompi kuin saran keskiosan. Tämä johtuu ojan pengerturpeen alhaisesta vesipitoisuudesta saran keskiosaan verrattuna.

On myös esitetty ajatuksia loivien ojaluisien rakentamiseksi ojien ylityskohtiin. Näin vältetään ojapenkereen rikkoutuminen eikä oja muodostu ylitsepääsemättömäksi esteeksi. Kahluupaikkamenetelmästä ojien ylityksessä ei kuitenkaan liene kirjallisia tietoja.

Puunkorjuun kannalta ojitussuunnitelmassa tulisi ottaa huomioon tieverkon sijainti. Ajourat tulee suunnata kohtisuoraan ojiin nähden. Puunkorjuukoneilla tulee tavoittaa jokainen sarka, ettei puutavaran ihmisvoimin suoritettava kantomatka muodostuisi kohtuuttoman pitkäksi. Puutavaran lähikuljetuksessa on voitava kuljettaa ekonomisesti riittävän suuria kuormia

turvealustan heikosta kantavuudesta huolimatta. Lähikuljetusmatkat muodostunevat ojitusaluiden puunkorjuussa keskimäärin pidemmiksi kuin kiennäismailla. Ajomatkojen pidentyminen johtuu siitä, että ajoreitit joudutaan valitsemaan ojalinjosten mukaan.

7. PÄÄTELMÄT

Huonosti kantavat kivennäismaat ja suot ovat aiheuttaneet 1970-luvulla haittaa puunkorjuun lähikuljetuksissa. Vaikeudet ovat ilmenneet siten, että talvileimikoiksi suunniteltuja alueita ei ole päästy hakkaamaan, koska maaperä ei ole routaantunut kuljetuksia kantavaksi odotetulla tavalla. Vaikeudet puunkorjuussa ovat ilmeisesti johtuneet eniten poikkeuksellisista sääolosuhteista. On kuitenkin luultavaa, että myös puunkorjuukoneiden järeytyminen ja kuormien koon kasvaminen ovat omalta osaltaan tuoneet maaperän kantavuuden yhä keskeisemmäksi kulkukelpoisuuteen vaikuttavaksi tekijäksi.

Laajan ojitus- ja lannoitustoiminnan vuoksi hakkuut lisääntyvät ojitusalueilla jo lähitulevaisuudessa merkittävästi. Nykyisin käytössä oleva kehittynein puunkorjuukalusto ei näytä soveltuvan ojitusaluiden puunkorjuuseen, koska koneiden kokonaispainot ja pintapaineet ovat liian suuria turvemaille. Pyörääjoneuvot, jotka ovat ainakin Etelä-Suomessa yleisempiä kuin teläajoneuvot, eivät myöskään sovellu hyvin turvealustalle. Koneellistumisen kehityssuunta osoittaa edelleen sen, että puunkorjuukalusto järeytyy entistäkin ja konetyypit vakioituvat. Kehitys johtaneekin siihen, että on odotettavissa yhä enemmän vaikeuksia huonosti kantavien kulkualustojen puunkorjuussa. Ojitusaluiden puunkorjuuta tulisi tutkia ja siihen soveltuvaa korjuukalustoa kehittää, jotta ojituksella aikaan saatu puusato voitaisiin aikanaan korjata taloudellisesti.

Ojitusaluiden puunkorjuuta suunniteltaessa ei voida luottaa siihen, että routa parantaa turvealustan kantavuutta riittävästi. Turvealustan routaantuminen on kokonaisuudessaan erittäin monitahoinen luonnonilmiö. Ojitusalueen pintaturve routaantuu yleensä jonkin verran syvemmälle kuin ojitamattoman. Ojitusalueen routaantuneen pintaturpeen kantavuus ja kulutuksen kestävyys ovat ilmeisesti kuitenkin keskimäärin pienempiä kuin luonnontilaisella suolla. Tämä johtuu siitä, että ojitusalueen pintaturve on yleensä kuivempaa kuin ojitamattoman suon ja sen lujuusominaisuudet näin ollen ovat pintakerroksen routaannuttua heikommat kuin luonnontilaisella suolla. Routakerroksen paksuutta ei voidakaan sellaisenaan pitää kulkukelpoisuuden indikaattorina.

Ojitusalueen pintaturpeen kantavuutta talvikauden puunkorjuuta ajatellen voitaneekin parantaa nostamalla pohjaveden pintaa keinotekoisesti syksyllä ennen pakkasten tuloa.

Alkupalven säätilan kehittymisellä on usein ratkaiseva merkitys turpeen routaantumiseen. Turpeen routaannuttua sen lämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus ja lämpötilanjohtavuus muuttuvat oleellisesti. Edellisen vuoksi jo routaantuneen turpeen routaantumisen kehitys riippuu ratkaisevasti siitä, kuinka pitkään maa on alttiina pakkasille ennen lämpöä eristävän lumipeitteen satamista.

Puusto vaikuttaa turpeen routaantumiseen siten, että ojitusalueen useinkin tiheä puusto estää lumipeitteen muodostumista etenkin alkupalvisin. Ojitetulla puustoisella alueella pintaturve on näin ollen pitempään alttiina pakkasille kuin puuttomalla alueella. Mikäli ojitusalueen pintaturpeen kantavuutta halutaan parantaa, tulisi hakkuut aloittaa vasta ensilumen satamisen jälkeen. Lumi ja hakkuutähteet eivät näin menetellen ole suojaamassa turpeen routaantumista. Hakkuutähteet on lisäksi syytä poistaa ojitusaluiden palstateiltä routaantumisen edistämiseksi.

Ojien ylitys aiheuttaa myös oman ongelmansa ojitusaluiden puunkorjuussa. Ojien penkat routaantuvat yleensä syvempään kuin saran keskiosa, mutta routaantuneen penkan kantavuus on kuitenkin huono sen alhaisen kosteuspiitoisuuden vuoksi.

Talvella 1973—1974 tehdyt mittaukset Etelä-Suomessa osoittavat, että tavallista lämpimämpinä talvina soiden routaantuminen on vähäistä. Routaantuneen pintaturpeen »rassaukset» osoittavat niin ikään, että vähäinen routakerros ei ole yhtenäinen ja että roudan paksuus vaihtelee ilmeisesti suon mikromuotojen mukaan. Kulkukelpoisuuden kannalta taas on tärkeätä, että kulkualustan kantavuus ei vaihtelee laajoissa rajoissa. Kulkualustan kantavuuden heikoin kohta on yleensä ratkaiseva kuljetuksen onnistumiselle.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- AGER, B. 1963. Preparering av virkesavlägg på is. Summary: Preparation of timber landings on ice. Stud. For. Suec. Nr. 1.
- EEVASTI, S. — HEIKINHEIMO, L. — KUUSELA, K. & MÄKINEN, V. 1969. Suomen metsä- ja puutalouden tuotantomahdollisuudet vuosina 1970—2015. Talousneuvosto.
- GARDEMEISTER, R. — KORHONEN, K.-H. & ARHIPAINEN, E. 1968. Teoksessa maa- ja vesirakennus (toim.) MUSTONEN, S. Suomen rakennusinsinöörien liitto. Helsinki.
- HAAJA, R. & LAMPEN, S. 1970. Teli-Lokkeri metsätraktori. Metsätehon katsaus N:o 24.
- HAKKARAINEN, A. 1948. Tilapäisten talviautoteiden käytöstä talvella 1947—48 saaduista kokemuksista. Metsäteho tied. N:o 17.
- » — 1949 a. Maan routaantumisen tilapäisten talviautoteiden rakentamisen kannalta. Metsäteknologian pro gradu-työ maatalous-metsätieteiden kandidaatin tutkintoa varten. Konekirjoite.
- » — 1949 b. Routa talviteiden rakentajana. Metsäteho tied. N:o 29.
- HEIKURAINEN, L. 1954. Havaintoja metsäojituksen vaikutuksesta turpeen lämpöalouteen. Metsätaloudellinen aikakauslehti N:o 1.
- » — 1958. Sekametsiköiden juuristoista ojitetulla suolla. Referat: Der Wurzelbau in Mischwäldern auf entwässerten Moorböden. Acta For. Fenn. 67.2.
- » — 1960. Metsäojitus ja sen perusteet. Porvoo—Helsinki.
- » — 1961 a. Metsäojituksen vaikutuksesta puuston kasvuun ja poistumaan. Summary: The influence of forest drainage on growth and removal in Finland. Acta For. Fenn. 71.
- » — 1961 b. Suon pinnan painuminen ojituksen vaikutuksesta. Suo N:o 1.
- » — 1967. Hakkuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen. Summary: On the influence of cutting on the water economy of drained peat lands. Acta For. Fenn. 82.
- » — 1971 a. Metsäojituksen alkeet. Ylioppilastuki r.y. Helsinki.
- » — 1971 b. Pohjavesipinta ja sen mittaaminen ojitetuilla soilla. Summary: Ground water table in drained peat soils and its measurement. Acta For. Fenn. 113.
- » — — KUUSELA, K. — LINNAMIES, O. & NYSSÖNEN, A. 1961. Metsätalouden suunnittelukomitean mietintö, Liite 1. Metsiemme hakkuumahdollisuudet. Pitkän ajan tarkastelua. Silva Fenn. 110.
- » — & SEPPÄLÄ, K. 1963. Kuivatuksen tehokkuus ja turpeen lämpöalous. Acta For. Fenn. 76.
- HELENELUND, K. V. 1971. Pohjarakennus ja maarakennusmekaniikka I. Geotekniikka. Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta. Moniste N:o 137. Otaniemi.
- HENMAN, D. W. 163. Forest Drainage. Forestry commission research branch paper N:o 26. London.
- HUIKARI, O. 1958. Metsäojituksen koneellistamisesta. Referat: Über die Mechanisierung der Waldentwässerung. Commun. Inst. For. Fenn. 49.7.
- » — — PAARLAHTI, K. — PAAVILAINEN, E. & RAVELA, H. 1966. Sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutuksesta suon vesitalouteen ja valuntaan. Summary: On the effect of strip-width and ditch-depth on water economy and runoff on a peat soil. Commun. Inst. For. Fenn. 61.8.
- HYPÖNEN, M. 1975. Tutkimus Tehdaspuu Oy:n talviteiden käytöstä talvikautena 1973/74 ja niiden korvaamisesta juontomatkaa pidentämällä ja kesäteitä rakentamalla. Metsätalouden laudaturtyö metsätutkintoa varten. Konekirjoite.
- JUUSELA, T. — KAUNISTO, S. & MUSTONEN, S. 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. Summary: On factors affecting evapotranspiration from peat. Commun. Inst. For. Fenn. 67.1.
- KALELA, E. 1946. Rämemänniköiden uudistamisen perusteista. Metsätaloudellinen aikakauslehti N:o 1.
- KEINONEN, L. 1961. Puheenvuoro Suomen Maantieteellisen Seuran keskustelutilaisuudessa routailmiöistä. Terra N:o 4.
- KELTIKANGAS, M. & SEPPÄLÄ, K. 1973. Metsäojituksen, metsänlannoituksen ja metsityksen edullisuuden alueittainen vaihtelu. Summary: Regional variations in the profitability of forest drainage, forest fertilization and afforestation. Helsingin yliopiston metsätalouden liiketieteen laitos. Julkaisuja N:o 11.
- KIVINEN, E. 1948. Suotiede. Porvoo.
- KLEMELÄ, O. 1956. Kokemuksia metsäojien aurauksesta valtionmailla. Suo N:o 2.
- KRAUSS, G. — KOEHLER, W. & ORTLOFF, M. 1930. Bodenfrost- und Bodenfeuchtigkeitsmessungen 1929. Tharandter Forstliches Jahrbuch.
- KUUSELA, K. 1974. Metsätalous teollistuvassa Suomessa. SITRAn julkaisusarja B n:o 12. Helsinki.
- LUKKALA, O. J. 1940. Metsämiehen suo-oppi. Helsinki.
- » — 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. Commun. Inst. For. Fenn. 34.3.
- » — 1949. Soiden turvekerroksen painuminen ojituksen vaikutuksesta. Commun. Inst. For. Fenn. 37.1.
- Maa- ja vesirakennus 1968. Toim. Mustonen, S. Vammala 1968.
- MACFARLANE, I. 1969. Muskeg engineering handbook. Toronto.
- Menneen talven lumilta, 1974. Metsäkoneurakoitsija N:o 4.
- MULTAMÄKI, S. E. 1942. Kuusen taimien paletuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittymiseen. Referat: Das Erfrieren der Fichtenpflanzen in seiner Wirkung auf die Bewaldung der entwässerten Moore. Acta For. Fenn. 51.
- » — 1961. Puheenvuoro Suomen Maantieteellisen Seuran keskustelutilaisuudessa routailmiöistä. Terra N:o 4.
- MUSTONEN, S. 1965. Ilmasto- ja maastotekijöiden vaikutuksesta lumen vesiarvoon ja roudan syvyyteen. Summary: Effect of meteorologic and terrain factors on water equivalent of snow cover and on frost depth. Acta For. Fenn. 79.1.
- » — & SEUNA, P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. Summary: Influence of forest draining on the hydrology of peatlands. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja N:o 2.
- NILSSON, P.-E. & HYPPEL, A. 1968. Studier över rötangrepp i särskadornas hos gran. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. häfte 8.
- NISKANEN, M. 1949. Hakkuu- ja ajotöiden järjestelystä soilla. Metsäteknologian tutkielma. Konekirjoite.
- NUMMINEN, E. 1963. Metsäojien auraus talvella. Maansiirto N:o 1.
- PAAVILAINEN, E. 1966. On the relationships between the root systems of white birch and norway spruce and the ground water table. Selostus: Hieskoivun ja kuusen juuriston suhteesta pohjavesipintaan mustikkakorvessa. Commun. Inst. For. Fenn. 62.1.
- PELKONEN, E. 1975. Vuoden eri aikoina korkealla olevan pohjaveden vaikutus männyn kasvuun. Käsikirjoitus. Helsinki.
- PELTON, W. L. — CAMPBELL, C. A. & NICHOLAICHUK, W. 1968. The influence of freezing and thawing on soil moisture. Proceedings of hydrology symposium No 6 held at University of Saskatchewan on 15 & 16 November 1967.
- PUOSKARI, O. 1949. Tutkimuksia tukkien autokuljetuksesta tilapäisellä talviautotiellä Saarijärvellä talvella 1947—48. Pro gradu-työ maat. metsät. kandidaatin tutkintoa varten. Konekirjoite.

- PUTKISTO, K. 1950. Moottoritalviteistä ja niiden rakentamisesta. Metsäteho tied. N:o 52.
 — » — 1952. Polannetie. Summary: The »packed-snow» road. Metsäteho tied. N:o 69.
- Puunkorjuun kehitysennuste 1975—1984. Esitelmätilaisuus Rovaniemellä 1974-11-14. Metsäteho. Moniste.
- Puut ajetaan metsästä pakkokeinoin. Heikot tiet eivät kanna koneita. 16. 1. 1975. Metsälehti N:o 2.
- PÄIVÄNEN, J. 1973. Harvennuksen vaikutus lumi- ja routasuhteisiin nuorena turvemaan männikössä. Summary: The effect of thinning on the snow cover and soil frost conditions in a young scots pine stand on drained peat. Silva Fenn. 7 (2): 114—127.
- RANTAPUU, K. 1970. Ojitus ja puun korjuu. Maanparannussymposiumi. Helsinki 20—21. 10. 1970.
- RAPELI, T. 1969. Maan lämpötilan mittauksista Sodankylässä. Geofysiikan päivät 18—19. 6. 1968. Toim. Tuomikoski. Oulu.
- RONGE, E. 1928. Kort redogörelse för vissa skogliga försök verkställda under åren 1914—28 å Kramfors Aktiebolags skogar, och resultatens praktiska tillämpning i skogsbruket. Norrl. Skogs. Förb. Tidskr. för år 1928, ss. 308—356.
- SEUNA, P. 1971. Om bestämning av snöns vattenekvivalent ur snömättningsvärden på små hydrologiska områden. Snötaxering, Nordiskt expertmöte, Lammi 21—23. 3. 1971.
- SOVERI, U. R. & JOHANSSON, S. 1966. Havaintoja lumesta raivatun maan routaantumisesta ja sulamisesta Suomessa v. 1958—1964. Summary: Observations on freezing and thawing of soil cleared of snow in Finland in 1958—1964. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, julkaisu 107.
- STOECKELER, J. H. 1965. Frost penetration and trafficability in two peats as affected by snow-pack and surface mosses. Research note LS-70. Lake States Forest Experiment Station, U.S. Department of Agriculture.
- TROEDSSON, T. & NYKVIST, N. 1973. Marklära och markvård. Stockholm.
- VUORISTO, I. & HALLENBERG, H. 1937. Talviajotiet, niiden rakentaminen ja hoito. Porvoo—Helsinki.
- WILLIS, W. O., CARLSON, C. W., ALESSI, J. & HAAS, H. J. 1961. Depth of freezing and spring runoff as related to soilmoisture level. Can. J. Soil Sci. 41: 115—123.
- YLI-VAKKURI, P. 1960. Metsiköiden routa- ja lumisuhteista. Summary: Snow and frozen soil conditions in the forest. Acta For. Fenn. 71.

SUMMARY:

ON THE TRAFFICABILITY OF DRAINED PEATLANDS IN HARVESTING

During the next decades there will be a marked increase in the allowable cut as a result from forest improvement activities such as peatland drainage and application of fertilizer to the drained areas. As a matter of fact, the first thinning cuttings to be carried out in drained forests are gaining actuality in these very years.

On the other hand, the direction of development of mechanization in logging during the next years to come seems clear. In short-distance haulage the use of forwarders will increase. It has been estimated that some 50 % of all timber will be harvested using multi-purpose machines after ten years. Development seems to proceed toward heavy mechanized logging systems.

This study, which is based on literature and some own observations, deals with logging conditions in drained peatland areas with special reference to the suitability of heavy logging machines for use in such terrain. Stress is given to the freezing of the topmost peat layer as well as to the bearing capacity of the frozen peat soil.

Freezing of the soil in a drained area is dependent on many factors. Of the greatest importance for the soil frost formation during the wintertime are the weather conditions prevailing in the early winter. In the case of drained peatland areas the factors influencing soil freezing are completely different from those regulating the freezing of natural peat soils. In drained areas the frost penetrates deeper on the average than in virgin peat soils. It seems, however, that the topmost soil layer does not freeze uniformly in drained peatlands, and this must be considered a drawback with regard to the bearing capacity of the soil. Generally speaking, the bearing capacity of a drained peat soil is lower than that of undrained peat, and this is due to the lower water content of the former.

On the basis of the results obtained from the study the conclusion was made that heavy logging machines are probably not fitted for use in drainage areas on peatland even if the average soil frost values recored would suggest it. Moreover, because of their extremely superficial root systems, peatland forests are exposed to damages by heavy machines in thinning operations.