

METSÄTEHO

SUOMEN PUUNJALOSTUSTEOLLISUUDEN KESKUSLIITON METSÄTYÖNTUTKIMUSTOIMISTO
Forest Work Studies Section of the Central Association of Finnish Woodworking Industries

Julkaisu n:o 19 — Publication no. 19

MAAN ROUTAANTUMISESTA
TILAPÄISTEN TALVIAUTOTEIDEN RAKEN-
TAMISEN KANNALTA

AULIS E. HAKKARAINEN

On Freezing of Soil with a View to Building of
Temporary Winter Truck Roads

Summary in English

HELSINKI 1949

JULKAISU n:o 19 - PUBLICATION no. 19

MAAN ROUTAANTUMISESTA TILA-
PÄISTEN TALVIAUTOTEIDEN
RAKENTAMISEN KANNALTA

Aulis E. Hakkarainen

On Freezing of Soil with a View to Building of
Temporary Winter Truck Roads

Summary in English

EXHIBIT NO. 12 - PUBLICATION NO. 12

BY THE COURT IN THE MATTER OF THE ESTATE OF JAMES H. HARRIS, DECEASED

ON REHEARING OF CASE NO. 12 IN THE MATTER OF THE ESTATE OF JAMES H. HARRIS, DECEASED

ORDER OF THE COURT

DECEMBER 1952

A i k u s a n a t

Tutkimus liittyy Metsätehon puutavarankuljetuksia koskeviin rationalisoimistutkimuksiin. Tutkimussuunnitelman laati julkaisun kirjoittaja, joka on myös valvonut aineiston keruuta ja suorittanut sen käsittelyn. Lahti Osakeyhtiö, joka suurella mielenkiinnolla on osallistunut kaikkiin Metsätehon rationalisoimistutkimuksiin ja joka oma-aloitteisesti suoritti talvella 1947-48 havaintoja roudan muodostumisesta talviautotiellä, on antanut havaintoaineistonsa Metsätehon käytettäväksi.

Professori P a a v o A r o on tarkastanut tutkimus- ja aineiston käsittelysuunnitelman. Professorit J. K e r ä n e n ja E. J. L e h t o ovat antaneet ensiarvoisen tärkeitä ohjeita aineistoa käsiteltäessä. Laboratoriokokeet on suoritettu Valtion Teknillisellä Tutkimuslaitoksella fil. maist. N i i l o O k s a l a n johdolla. Dipl. ins. M a u r i P e l k k i k a n g a s on ohjannut ja tarkastanut roudan kantokykyä turvemailla koskevat laskutoimitukset.

Professori E i n o S a a r i ja Metsätehon toiminnanjohtaja, metsänhoitaja, maat. ja metsät. kand. J a a k k o V ö r y ovat hyväntahtoisesti tarkastaneet käsikirjoituksen antaen monia sangen arvokkaita ohjeita.

Haluan ilmituoda kiitokseni kaikille, jotka ovat vaikuttaneet tutkimuksen onnistumiseen. Samalla kiitän kaikkia niitä Metsätehon virkailijoita, jotka tavalla tai toisella ovat auttaneet minua työtä suorittaessani.

Tekijä.

S i s ä l l y s

	Sivu
Alkusanat	2
Johdanto	4
Maan routaantuminen	6
Roudan käsite	"
Roudan muodostumiseen vaikuttavat tekijät	8
Luontaiset	"
Ihmisen toimenpiteet, jotka vaikuttavat maan routaan-	
tumiseen	22
Roudan sulaminen	"
Roudan syvyyden teoreettinen laskeminen	25
Uutta havaintoaineistoa	26
Aineisto	"
Tutkimuksen tulokset	29
Roudan muodostuminen talviautotieillä ja siihen vaikut-	
tavat tekijät	"
Maan lämpötila	38
Koealoilla suoritettut havainnot	42
Laboratoriokokeet	46
Yhdistelmä	51
Kirjallisuutta	53
Summary in English	56

J o h d a n t o

Autojen rakenteen parantuessa ja tienrakennustekniikan kehityksessä on autojen käyttö puutavaran kuljetuksissa tullut maassamme varsin huomattavaksi tekijäksi. Hevoskuljetuksia ja viime aikoina usein hankaliksi ja kalliiksi muodostuneita latvavesiuittoa ja on pyritty entistä enemmän korvaamaan autokuljetuksilla. Tällöin on tullut ajankohtaiseksi tilapäisten, tavallisesti sulan maan aikana raivattujen, vain talvisin liikennöitävien metsäauto-ten rakentaminen. Koska tällaisen tien kanto- ja kestävyys riippuvat ratkaisevasti maan pinnan jäätymisestä eli routaantumisesta, on tärkeää tuntea, mitkä tekijät vaikuttavat routaantumiseen ja miten sitä voidaan näiden teiden rakentamista silmällä pitäen edistää. Maan pinnan jäätymistä käsittelevä kirjallisuus ei anna tähän kysymykseen suoranaista vastausta, sillä ko. kirjallisuudessa käsitellään routaantuminen vahingollisena ilmiönä. Tilapäisten talviautoteiden rakentamisen kannalta roudan muodostuminen on ensiarvoisen tärkeää, sillä maankamara kovenee jäätyessään. Maalajit, jotka ovat kuivassa ja sulassa tilassa niin hauraita, etteivät niistä irroitettut lohkat pysy koossa, muodostavat jäätyneinä ollessaan kiinteän kerroksen. Kosteat ja pehmeät maat routa tekee kulkukelpoisiksi. Elleivät luonnonolosuhteet olisi maassamme sellaiset, että maan ylimmät pintakerrokset jäätyvät kylmänä vuodenaikana, olisi tilapäisten talviautoteiden rakentaminen etenkin turvemaille teknillisesti hankalaa ja taloudellisesti kannattamatonta.

Maan pinnan jäätymistä meikäläisissä oloissa ovat selvittelleet ennen kaikkea K e r ä n e n ja K o k k o n e n. Ensin mainittu on tutkinut maan pintaosien lämpötilan muutoksia, roudan paksuutta maan eri osissa ja sen fysikaalisia ominaisuuksia. Jälkimmäinen on selvittänyt erittäin havainnollisesti roudan rakennetta eri olosuhteissa. S i m o l a on tutkinut Maatalouskoelaitoksella roudan sulamista ja roudan muodostumista hiuta- ja savimaassa sekä turvesuossa. J u u s e l a käsittelee väitöskirjassaan kuivatuksen vaikutusta maan vesipitoisuuteen, routaantumiseen ja maan lämpötilaan.

Ulkomaisesta alan kirjallisuudesta mainittakoon ruotsalaisen B e s k o w i n monet julkaisut, joissa roudan muodostumista ja routimisilmiötä on tarkasteltu etupäässä maanteiden ja rautateiden kannalta.

Roudan käsite

Kylmän vuodenaikana maan pinnalta vapautuvan lämpöenergian johdosta maan pintakerrokset jäähdyvät, niin että ylimmissä pintakerroksissa oleva vesi jäätyy. Roualla tarkoitetaan maata, joka on kovettunut siinä olevan veden jäätyessä (B e s k o w, s. 105). Tarkasteltavassa jäähdytyksen kerroksista havaitaan, että routa ole kaikkialla samanlaista. A s t o n s e n (s. 152) mukaan maahan oli routa esiintynyt maan pinnalla ns. roustaerä ja maan sisällä varsinaisena maastona. Rousta on muodostunut pinnallaan pystysuorista, yhteen kasvaneista jäähdyksistä, joiden päällä on aina ollut kerros jään mukana kohoanutta maata (B e s k o w 1935, s. 14 ja K o k k o n e n, s. 26). Roustakerroksen alla oleva maa on sola (B e s k o w 1935, s. 14). B e s k o w mainitsee roustaen joksikin olevan kerroksellista, jolloin kerroksien välillä on usein maata. Kerrostaminen johtuu ilmaan lämpötilan vaihtelusta. Roustetta voi esiintyä kalliilla ja syväillä kosteilla, kasvipeitteisillä niirialueilla, joskin se hienorakenteisissa maissa on hyvin ohut tai puuttuu kokonaan (B e s k o w 1935, s. 15). Koska roustakerrosta tavataan vain mainittuina vuodenaikoina, ja sen paksuus on ainostaan muuttava (Tulvakuuittien mittaus, s. 59), ei sillä ole suurta merkitystä tilapäisten talvikuormien kannalta. Lämpöenergian jatkuvassa maan pinnalla alkanut lämpötilan syntyä varsinaista routaa, jolloin roustaen muodostuminen lakkaa (B e s k o w 1935, s. 16).

K o k k o n e n (s. 26) jakaa roudan suuruusluokkiin:

1. onteloita,
2. massiivista,
3. kerrallista.

Veden jäätyessä maassa olevien huokosten seinäville muodostuu onteloita routaa. Huokosten seinäville muodostuneen jäähdyksen paksuus vaihtelee paljon. Joskus se voi olla 12-14 cm paksu, mutta joskus taas vain 1 mm. Onteloinen routa on rangen heterogeenista.

Kun osa vedestä jäätyy maanhin kasteen yläpuolelle, syntyy kasteesta massiivista, melkein homogeenista routaa. Maanhin kasteen

Maan routaantumisen

Roudan käsite

Kylmänä vuodenaikana maan pinnalta avaruuteen tapahtuvan lämmönsäteilyn johdosta maan pintakerrokset jäähtyvät, niin että ylimmissä pintakerroksissa oleva vesi jäätyy. Roudalla tarkoitetaan maata, joka on kovettunut siinä olevan veden jäätyessä (R a m s a y, s. 105). Tarkasteltaessa jäätynyttä maakerrosta havaitaan, ettei routa ole kaikkialla samanlaista. A a l t o s e n (s. 152) mukaan maajää eli routa esiintyy maan pinnalla ns. rousteena ja maan sisässä varsinaisena maaroutana. Rouste on muodostunut pääasiassa pystysuorista, yhteen kasvaneista jääneulasista, joiden päällä on aina ohut kerros jään mukana kohonnutta maata (B e s k o w 1935, s. 14 ja K o k k o n e n, s. 26). Roustekerroksen alla oleva maa on sula (B e s k o w 1935, s. 14). B e s k o w mainitsee rousteen joskus olevan kerroksellista, jolloin kerroksien välissä on usein maata. Kerrostuminen johtuu ilman lämpötilan vaihteluista. Roustetta voi esiintyä keväällä ja syksyllä kosteissa, kasvipeitteettömissä mineraalimaissa, joskin se hienorakeisissa maissa on hyvin ohut tai puuttuu kokonaan (B e s k o w 1935, s. 15). Koska roustekerrosta tavataan vain mainittuina vuodenaikoina, ja sen paksuus on ainoastaan muutamia cm (Tulvakomitean mietintö, s. 89), ei sillä ole suurtakaan merkitystä tilapäisten talviautoteiden kannalta. Lämmönsäteilyn jatkuessa maan pinnalta alkaa vähitellen syntyä varsinaista routaa, jolloin rousteen muodostuminen lakkaa (B e s k o w 1935, s. 16).

K o k k o n e n (s. 26) jakaa roudan seuraavasti:

1. onteloinen,
2. massiivinen,
3. kerrallinen.

Veden jäätyessä maassa olevien huokosten seinämille muodostuu onteloista routaa. Huokosten seinämille muodostuneen jääkerroksen paksuus vaihtelee paljon. Joskus se voi olla 12-14 mm paksu, mutta joskus taas vain 1 mm. Onteloinen routa on sangen heterogeenista.

Kun osa vedestä jäätyy maahiukkasten ympärille, syntyy kauttaaltaan massiivista, melkein homogeenista routaa. Maahiukkasten

ympärille jäänyt vesikerros on hyvin ohut, 0.1 mm.

Kerrallisessa roudassa vesi on jäänyt vaakasuoriin kerroksiin. Kerrokset voivat olla joko toistensa yhteydessä tai erillään, ja niiden välimatka vaihtelee. Kerroksien välissä oleva maa jäätyy massiivisesti.

Routaa voi esiintyä kaikissa maalajeissa. Maan rakenne ja vesipitoisuus määräävät, minkälaista routaa syntyy. Ontoloinen muoto tavataan etupäässä muokatuissa, löyhärakenteisissa maissa. Kerrallista routaa muodostuu siellä, missä maa on tasajakoista tai taiseisesti murarakeista, massiivista esiintyy vain tasajakoisessa maassa. Kullekin maalajille ominaisen vesipitoisuuden vallitessa vesi jäätyy maahiukkasten ympärille, jolloin muodostuu massiivista routaa. Jos vettä on runsaammin kuin tämä määrä, syntyy kerrallista routaa.

B e s k o w (1935, s. 12 js.) ryhmittelee puolestaan roudan seuraavasti:

1. homogeeninen,
2. heterogeeninen.

Veden jäätyessä karkeajakoisten maalajien huokosten sisällä muodostuu aina homogeenista routaa. Sitä tavataan myös hienojakoisissa maissa. Heterogeenisessa roudassa osa vedestä on jäänyt huokosten ulkopuolella muodoltaan vaihteleviksi kerroksiksi. Muu osa vedestä voi jäätyä huokosten sisässä tai jäädä jäätymättä. Kuta hienorakeisempaa maa on ja kuta alhaisempi on jäätymispiste, sitä suurempi osa vedestä jää jäätymättä. Maan raesuuruus, jäätymisnopeus, maan kuormitus ja vesipitoisuus määräävät minkälaista routaa syntyy. Savimaassa jääkerrokset ovat verraten paksuja ja niitä on harvassa. Maan muuttuessa karkeammaksi ne tulevat ohuemmiksi ja epäselvemmiksi, kunnes raesuuruuden ollessa 0.06-0.1 jääkerroksia ei enää esiinny, vaan maa jäätyy homogeenisesti. Koska tilapäisten talviautoteiden kannalta on tärkeintä koko jäänyt maakerros, ei em. routalajeihin puututa yksityiskohtaisesti.

Roudan muodostumiseen vaikuttavat tekijät

Luentaisat

Maan pinnan lämpötila, joka roudan muodostumisessa on määräävin, on useiden tekijöiden vaikutuksen yhteistulos. Maan pääasiallisena lämmönlähteenä on auringon säteily. Angervo - Leiviskä (s. 42) mukaan auringon säteilyn tarkimpana arvona ilmakehän rajalla pidetään nykyään $1.94 \text{ gcal/cm}^2/\text{min}$. Tämä arvo ei ole aivan muuttumaton, vaan se vaihtelee hieman keskiarvonsa molemmiin puolin. Maan pinnalle tulevan säteilyn voimakkuus riippuu siitä kulmasta, jossa säteily kohtaa maan pinnan, ja siitä, kuinka kauan säteilyä kestää (Keränen 1929, s. 169). Kuten pienemmässä kulmassa säteily kohtaa maan pinnan, sitä heikompaa se on. Luonnollisestikin säteilyajan lyhentyessä maan saama lämpömäärä pienenee. Auringon säteilykulma ja säteilyajan pituus vaihtelevat vuoden mittaan maan ellipsimäisen kiertoradan vuoksi (Keränen 1929, s. 171). Maan pinta ei todellisuudessa saa kokonaan tätä suoranaista säteilyn määrää. Osa säteilyn energiasta imeytyy ilman hiukkasiin, osa heijastuu takaisin avaruuteen, ja osa hajautuu ilmakehään heijastumalla ilman hiukkasista kaikille tahoille kuten valonsäteet. Tämä ns. diffuusi heijastuminen lähettää säteilyä takaisin avaruuteen, mutta myös maahan ilmakehän läpi pääsevän säteilyn lisäksi. Säteilyn heijastumista tapahtuu ilmassa erikoisesti pilvistä ja paksuimmasta sumusta. Keräsen (1929, s. 173) mukaan auringon säteiden imeytyminen on säteilyn voimakkuuden vähenemistä siten, että määrätyt lämpöaallot, korkeimmissa kerroksissa ultraviolettia ja alemmissa ultrapunaiset säteet, sammuvat. Keskimäärin katsotaan kaikesta lyhytaaltosäteilystä saapuvan maan pinnalle 43 %, josta 27 % tulee suoraan ilmakehän läpi, ja 16 % heijastuu ilmakehän hiukkasista. Ilmakehään ja pilviin imeytyy säteilyä 15 %. Lopuosa heijastuu takaisin avaruuteen, 33 % maan pinnalta ja pilvistä, 9 % ilmakehän hiukkasista (Angervo - Leiviskä, s. 43).

Kun ylhäältä tuleva säteily kohtaa maan pinnan, osa lämpöä imeytyy maahan kohottaen sen lämpötilaa, osa heijastuu takaisin avaruuteen, ja osa kuluu kosteassa maassa olevan veden haihduttamiseen ja lumen sulamiseen (Keränen 1929, ss. 179-187).

Maan lämpötaloudessa näyttelee lämmön säteily maan pinnalta ja erilaisilta maapeitteiltä huomattavaa osaa, sillä ilman alempien, maata lähellä olevien kerrosten lämpeneminen tapahtuu etupäässä maan pinnan lämpenemisen vaikutuksesta (A n g e r v o - L e i - v i s k ä, s. 44). Tällöin ilman lämpötilan laskiessa lämmön säteily maan pinnalta voimistuu, ja maa jäähtyy. Tämä säteily riippuu ilmassa olevasta vesihöyryn määrästä ja maan pinnan lämpötilasta (K e r ä n e n 1929, s. 179 js.), sillä vesihöyry estää lämmön säteilyä maan pinnalta avaruuteen. Säteily on siten voimakkainta, kun taivas on täysin pilvetön, ilma kirkas, ja maan pinnan lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin ilman maata lähellä olevien kerrosten lämpötila. Å n g s t r ö m i n (s. 530) mukaan voidaan tämän säteilyn kokonaismäärä vuoden aikana maapallon eri osissa ilmoittaa kaavalla:

$$R = \frac{T^4}{293^4} (0.123 + 0.158 \times 10^{-0.071 \varrho})$$

T = absoluuttinen lämpötila ja ϱ = havaintopaikan kosteuspitoisuus.

Koska vesihöyry ja pilvet vähentävät tätä lämmön säteilyä, yön ja päivän lämpötilaerot ovat maan pinnalla pilvisellä säällä vähäiset. K e r ä n e n (1920, s. 103) on Sodankylässä hiekkamaalla suorittamissaan mittauksissa havainnut lämpötilaerojen klo 8 ja klo 14 välillä kirkkaalla säällä olevan 0.8°C , puolikirkkaalla säällä 0.6°C , mutta pilvisellä säällä vain $0.2-0.3^{\circ}\text{C}$.

Jonkin verran lämpöä syntyy maassa myös orgaanisten jätteiden hapettuaessa ja kuivan maan kostuessa (A a l t o n e n, s. 143). Maan sisäosat ovat pintaosia lämpimämpiä, ja maan sisästä virtaa lämpöä maan pinnalle. C a j a n d e r i n (s. 4) mukaan tällä maapallon sisäisellä lämmöllä ei ole sanottavaa merkitystä maan pintaosien lämpötilaan. Se riippuu siis ensi sijassa ilman lämpötilasta, maan pinnalle tulevasta säteilystä ja ennen kaikkea siitä, missä määrin maan pinnalta tapahtuu lämmön säteilyä avaruuteen. Jotta routaa yleensä voisi muodostua, tulee maan pinnalta poistuvien lämpömäärien olla maan pinnalle virtaavia lämpömääriä suurempia.

Maan pinnan lämpötilan laskiessa pysyvästi pitkäksi aikaa 0°C alapuolelle maassa oleva vesi alkaa jäätymä. Roudan muodostuminen edellyttää maassa määrättyä vesipitoisuutta, sillä absoluuttisen

kuihvassa maassa ei tavata routaa (K e r ä n e n 1929, s. 257). B e s k o w i n (1935, s. 39) mukaan jäätyy ensin maaonteloissa oleva vapaa vesi. "Jäätymispisteen alentuminen huokosten keskuk- sissa on kääntäen verrannollinen keskimääräiseen rakeen halkaisi- jan neliöjuureen" (B e s k o w, 1935, s. 41).

$$t = c \times \sqrt{\frac{1}{d}}$$

t = jäätymispisteen alentuminen $^{\circ}\text{C}$

c = vakio 0.0056

d = rakeen halkaisija mm

$\frac{1}{d}$ = ominaispinta U , jolloin kaava saa muodon $t = c \times \sqrt{U}$

Kuta hienojakoisempaa maa on, sitä alhaisempi on veden jäätymispiste. Tämä koskee myös maassa olevan sidotun veden jäätymistä, sillä adsorptio- ja kapillaarivesi ovat routaantuvassa maassa molekyyläristen voimien vaikutuksen alaisia, mikä alentaa jäätymispistettä (B e s k o w 1935, s. 39). Roudan muodostumisen alkamiseen tarvittava lämpötila on siis sitä alhaisempi, mitä hienojakoisempaa maa on. Esim. karkeassa hiekassa jäätymispiste vaihtelee $-0.5 - 0^{\circ}\text{C}$, kevyessä savessa se on n. -0.5°C (B e s k o w 1929, s. 8). B r e n n e r i n (s. 113 js.) mukaan voi aitosavessa jäätymispiste olla -22°C . Jos maassa on halkeamia, on veden jäätymispiste niissä pienempi kuin itse maamassassa, koska molekyyläriset jännitykset halkeamissa ovat vähäisiä (B e s k o w 1935, s. 41). Veden jäätymisen alkaa niin muodoin tällaisesta paikasta. Koska veden jäätymisellä on räjäyttävä vaikutus, halkeama tai rako laajenee ulospäin sillä seurauksella, että jäätymistä jatkuu näin syntyneissä uusissa halkeamissa, jotka siten edelleen kasvavat. B e s k o w (1935, s. 38 js.) mainitsee kapillaarisesti kyllästetyssä maassa jäätymispisteen pysyvän alussa melkein konstanttina, mutta jäätymisen edistyessä se alenee niin, että loppuosa vedestä saattaa jäätymä huomattavasti alhaisemmassa lämpötilassa. Myös maanesteiden elektrolyyttipitoisuus vaikuttaa jäätymispistettä alentavasti (J u u s e l a 1941, s. 81).

Roudan tunkeutumista alaspäin hidastaa syksyllä se lämmön virtaus, jota tapahtuu syvemmmältä maan pintaa kohden. Alta päin virtaavan lämmön pääosan muodostaa kesällä maan kamaraan varastoitu- nut lämpö (K e r ä n e n 1924 V, s. 956). Yleensä virtaa maan ka-

marasta pois syksyn ja talven aikana kaikki se lämpö, mikä kevään ja kesän aikana on siihen varastoitunut. Maan pintaa kohden virtaavan lämmön suuruutta g-kaloreissa ja sen routaa sulattavaa kykyä hiekkamaassa valaisee seuraava asetelma (K e r ä n e n 1924 V, s. 956):

	Sodankylä (1915-17)		Pavlovsk (1810-1901)	
Maaperän kosteus, tilavuusprosenttia	13.7		12.0	
	Lämmön virtaus, gcal	Sulatus- kyky, cm	Lämmön virtaus, gcal	Sulatus- kyky, cm
Marraskuussa	84	8	166	17
Joulukuussa	87	8	171	18
Tammikuussa	78	7	163	17
Helmikuussa	58	5	124	13
Maaliskuussa	58	5	120	12
Huhtikuussa	14	1	66	7

Pavlovsk on Pietarin lähistöllä sijaitseva venäläinen ilmatieteellinen tutkimuslaitos. Maan kamaran syvemmistä kerroksista pinnalle virtaava lämpömäärä pienenee talven kuluessa, niin että sen routaa sulattava kyky esim. huhtikuussa on Sodankylässä merkityksetön. Alhaalta päin tapahtuva lämmön virtaus voi kuitenkin aiheuttaa sen, että talvina, jolloin lumi sataa sulaan maahan, maa voi pysyä sulana koko talven. Maan kamaraan jää tällöin lumen huonon lämmönjohtokyvyn vuoksi tavallista suurempi lämpömäärä. Kun nyt alhaalta virtaavaa lämpöä ei kulu roudan sulattamiseen, se voi estää kokonaan sen muodostumisen.

Roudan muodostumista jatkuu maassamme aina kevättalvelle saakka, vaikkakin maan kamaraan virtaava pakkasmäärä talven edistyesä pienenee. Mutta samanaikaisesti myös maan pintaa kohden syvemmältä virtaava lämpömäärä vähenee. Esimerkkinä maan kamaraan talven aikana virtaavasta pakkasmäärästä mainittakoon K e r ä s e n (1920, s. 142) Sodankylässä talvina 1915-17 suorittamien havaintojen mukaan seuraavat luvut:

Maan kamaraan talvina 1915-17 Sodankylässä virrannut pakkas-
määrä g-kaloreissa.

	<u>1915-16</u>	<u>1916-17</u>
Marraskuussa	635	197
Joulukuussa	589	389
Tammikuussa	145	404
Helmikuussa	100	315
Maaliskuussa	107	327
Huhtikuussa	<u>29</u>	<u>47</u>
Yhteensä	1605	1679

Näistä kylmämääristä jäi ensimmäisenä talvena 112 ja toisena 104 gcal maassa jo olleeseen routakerrokseen. Alhaalta päin tulevan lämmön voittamiseen kului 389 ja 368 gcal, ja jäännökset kehittivät uutta routaa. Suurimmillaan roudan syvyys on lumen sulamisaikaan (K e r ä n e n 1929 V, s. 958). Myös K a i t e r a (s. 392) mainitsee roudan syvyyden keväällä 1947 olleen suurimmillaan huhtikuun alussa. W ä r e e n (s. 58) ojitetulla savi- ja turvemaalla suorittamissa mittauksissa maalaji ei ole vaikuttanut routamaksimin sattumisaikaan.

Paitsi alhaisesta ilman lämpötilasta roudan muodostuminen riippuu myös siitä, kuinka kauan pakkasia jatkuu. K e r ä n e n (1923, s. 18) on julkaissut taulukon (taulukko 1), joka kuvaa roudan keskimääräistä syvyyttä maan eri osissa maalajeittain ja vastaavia roudan syvyyksiä ankarina ja leutoina pakkastalvina. Taulukon tulokset nojautuvat vain osittain suoranaisiin mittauksiin. Suurin osa perustuu kiertokyselyyn, jossa vastaajat esittivät arvioimalla henkilökohtaisen käsityksensä maan routaantumisesta.

Taulukosta havaitaan, että roudan syvyys on vaihdellut eri talvina huomattavasti. Ankarina talvina se on ollut keskimäärin 60 % suurempi kuin normaalina talvina ja leutoina talvina keskimäärin 40 % pienempi. K a i t e r a (s. 393) mainitsee talven 1947 routakerroksen eräillä paikkakunnilla olleen likimäärin 150-170 % roudan keskisyvyydestä ja yhtä suuren roudan syvyyden kuin talvella 1947 olevan odotettavissa 1-2 kertaa 10 vuodessa. Vuoden keskilämpötila vaikuttaa routaantumiseen sikäli, että mitä enemmän maahan on varastoitunut lämpöä, sitä vähäisempää roudan muodostuminen on.

Taulukko - Table 1.

Keskimääräinen roudan syvyys eri maalajeissa.
Mean Depth of Frost in Different Soil Types.

Alue - District	Roudan syvyys, cm - Depth of Frost, cm														
	Keskimäärin - Mean					Ankarat talvet - Hard winters					Leudot talvet - Mild winters				
	Hiekka Sand	Sora Gravel	Pelto Field	Savi Clay	Turve Peat	Hiekka Sand	Sora Gravel	Pelto Field	Savi Clay	Turve Peat	Hiekka Sand	Sora Gravel	Pelto Field	Savi Clay	Turve Peat
Lappi - Lapland	71	86	60	57	58	117	122	100	85	88	55	62	43	30	42
Pohjois-Pohjanmaa - Northern Ostrobothnia	89	86	67	62	52	133	134	99	96	88	52	55	34	32	31
Kainuu - Kainuu	61	74	36	44	31	88	87	61	64	58	33	26	26	29	18
Etelä-Pohjanmaa - Southern Ostrobothnia	50	51	42	40	38	74	84	62	62	57	26	30	25	27	23
Vaasan läänin itäosa - Vaasa province (east part)	39	35	28	24	23	83	74	50	38	44	19	17	18	18	11
Kuopion lääni - Kuopio province	50	52	24	24	25	76	87	41	39	43	28	23	13	12	15
Hämeen lääni - Häme province	52	62	33	35	31	77	92	54	58	53	30	37	19	24	18
Mikkelin lääni - Mikkeli province	36	26	24	23	24	62	43	34	37	40	19	15	11	11	9
Viipurin lääni - Viipuri province	54	50	28	36	29	81	88	48	57	47	32	38	20	28	15
Uudenmaan lääni - Uusimaa province	31	44	40	35	25	50	49	49	46	44	21	25	18	21	25
Turun ja Porin lääni - Turku and Pori province	33	43	44	32	22	73	93	45	47	35	20	20	12	12	5

Maan ominaisuuksista ovat routaantumisen kannalta tärkeimmät maan lämpökapasiteetti ja lämmönjohtokyky. Maahan varasteitunut lämpömäärä ja sen johtuminen syvennistä maakerroksista pintakerrokseen estää roudan muodostumista niin kauan, kuin lämmön virtausta tapahtuu alhaalta ylös päin, mutta yleensä maan lämmönjohtokyvyn paraneminen edistää maan jäätymistä, sillä lämmönjohtokyvyn ollessa hyvä maan pintakerrokset jäähtyvät nopeimmin. Maan lämmönjohtokyky riippuu lähinnä sen ilma- ja vesipitoisuudesta. Tämä johtuu näiden aineiden erilaisesta lämmönjohtokyvystä, joka ilmoitetaan ns. lämmönjohtoluvulla. "Lämmönjohtoluku ilmaisee kaloreina sen lämpömäärän, joka yhden sekunnin aikana kulkee 1 cm^2 :n laajuisen pinnan läpi lämpötilan alentuessa 1 cm matkalla 1 asteen" (Lehto II, s. 51).

Eri aineiden lämmönjohtolukuja:

ilman	0.000057 cal/cm ² /sek.
veden	0.0014 - " -
jään	0.0054 - " -
kiinteiden maaosasten	0.0006-0.006 - " -

Kiinteät maahiukkaset johtavat lämpöä huonosti, ilma vielä huonommin, jää ja vesi parhaiten. Huokostilavuuden pieneneminen ja kosteuden lisääntyminen siis yleensä suurentavat lämmönjohtokykyä. Beskowin (1935, s. 186) mukaan karkearakeisissa maissa lämmönjohtokyky on pienin absoluuttisen kuivassa tilassa ja kasvaa vesipitoisuuden lisääntyessä. Suurin se on kapillaarisesti kyllästetyssä maassa. Savimaassa on tietty vesipitoisuuden raja, jonka ylä- ja alapuolella lämmönjohtokyky pienenee, sillä savimaan vesipitoisuus voi nousta kapillaarista kyllästysastetta huomattavasti suuremmaksi. Eri maalajien lämmönjohtokykyä kuivana kuvaavat Aaltosen (s. 145) mukaan seuraavat Karstenin tulokset:

karkea hiekkamaa	0.00047 cal/cm ² /sek.
hieno hiekkamaa	0.00046 - " -
hietasavimaa	0.00045 - " -
savimaa	0.00033 - " -
turvemaa	0.00027 - " -

Turvemaiden lämmönjohtokyky on siis pienempi kuin kivennäismaiden.

Koska veden lämmönjohtoluku on pienempi kuin jään, on jäätyneen maan lämmönjohtokyky huomattavasti suurempi kuin vastaavan

jäätymättömän maan. B e s k o w (s. 189) mainitsee karkearakeisissa, routivissa maissa jäätyneen maan lämmönjohtokyvyn olevan n. 10-15 %, korkeintaan 20-30 % suurempi kuin vastaavan jäätymättömän maan. Sen sijaan jäätyneen saven lämmönjohtokyky ei ole suurempi kuin jäätymättömän. Tämä johtuu siitä, että savimaassa jääkerrokset ovat usein hyvin huokoisia, jolloin lämmönjohtokyky pienenee.

Lämpökapasiteetilla tarkoitetaan kaloreina sitä lämpö määrää, joka tarvitaan kohottamaan tilavuusyksikön (cm^3) suuruisen aine määrän lämpötilaa yhdellä asteella. Maa jäähtyy sitä hitaammin, mitä suurempi sen lämpökapasiteetti on. Lämpökapasiteetin suuruus riippuu ensi sijassa maan vesipitoisuudesta. Maan vesipitoisuuden lisääntyessä, jolloin samalla maassa oleva ilmamäärä vähenee, lämpökapasiteetti suurenee. Tämä johtuu veden ja ilman erilaisesta lämpökapasiteetista eli ominaislämmöstä. Ilman ominaislämpö on 0.000237 ja veden 1.0 cal/kg.

M i t s e r l i c h i n (s. 33) mukaan:

Taulukko - Table 2.

Maalaji ja ominaislämpö - Soil Type and Specific Heat.

	Maan vesipitoisuus-% huokostilavuudesta Water Content-% of Soil of Pore Volume										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Ominaislämpö kaloreina/ cm^3 Specific Heat, Calories/ cm^3										
Hiekka - Sand	0.302	0.344	0.385	0.427	0.468	0.510	0.551	0.592	0.634	0.676	0.717
Savi - Clay	0.240	0.298	0.357	0.415	0.473	0.532	0.590	0.648	0.706	0.765	0.823
Humus - Humus	0.148	0.223	0.300	0.374	0.449	0.525	0.600	0.676	0.751	0.826	0.902

Kuten taulukosta näkyy, on kuivan humuksen ominaislämpö pienin ja hiekan suurin, mutta maan ollessa märkä tämä suhde on päinvastainen. Vesipitoisuuden ollessa 50 % huokostilavuudesta lämpökapasiteetit ovat jokseenkin yhtä suuret, ja vesipitoisuuden lisääntyessä humuksen ominaislämpö tulee suurimmaksi ja hiekan pienimmäksi, savimaa on näiden välillä. Nämä tulokset todistavat myös sitä, että kostean maan lämpökapasiteetti on suurempi kuin kuivan, siis kostea maa lämpiää samasta lämpö määrästä vähemmän, mutta saman lämpö määrän menetys alentaa kostean maan lämpö-

tilaa vähemmän kuin kuivan. A a l t o n e n (s. 144) mainitsee kiinteiden maahiukkasten lämpökapasiteetin olevan ylipäättänsä sitä pienemmän, mitä suurempi niiden ominaispaine on, joskaan tämä ero ei ole kovin suuri, jos ominaispaine lasketaan tilavuutta kohden.

On ilmeistä, että maan jäätyminen riippuu paljon sen vesipitoisuudesta, sillä vesipitoisuus vaikuttaa ratkaisevasti maan lämmönjohtokykyyn ja lämpökapasiteettiin. Lisäksi veden jäätyessä vapautuu lämpöä 1 cm^3 :stä 80 g-kaloriaa. K e r ä n e n (1929, s. 257) laskee maakerroksen jäätyessä syvyydestä x_1 syvyyteen x_2 vapautuvan lämpömäärän kaavalla:

$$L = 80p_w (x_2 - x_1)$$

L = lämpömäärä, p_w = vesipitoisuus/ cm^3 . Roudan erilainen tunkeutuminen eri maalajeihin johtuukin suurelta osaltaan maalajien erilaisesta vesipitoisuudesta (Tulvakomitean mietintö, s. 92). Mielipiteet kuivan ja kostean maan jäätymisestä vaihtelevat eri tutkijoiden kesken huomattavasti. A r r h e n i u s (s. 56), J u h l i n - D a n n f e l t (s. 1101) ja V a r t i a i n e n (s. 30) ovat sitä mieltä, ettei routa mene ojitetussa maassa niin syvälle kuin ojittamattomassa. J u h l i n - D a n n f e l t (s. 1101) mainitsee maan kuivatuksen ja varsinkin sala-ojituksen hidastavan maan jäätymistä. Aivan päinvastaiseen tulokseen ovat tulleet v. F e i l l i t z e n (s. 415) ja S i m o l a (1926, s. 6) turvemaassa suorittamiensa mittauksien perusteella. Heidän mukaansa ojittamaton suo jäätyy matalampaan kuin ojitettu. W ä r e (s. 65) on todennut salaojitettun turvemaan, joka on ollut kuivempi kuin avo-ojitettu turvema, jäätyvän syvemmälle. v. F e i l l i t z e n i n, S i m o l a n ja W ä r e e n havainnot perustuvat kuitenkin suoviljelyksillä suoritettuihin mittauksiin. Koska turvemaat sekä kosteuspiitoisuutensa että muiden ominaisuuksiensa puolesta eroavat kivennäismaista, ei turvemaissa suoritettuja havaintoja voida yleistää kivennäismaita koskeviksi. J u u s e l a (1945, s. 80) esittääkin käsityksensä, ettei turvemaissa kostean maan hiukan suurempi lämmönjohtokyky pysty aina korvaamaan veden jäätyessä vapautuvia lämpömääriä, vaan kuiva maa voi jäätymään syvemmälle kuin kostea. Kivennäismaissa sen sijaan maan lämmönjohtokyky kasvaa vesipitoisuuden lisääntyessä huomattavasti enemmän kuin turvemaissa, ja kostean maan suurempi lämmönjohtokyky voi korvata veden jäätyessä

vapautuvien lämpömäärien routaantumista estävän vaikutuksen, joten routaantuminen on voimakkaampaa kosteassa kuin kuivassa kilvennäismaassa. S i m o l a n (1926, ss. 36 ja 42, 1930, ss. 39, 43 ja 46) mukaan saadaan seuraava, roudan suurinta syvyyttä savikolla kuvaava taulukko:

Taulukko - Table 3.

Roudan maksimisyvyys (cm) ojitetussa savimaassa vuosina 1925-29.
Maximum Depth of Frost in Drained Clay Soil, 1925-29.

Mittausaika Date of Measurement	Etäisyys ojasta, m - Distance from Drain, m		
	0.5	2.5	5.0
30.3.1925	26	27	27
20.2.1926	32	31	31
10.3.1927	43	41	42
20.3.1928	30	31	31
20.4.1929	62	63	62

Ojan vieressä roudan syvyys on kahtena talvena ollut 1 cm suurempi, kahtena talvena 1 cm pienempi ja talvella 1929 yhtä suuri kuin 5 m etäisyydellä ojasta. Tämän mukaan maa on jäänyt ojan läheisyydessä ja 5 m etäisyydellä ojasta suunnilleen yhtä syväälle. Koska pohjaveden pinta 5 m etäisyydellä on ollut alkutalvesta korkeammalla kuin ojan vieressä, ei erilainen kosteuspitoisuus näytä vaikuttaneen roudan muodostumiseen. J u u s e l a (1945, s. 181) on kuitenkin suorittamissaan mittauksissa havainnut savimaassa kostean maan jäätyvän syvemmälle kuin kuivan.

Samoissa olosuhteissa eri maalajien vesipitoisuus riippuu maan kyvystä ottaa ja pidättää vettä. "Suurinta vesimäärää, minkä maa pystyy ottamaan, nimitetään maan suurimmaksi vesikapasiteetiksi. Vesimäärää, minkä maa pidättää vaipumasta syvemmälle, nimitetään maan pienimmäksi vesikapasiteetiksi" (A a l t o n e n, s. 129). M i t s e r l i c h i n (s. 147) mukaan raesuuruuden pienentyessä maan suurin vesikapasiteetti suurenee. Suurin se on turvemaassa ja pienin hiekkamaassa. A a l t o s e n (s. 129) mukaan samoin maan kyky pidättää vettä kasvaa raesuuruuden pienentyessä ja humuspitoisuuden lisääntyessä.

Eri maalajit vaikuttavat roudan muodostumiseen lämmönjohtokykyä ja lämpökapasiteettinsa mukaisesti. Humus lämpenee kuivana nopeimmin, märkinä hitaimmin, hiekka päinvastoin, ja savi on näiden välillä. Koska humus toisaalta luovuttaa lämpöä vähiten ja hiekka eniten, lämpötilan vaihtelut ovat suurimmat hiekkamaassa ja pienimmät turvemaassa. Hiekkamaa on siten keväällä ja kesällä lämpimämpi, mutta syksyllä ja talvella kylmempi kuin savi- ja turvema. Kun otetaan vielä huomioon maalajien erilainen lämmönjohtokyky, on selvää, että roudan syvyys on turvemaissa pienempi kuin kivennäismaissa. Savimaissa se on vastaavasti pienempi kuin hiekkamaissa. Seuraavassa asetelmassa esitetään eräiden tutkijoiden havaintojen perusteella roudan syvyyttä eri maalajeissa kuvaavat suhteelliset arvot:

	<u>Moreeni, sora ja hiekk</u>	<u>Hieta ja savi</u>	<u>Turve</u>
Maanviljelysinsinööri- rien ja kuntien rakennus- mestareiden keräämän ai- neiston perusteella (K a i t e r a 1947, s. 394)	100	89	52
Maanviljelysseuroista saa- dun aineiston perusteella (K a i t e r a 1947, s. 394)	100	85	44
S i m o l a (1930, s. 53)	100	87	53
K e r ä n e n (1923, s. 18)	100	70	61
D e b s k i (s. 4)	100	90	78

Kolme ylintä riviä perustuvat suoranaisiin mittauksiin Suomes-
sa. D e b s k i n luvut pohjautuvat Puolassa suoritettuihin ha-
vaintoihin. Maan pinnalla olevan lumipeitteen paksuus on mittaus-
paikoilla ollut tällöin < 10 cm. Kolmen ylimmän rivin suhdeluvut
eri maalajien kesken ovat verraten yhdenmukaisia. Niiden mukaan
hienojakoisissa kivennäismaissa roudan syvyys on 85-90 % ja tur-
vemaissa n. 50 % karkearakeisten kivennäismaiden roudan syvyydes-
tä. K e r ä s e n ja D e b s k i n mittauksien mukaan laske-
tut suhdeluvut poikkeavat hiukan muista arvoista. D e b s k i
(ss. 2-4) esittää roudan muodostumisen riippuvaisuuden ilman läm-

pötilasta ja maalajista seuraavasti:

1. Kivinen ja hiekkainen maa $Z_1 = 0.118 \sum t$
2. Savipitoinen maa $Z_2 = 0.106 \sum t$
3. Humuspitoinen- ja turvemaa $Z_3 = 0.092 \sum t$

Z = roudan syvyys, cm, $\sum t$ = klo 7 suoritettujen negatiivisten ilman lämpötilahavaintojen summa ($^{\circ}\text{C}$), laskettuna alkutalvesta havaintopäivään. Lunta on havaintopaikoilla ollut vähemmän kuin 10 cm. Mainittakoon, että vetisillä soilla voi varsinaisen routakerroksen alapuolelle muodostua vielä puhdas jääkerros (H e i - k u r a i n e n, s. 58). A u e r i n (s. 82) mukaan turvemilla roudan syvyys seuraa suon pintamuotoja.

Koska lumen lämmönjohtokyky on pieni, B e s k o w i n (1935, s. 202) mukaan lumipeitteen lämmönjohtoluku on syys- ja keskitalvella 0.00025-0.0004 cal/cm²/sek., l u m i p e i t t e eristää maan kylmän ilman vaikutukselta. Lumipeitteen suojaava vaikutus riippuu sen paksuudesta ja tiheydestä, sillä lumen sulaessa lämmönjohtoluku kasvaa 0.0004-0.0008 cal/cm²/sek. Erittäin tiiviin lumen lämmönjohtoluku on 0.001 cal/cm²/sek. S i m o l a (1930, s. 53) esittää seuraavassa taulukossa Maatalouskoelaitoksen toimesta v. 1929 eri puolilla maata suoritettujen routamittauksien keskilukuja lumikerroksen paksuuden mukaan järjestettyinä.

Taulukko - Table 4.

Lumipeitteen paksuuden vaikutus roudan syvyyteen. - Effect of Thickness of Snow Cover on Depth of Frost.

	Lumipeitteen paksuus, cm - Thickness of Snow Cover, cm											
	0-20			20-40			40-60			60-80		
	Savi Clay	Hiekka Sand	Turve Peat	Savi Clay	Hiekka Sand	Turve Peat	Savi Clay	Hiekka Sand	Turve Peat	Savi Clay	Hiekka Sand	Turve Peat
Roudan syvyys, cm - Depth of Frost, cm												
Syysviljan oras - Shoots of au- tumn sowing	73	72	-	61	67	-	42	33	-	-	21	-
Kylvönurmi - Sown grass	64	95	45	59	60	32	29	47	28	30	26	22
Kynnös - Plough	-	112	-	60	79	43	44	46	27	-	63	16
Metsämaa - Forest soil	-	47	32	23	34	23	-	20	8	-	-	-

Lumipeitteen paksuudella on ollut siis huomattava vaikutus maan routaantumiseen. Kuta ohuempi lumipeite on ollut, sitä syvemmälle routa on tunkeutunut. Lumipeitteen routaantumista estävää vaikutusta kivisellä ja hiekkaisella maalla kuvaavat myös D e b s k i n (s. 7) mittauksien tulokset:

<u>Lumipeitteen paksuus, cm</u>	<u>Keskimääräinen roudan syvyys, cm</u>
0-19	122.0
20-39	105.0
40-59	90.8
60-79	61.4
80-99	41.3
100-119	13.9

Klo 7 mitattujen ilman lämpötilahavaintojen summa laskettuna alkutalvesta havaintopäivään on ollut 1050°C. Lumipeitteen ohen- tuessa roudan syvyys on kasvanut. Kuten taulukosta 4 näkyy, eri maalajit ovat jäätyneet eri lailla. Kun taulukosta lasketaan hie- kan ja saven roudan syvyydet erikseen ohuen (< 40 cm) ja vahvan (> 40 cm) lumipeitteen arvoista, saadaan seuraavat keskimääräi- set suhdeluvut:

<u>Lumen paksuus</u>	<u>Suhteellinen roudan syvyys</u>	
	<u>hiekkä</u>	<u>savi</u>
0-40 cm	100	80
41-80 "	100	97

Tämän mukaan vahvan lumipeitteen aikana roudan syvyyksien erot eri maalajien kesken ovat pienemmät kuin vähän lumen aikana. K a i t e r a (1947, s. 395) on myös havainnut kivennäismaisissa roudan syvyyksien erojen olevan suurempia, silloin kun lumipeit- teen suojaava vaikutus on vähäinen. Lumipeitteen maan jäätymistä estävä vaikutus voi olla niinkin tuntuva, että maa joinakin tal- vina voi jäädä jäätymättä, jos pysyvä lumi sataa syksyllä sulaan maahan (K e r ä n e n 1923, s. 24). Lumipeitteen tiivistyessä, jolloin lumen lämmönjohtokyky paranee, sen routaantumista estävä vaikutus vähenee.

K a s v i l l i s u u s vähentää osaltaan huomattavasti roudan muodostumista. Kasvipeite hidastaa maan lämpenemistä varjostamalla sitä auringon säteilyltä, mutta samalla se vähentää myös pois päin

tapautuvaa lämmön säteilyä tasoitetaan siten lämpötilan vaihteluita maan pinnalla. Kasvillisuus vaikuttaa lisäksi maan kosteussuhteisiin estämällä sateen pääsyä maahan, kuluttamalla maan vesivarjoja elintoimintaansa ja vähentämällä haihduntaa. Taulukon 4 arvot antavat varsin selväpiirteisen kuvan siitä, miten suuria vaihteluita kasvipeite aiheuttaa roudan syvyydessä. Taulukosta saadaan seuraavat, hiekkamaassa kasvipeitteen vaikutusta roudan syvyyteen kuvaavat suhdeluvut:

nurmi	100
syysviljan oras	84
kynnös	132
mettä	60

Metsässä routa on ollut ohuempaa kuin aukeilla. Tämä johtunee osaksi siitä, että metsissä on ylipäättänsä Etelä-Suomea lukuun ottamatta lunta runsaammin, ja sen tiheys on kaikkialla maassamme metsissä pienempi kuin aukeilla (K o r h o n e n, ss. 15 ja 25), mutta osaksi myös metsän lämmönsäteilyä estävästä vaikutuksesta. K a i t e r a n (s. 395) mukaan tiheässä metsässä roudan syvyys on ollut keskimäärin 60 % läheisellä pellolla mitatusta roudan syvyydestä. Luonnollisesti metsän tiheys vaikuttaa roudan muodostumiseen. R o n g e (s. 328 js.) on havainnut harvennetussa metsässä, jossa lumi muodostaa paksunman suojelevan kerroksen, routakorroksen jäävän ohuemmaksi kuin tiheässä, harvennattomassa metsässä. Esim. maaliskuussa roudan syvyys oli harvennattomassa metsässä 75 cm ja harvennetussa 30 cm. K a i t e r a (s. 391) mainitsee sammalpeitteen routaantumista estävän vaikutuksen olevan usein suuremman kuin ruohopeitteen. Turvemaiden huokoinen pintaturve estää osaltaan huomattavasti roudan muodostumista.

M u i s t a maan jäätymiseen vaikuttavista l u o n t a i s i s t a tekijöistä mainittakoon vielä sateet, haihdunta, ilmansuunta ja maantieteellinen asema. Kesä- ja syysateista riippuu ratkaisevasti maan vesipitoisuus talvella. Veden haihtuminen vähentää maan vesipitoisuutta ja vaikuttaa siten roudan muodostumiseen. Etelärinteet ovat ylipäättänsä lämpimämpiä kuin pohjoisrinteet, joten routaantuminen on pohjoisrinteillä voimakkaampaa kuin etelärinteillä. Maantieteellinen asema vaikuttaa lähinnä ilman lämpötilaan ja ilman kosteuspitoisuuteen. Taulukosta 1 havai-

taan selvästi roudan syvyyden vaihdelleen maan eri osissa. Syvim-
mälle routa on tunkeutunut Pohjois-Pohjanmaalla, missä lunta on
suhteellisesti vähän ja talvet ovat ankaria. Routakerros on ollut
ohuin ylipäättänsä Etelä- ja Lounais-Suomessa, joskaan suuria ero-
ja Keski-Suomessa varsinkaan savi- ja turvemaalla mitattuihin
roudan syvyyksiin verrattuna ei ole. K a i t e r a (s. 393) on
haudankaivajilta keräämänsä aineiston perusteella havainnut, et-
tä talvella 1947 routakerros oli Etelä-Suomessa suhteellisesti
vahvempi kuin Keski-Suomessa ja Etelä-Pohjanmaalla. Etelä-Suomes-
sa lumikerros on ollut lähes puolta ohuempi kuin esim. Etelä-Poh-
janmaalla. Roudan syvyys on ollut talvella 1947 suurimmillaan
Inarin seuduilla. Maantieteellisen aseman aiheuttaman voimakkaam-
man routaantumisen vuoksi talviautoteiden rakentamisedellytykset
ovat siten Pohjois-Suomessa edullisemmat kuin Etelä-Suomessa.

Ilmisen toimenpiteet, jotka vaikuttavat maan routaantumiseen

Paitsi em. luontaisia tekijöitä on myös muita, keinotekoisesti
syntyneitä olosuhteita, jotka vaikuttavat roudan syvyyteen. Tiel-
lä tapahtuva liikenne tiivistää maan ylimpiä pintakerroksia, jol-
loin maassa oleva ilmamäärä vähenee ja maan lämmönjohtokyky para-
nee. Tällöin routaantuminen tietenkin voimistuu. Koska lumen rou-
taantumista estävä vaikutus on huomattava, lisää maan jäätymistä
varsin tehokkaasti lumipeitteen poistaminen ja lumen tiivistämi-
nen. Paikoissa, joista kasvipeite on poistettu, routaantuminen
on voimakkaampaa kuin luontaisissa olosuhteissa.

Roudan sulaminen

Yhtä tärkeää kuin roudan muodostuminen on tilapäisten talviau-
toteiden kannalta roudan sulaminen. Talviautoteiden käyttöaika
riippuu ratkaisevasti roudan sulamisesta. Esim. maamme eteläosis-
sa, joissa sulaminen alkaa aikaisemmin ja joissa tilapäiset suo-
jasäät talven aikana voivat sulattaa routaa, ajoaika talviauto-
teillä muodostuu huomattavasti lyhyemmäksi kuin Pohjois-Suomessa.

K e r ä n e n (1924 V, s. 961) mainitsee roudan sulamiseen ku-
luvan saman verran lämpöä kuin talvella on tarvittu pakkasta sen
muodostumiseen. - Mielipiteet roudan sulamisesta vaihtelevat.
H o m é n (1917, s. 101) on Mustialassa suorittamiensa havainto-

jen perusteella sitä mieltä, että huomattava osa roudasta sulaa keväällä alta päin. K e r ä s e n (1923, s. 23) mukaan roudan sulaminen maan sisästä virtaavan lämmön johdosta on verraten pieni. Syksyllä ja talvella tapahtuu kyllä sulamista alta päin niin kauan kuin edellisen kesän lämpövarastoa riittää. Kevääseen mennessä lämmön johtuminen maan sisästä vähenee ja sen vaikutus roudan sulamiseen tulee yhä pienemmäksi. Vain siinä tapauksessa, että lumen sulaessa muodostunut, notkelmiin keräytynyt vesi läpäisee jossakin kohdassa routakerroksen, tapahtuu roudan sulamista keväällä alhaalta päin (S i m o l a 1926, s. 38). S i m o l a (1926, ss. 18, 39, 46 ja 1930, ss. 40, 43, 47) on havainnut sulamista tapahtuvan alta päin sitä enemmän, mitä ohuempi routakerros on. Tämä johtuu lauhkean talven jälkeen maahan varastoituneesta, tavallista suuremmasta lämpömäärästä. S i m o l a n (1930, s.9) mukaan keväällä 1926 hietamaassa sulii roudasta keskimäärin 15.7 cm ylhäältä päin ja 4.3 cm alta päin, savimaassa 16.5 cm ylhäältä päin ja 9.5 cm alta päin. Alta päin tapahtuvasta sulamisesta on suurin osa luettava routakerroksen läpäisseen pintaveden aiheuttamaksi. Myös pohjavesi vaikuttanee alta päin tapahtuvaan sulamiseen, sillä J u u s e l a (1945, s. 93 js.) on todennut pellolla avo-ojissa roudan sulavan alta päin enemmän kuin salaojitetulla paikalla. Salaojitetulla paikalla pohjaveden pinta on koko sulamisajan ollut routakerroksen alapuolella, mutta avo-ojissa pohjavesi kohosi jo huhtikuussa ruokamultakerroksen korkeudelle. Varsinainen roudan sulaminen tapahtunee siis ylhäältä päin maan pinnalle tulevan lämmön vaikutuksesta. Roudan sulaminen on siten riippuvainen samoista tekijöistä, jotka vaikuttavat maan routautumiseen, pääasiallisesti ilman lämpötilasta, sateista, kasvipeitteestä, maalajista ja maan kosteuspitoisuudesta. Eniten vaikuttavat sulamiseen luonnollisestikin ilman lämpötila ja kevätsateet.

Keväällä ilman lämpötilan kohotessa maan pintaa kohden virtaava lämpömäärä tulee suuremmaksi kuin maan pinnalta virtaava lämpömäärä, jolloin maan pintakerrokset alkavat lämmetä. Lumipeite vähentää huonona lämmönjohtajana tätä lämmön säteilyä, joskin lumen lämmönjohtokyky on suurimmillaan juuri keväällä. J u u s e l a (1945, s. 94) mainitsee roudan sulamisen Backaksessa alkaneen ylhäältä päin jo viikkoa aikaisemmin kuin lumi oli kokonaan sulanut. Niin kauan kuin lunta oli jäljellä routa sulii hitaasti. Roudan sulaminen ylhäältä päin lumipeitteen alla johtunee ensi si-

jassa lumen sulaessa muodostuneista pintavesistä, sillä esim. S i m o l a (1923, s. 39) on havainnut pintaveden sulattavan osan routaa jo lumipeitteen alla. Maan pinta lämpiää lumen sulamisen jälkeen auringon lähettämästä säteilystä verraten nopeasti, koska tällöin ei vielä ole kasvillisuutta, joka estäisi lämmön pääsyä maahan ja kuluttaisi sitä elintoimintaansa. Tiheässä metsässä roudan sulaminen on hitaampaa kuin harvennetussa metsässä.

Maalajin vaikutus roudan sulamiseen on varsin huomattava. K e r ä s e n (1923, s. 28) mukaan lumen sulamisen jälkeen routa on sulanut hiekka- ja moreenimaassa 2.7 cm/pv., savimaassa 1.6 cm/pv., turvemaassa 0.9 cm/pv. ja pellolla 2.0 cm/pv. S i m o l a (1926, ss. 37-43 ja 1930, ss. 37-49) on puolestaan Maatalouskoe-laitoksella suorittamissaan mittauksissa vv. 1924-29 havainnut ojitetussa savimaassa roudan sulaneen keskimäärin 1-2 cm/pv. Turvemailla sammalpeite huonona lämmönjohtajana hidastaa osaltaan roudan sulamista. Mättäiden alla routa säilyy huomattavasti kauemmin kuin muualla. Sulamisnopeus on riippuvainen myös maantie-teellisestä asemasta. K e r ä n e n (1923, s. 28) mainitsee lumen sulamisen jälkeen roudan sulamisen kestäneen kuivissa maissa alueilla, joissa roudan syvyys on tavallista suurempi, n. kuukauden, Kainuussa n. 16 pv., maan keskiosissa n. 20 pv. ja maan eteläosissa 13-15 pv. Lumen sulamisnopeus puolestaan vaihtelee maan eri osissa eri talvina ilmastollisista olosuhteista riippuen huomattavasti.

Koska kostea maa lämpiää samasta lämpömäärästä vähemmän kuin kuiva, routa säilyy kosteassa maassa kauemmin kuin kuivassa. Tämän ovat useat tutkijat todenneet. Esim. K e r ä n e n (1923, s. 28) on havainnut roudan sulamisen turvemaassa olevan kaksi kertaa hitaampaa kuin hiekkamaassa. Epäedullisissa olosuhteissa roudan sulaminen on hyvin hidasta. R o n g e (s. 329) on todennut Norrlannissa tiheässä metsässä hiesumaassa, vaikka lämmön säteilyä estävä lumipeite onkin ohut, roudan voivan sulaa vasta elokuun alussa. Kuivina ja kylminä kesinä kosteissa maissa tai varjoisissa paikoissa osa roudasta voi jäädä sulamatta (K e r ä n e n 1923, s. 28). Tällöin muodostuu seuraavana talvena kaksi erillistä routakerrosta. Ylin on uusi, talven kuluessa syntynyt ja sen alapuolella syvemmillä sulamatta jäänyt, vanha routakerros. Myös voimakas suojakausi talvella voi saada aikaan kaksi routakerrosta. Olosuhteista riippuen muodostuu joskus jopa kolme eril-

listä, toisiinsa rajoittuvaa routakerrosta.

Roudan syvyyden teoreettinen laskeminen

Roudan syvyyden riippuvaisuus eri tekijöistä on usein koettu pukea kaavan muotoon. Kuten edellä esitetystä on käynyt ilmi, maan routaantuminen on riippuvainen monista sangen vaihtelevista tekijöistä. Sen vuoksi onkin käytännössä vaikeaa löytää oikeita perusteita, joiden mukaan roudan syvyys eri olosuhteissa voitaisiin laskea, joten teoreettisesti oikeillakin perusteilla johdetut kaavat roudan syvyyden riippuvaisuudesta eivät ole osoittautuneet käytäntöön soveltuviksi. Näistä kaavoista mainittakoon: K e r ä s e n (1929, s. 273 js.), B e s k o w i n (1935, ss. 200-202) ja D e b s k i n (s.11). K a i t e r a n (s. 392) mukaan eräiden meillä suoritettujen havaintojen perusteella D e b s k i n kaava antaa verraten oikeita tuloksia, joskin poikkeamiakin on todettu.

D e b s k i n (s. 11 js.) kaava:

$$Z = (126 - 0.9 \times S) \times G \times W \times T, \text{ jossa}$$

Z = roudan syvyys, cm,

S = lumipeitteen paksuus, cm,

G = maalajista riippuva kerroin (kivi-, sora- ja hiekkamais-
sa G = 1.00, savi- tai savihietapitoisissa maissa G =
0.90 sekä turve- ja humuspitoisissa maissa G = 0.78),

W = vakio, joka avonaisilla paikoilla on 1.00 ja suojatuilla paikoilla 0.92,

T = klo 7 aamuisin tehtyjen negatiivisten ilman lämpötilahavaintojen summa puheena olevaan ajankohtaan mennessä, C°.

U u t t a h a v a i n t o a i n e i s t o a

Aineisto

Metsätehon toimesta suoritettiin S a a r i j ä r v e l l ä Metsätehon kokeilutyömaalla havaintoja roudan muodostumisesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä tilapäisellä talviautotiellä. Havaintojen perusteella oli tarkoitus koettaa määritellä ne maan routaantumiseen vaikuttavat tekijät, joiden vaikutusta lisäämällä tai vähentämällä roudan muodostumista voidaan tilapäisillä talviautoteillä edistää.

Ko. autotien pohja raivattiin syksyllä ennen pakkasia. Raivauksen yhteydessä tienpohja tasattiin kivennäismailla, mutta sen sijaan turvemailla tasausta ei suoritettu. Saarijärvellä muodostui jo marraskuussa sulaan maahan pysyvä lumipeite. Vasta joulukuussa ryhdyttiin tien pohjaamiseen, jolloin pehmeillä ne- vapaikoilla poljettiin tai lapioidtiin lumi 4 m leveydeltä. Muilta osiltaan tie sai olla koskemattomana tammikuuhun saakka, jolloin aloitettiin varsinainen tien pohjaus telaketjutraktorilla. Tällöin aurattiin tien pohja n. 4 m levyiseksi ja turvemailla poistettiin raivauspuskurilla mättäät ja kannot. Tietä aurattiin kolmella eri traktorilla 8.1.- 20.2. välisenä aikana. Tien kanto- kyvyn parantamiseksi tien pintaa vesitettiin 26.2.- 1.3. Pohjaamistöihin käytetyistä traktoreista ensimmäinen oli Caterpillar D 7, paino täysissä varusteissa 13 tn, ja muut Caterpillar D 4, paino 4.5 tn. Varsinainen autoliikenne aloitettiin tiellä 24.2. ja lopetettiin 18.3.

Jotta saataisiin selvyyttä eri maalajien ja erilaisen kasvi- peitteen vaikutuksesta roudan muodostumiseen, sijoitettiin havaintopaikat eri tiluslajeille. Havaintoja suoritettiin ilman lämpötilanmuutosten yhteydessä ja niiden jälkeen. Mittauspaikat selviävät seuraavalla sivulla olevasta asetelmasta.

Mittauspaikoista MT ja VK olivat metsäisiä, molemmilla IR:illä kasvoi harvassa pieniä, kitukasvuisia mäntyjä.

Havaintoja tehtiin ilman lämpötilan päivittäisestä kehityksestä, lumipeitteen vahvuudesta, maan pinnan lämpötilasta, maan lämpötilasta 10 ja 30 cm syvyydessä ja jäätyneen maaosan paksuudes-

<u>N:o</u>	<u>Tiluslaji</u>	<u>Vesipitoisuus, % kostean ai- neen painosta</u>	<u>Pohjaveden korkeus, cm</u>	<u>Erikoistoi- menpiteet</u>
I	Pelto	38.2	30-40	Kynnetty syksyllä
II	VK (varsinaisen korpi)	76.4	10-40	
III	KN (kalvakka neva)	90.0	0-40	Tien pohjalta la- pioitiin lumi joulukuussa
IV	MT (mustik- katyyppi)	21.6	> 50	
V	IR (isovar- puinen räme)	93.6	15-30	
VI	IR (ojitettu)	87.6	30-60	

ta. Mittaukset suoritettiin tien keskeltä, 1-2, 5 ja 10 m etäisyydeltä tien reunasta. Ne pyrittiin ottamaan joka kerralla suunnilleen samoilta paikoilta niin, että luontaiset routaantumisedellytykset olisivat aina mittauskohdittain samat. Lisäksi mitattiin maan lämpötila ja roudan syvyys neljältä, KN:llä olevalta, 10x10 m suuruiselta koealalta. Koealojen laatu selviää seuraavasta asetelmasta.

N:o

1. Maa pidettiin jatkuvasti lumesta paljaana.
2. Lumikerros poljettiin ja satanut lumi poistettiin.
3. Käsiteltiin kuten edellinen, mutta pinta rikottiin lumen pinnasta lukien 60 cm syvyisillä rei'illä, joiden etäisyys toisistaan oli 30 cm.
4. Kuten koeala 3, mutta reikien syvyys oli 20 cm lumen pinnasta lukien.

Koealoilla tehtyjen havaintojen perusteella oli tarkoitus selvittää erilaisten toimenpiteiden vaikutus roudan muodostumiseen. Koeala n:o 2 vastaa olosuhteita, kun lumikerros on tiivistetty jyräämällä, koealat n:o 3 ja 4 olosuhteita, jolloin tien pinta on käsitelty erikoisella piikeillä varustetulla jyrällä, ns. piikkijyrällä.

Ilman lämpötilanmittaukset suoritettiin alkoholilämpömittarilla kaksi kertaa päivässä, aamulla klo 7.00 ja illalla klo 18.00. Mittauspaikka oli peltojen keskellä sijaitsevan talon pihamaalla. Maan lämpötila mitattiin tankomaisella alkoholilämpömittarilla

1/4°C tarkkuudella. Maan lämpötilaa mitattaessa lämpömittari asetettiin mittauksen ajaksi lumipeitteen läpi tehtyyn pystysuoraan reikään siten, että ainoastaan alkoholilla täytetty kuula oli määrättyllä syvyydellä maassa kiinni. Mittari luettiin heti, kun se nostettiin reiästä ylös. Lukemavirheiden välttämiseksi lämpötilamittaukset otettiin kolmen havainnon keskiarvosta. Lumipeitteen paksuus määritettiin maan pinnasta lukien, cm tarkkuudella. Roudan syvyys määritettiin maahan tehdystä kuopasta, cm tarkkuudella kolmen mittauksen keskiarvona. Tällöin otettiin huomioon vain maan pinnasta lukien yhtenäisen kiinteän jäätyneen maakerroksen paksuus. Yksityisten, routakerroksen alapuolella olevien jääkiteiden syvyyttä ei mitattu, sillä talviautotien kannalta kiinteä routakerros on tärkein.

Havaintoja suoritettiin tiellä 20.12.47 - 18.3.48 välisenä aikana 12 kertaa ja koealoilla 15.1.- 18.3.48 välisenä aikana 12-14 kertaa.

Laboratoriokokeilla määritettiin Valtion Teknillisellä Tutkimuslaitoksella nevalta sekä ojitetulta ja ojittamattomalta rämeeltä otettujen maanäytteiden taivutus-, veto- ja puristuslujuudet jäätyneessä tilassa. Jokaisesta turvenäytteestä valmistettiin kolme 7 cm kuutiota ja kolme 4x4x16 cm koepalkkia siten, että näytteet säilyttivät luontaisen rakenteensa. Koekappaleet kylästettiin vedellä ja pidettiin jääkaapissa -10°C lämpötilassa, siksi kunnes ne olivat täydellisesti jäätyneet. Sen jälkeen määritettiin niiden taivutus-, veto- ja puristuslujuudet sekä vesipitoisuudet. Kokeesta saatujen lujuusarvojen perusteella laskettiin suuntaa antavia arvoja siitä, kuinka paksu routakerroksen tulisi turvemaassa olla, jottei se murtuisi tiellä tapahtuvan liikenteen painosta.

Lahti Osakeyhtiön toimesta suoritettiin Kivijärvellä 8.1.-1.4.48 välisenä aikana mittauksia roudan muodostumisesta turveperusteisella talviautotiemellä. Mikäli seuraavassa viitataan Lahti Osakeyhtiön havaintoihin, mainitaan siitä suluissa olevalla viitteellä (Lahti Oy).

Tutkimuksen tulokset

Roudan muodostuminen talviautotiellä ja siihen vaikuttavat tekijät

Talvi 1947-48 oli maan routaantumisen kannalta sangen epäedullinen. Kesä ja syksy olivat vähäsateisia, joten maan pintakerrokset jäivät tavallista kuivemmiksi. Syksyllä muodostui maan pinnalle ennen pakkasia pysyvä lumikerros, joka ehkäisi maan routaantumista. Kesällä ja syksyllä ilman lämpötila oli hiukan normaalia korkeampi. Joulukuu oli maan sisäosissa normaalia kylmempi, tammi-kuu $0.5 - 3.7^{\circ}\text{C}$ ja helmikuu $0.5 - 2^{\circ}\text{C}$ normaalia kylmempiä. Maaliskuussa ilman lämpötila oli 2°C normaalia lämpimämpi (Kuukausikatsaus Suomen sääoloihin). Ilmastolliset olosuhteet, lähinnä sulaan maahan satanut lumipeite ja lämpimän kesän ja syksyn aikana maahan varastoitunut lämpömäärä aiheuttivat sen, että roudan syvyys kuluneena talvena jäi maassamme tavallista pienemmäksi. Esimerkkinä vastaavanlaisista olosuhteista mainittakoon, ettei talvella 1901-02 ollut lainkaan routaa kylmistä talvikuukausista huolimatta, koska edellinen kesä ja syksy olivat tavallista lämpimämpiä, ja marraskuussa muodostui pysyvä lumipeite sulaan maahan (K e r ä n e n 1923, s.5).

Taulukosta 5 (ss.30-1) selviää roudan muodostuminen eri mittauskohdilla. Koska tien sivulta, 1-2, 5 ja 10 m etäisyydeltä tien reunasta mitatut roudan syvyys- ja lumen paksuushavainnot mittauskohdittain vaihtelivat sangen vähän, taulukkoon on laskettu vain keskiarvot näistä mittauksista. Taulukkoon merkitty ilman keskilämpötila tarkoittaa havaintopäivien välisten päivien ilman keskilämpötilaa. Ilman lämpötilahavainnot 16.1. saakka on saatu Jyväskylän säähavaintoasemalta.

T i e n k e s k e l l ä routaantuminen on ollut voimakkainta pelloilla. Tämä johtuu lähinnä ohuesta lumikerroksesta ja siitä, että pelto oli kynnetty edellisenä syksynä, joten kasvipeite ei estänyt maan jäätymistä. Koska autotien pohjaa käytettiin pelloilla hevostienä, ei lumikerros koskaan muodostunut niin paksuksi kuin muilla mittauskohdilla. Huomiota herättää roudan suuri syvyys nevalle, jossa pohjavesi ulottui paikoin maan pinnalle. Kun tien

Taulukko - Table 5.

Havaintopäivien välisten päivien keskimääräinen ilman lämpötila, lumen paksuus ja roudan syvyys tien keskellä sekä keskimääräinen lumen paksuus ja roudan syvyys tien sivussa mittauskohdittain.
 Mean Temperature of Days between Observation Days, Thickness of Snow and Depth of Frost in Middle of Road and Mean Thickness of Snow and Depth of Frost on Edge of Road at Places of Measurement.

Pvm. Date	Ilman keski- lämpö- tila, C° - Mean Temper- ature of Air, °C	Mittauspaikat - Places of Measurement																							
		Pelto Field				Varsinainen kon- pi - Ordinary Wet Spruce-hard- woods Peat-moor				Kalvakkaneva - Sphagnum losum Bog				MT kangas - Forest Land of Myrtillus Type				Isovarpuinen rä- me - Wet Pine Peat-moor with Undershrubs				Ojitettu iso- varp.räme - Drained Wet Pine Peat-moor with Undershrubs			
		Tien kesk. In Middle of Road		Tien siv. On Side of Road		Tien kesk. In Middle of Road		Tien siv. On Side of Road		Tien kesk. In Middle of Road		Tien siv. On Side of Road		Tien kesk. In Middle of Road		Tien siv. On Side of Road		Tien kesk. In Middle of Road		Tien siv. On Side of Road		Tien kesk. In Middle of Road		Tien siv. On Side of Road	
		Lumi Snow	Routa Frost	Lumi, keskim. Snow, mean	Routa, keskim. Frost, mean	Lumi Snow	Routa Frost	Lumi, keskim. Snow, mean	Routa, keskim. Frost, mean	Lumi Snow	Routa Frost	Lumi, keskim. Snow, mean	Routa, keskim. Frost, mean	Lumi Snow	Routa Frost	Lumi, keskim. Snow, mean	Routa, keskim. Frost, mean	Lumi Snow	Routa Frost	Lumi, keskim. Snow, mean	Routa, keskim. Frost, mean	Lumi Snow	Routa Frost	Lumi, keskim. Snow, mean	Routa, keskim. Frost, mean
		Lumen paksuus ja roudan syvyys, cm - Thickness of Snow and Depth of Frost, cm.																							
21.12.	- 3.8	15	11	38	0	46	6	50	0	15	10	43	0	36	0	37	0	15	13	50	0	23	5	47	0
9.1.	-13.7	11	23	50	0	21	22	47	1	31	12	60	0	22	23	55	14	35	9	70	0	41	2	65	3
16.1.	-14.5	26	18	56	2	32	24	74	3	23	23	69	3	46	5	58	8	54	8	65	6	42	7	75	4
23.1.	- 8.7	29	26	66	3	23	17	73	12	35	22	71	10	37	19	68	8	39	17	83	2	44	13	82	4
28.1.	- 7.0	24	25	57	6	20	16	70	8	29	23	64	9	32	18	66	9	38	19	66	4	48	15	80	3
3.2.	- 0.1	8	32	57	4	22	32	64	6	12	23	68	8	26	21	63	0	18	14	64	3	36	14	75	8

jatk. - cont.

Taulukko - Table 5.

jalk. - cont.

11.2.	-16.6	8	38	61	6	8	43	72	6	13	43	64	10	37	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17.2.	- 6.9	14	36	52	9	12	42	75	8	18	41	66	13	28	23	70	2	20	29	76	6	28	34	86	6
28.2.	- 5.5	8	48	56	14	10	32	74	10	13	39	67	11	23	30	64	7	14	37	72	10	22	28	82	7
6.3.	+ 1.9	0	48	38	5	8	41	61	9	12	32	51	8	23	34	59	2	15	37	62	9	13	36	71	5
11.3	+ 1.5	0	42	35	9	7	38	62	8	0	39	39	4	6	35	54	0	6	35	53	3	10	32	64	2
18.3.	- 7.2	0	46	37	12	15	40	62	10	0	48	42	6	8	36	56	8	0	42	54	10	12	38	62	7
Keskimmään Mean		11.9	32.8	50.3	5.8	18.7	29.4	65.3	6.8	16.8	29.6	58.7	6.8	27.0	22.1	59.0	5.3	23.1	23.6	65.0	4.8	29.0	20.4	71.7	4.5

pohjalta lapioittiin lumi joulukuussa, jäätyi maan pinnalle ulottuva pohjavesi hyvin. Roudan syvyys on ollut pienin kankaalla, jossa metsä on estänyt roudan muodostumista, ja ojitetulla rämeellä. Suurin roudan syvyys, 48 cm, on mitattu pellolla ja nevalle.

T i e n s i v u l t a suoritettut mittaukset kuvastavat ko-
paikkojen luontaista routaantumista. Lumipeitteen paksuuden ja
maan kosteuspitoisuuden vaihdellessa eri mittauskohdilla ei ha-
vainnoista saada tarkkaa kuvaa maalajin vaikutuksesta roudan sy-
vyteen. Routaantuminen on ollut voimakkainta korvessa ja neval-
la. Se, että routa on turvemaassa (VK ja KN) muodostunut paksum-
maksi kuin kivennäismaassa (pelto ja MT), vaikka lumen paksuus
kivennäismailla on ollut pienempi kuin turvemailed, johtunee maan
erilaisesta vesipitoisuudesta. Turvemaiden (VK ja KN) vesipitoi-
suus oli huomattavasti kivennäismaiden vesipitoisuutta suurempi.
Roudan syvyyden suurenemista maan vesipitoisuuden lisääntyessä
todistaa myös roudan muodostuminen ojittamattomalla rämeellä sy-
vemmäksi kuin ojitetulla. Muiden luontaisten routaantumisedelly-
tyksensä puolesta rämeet olivat likimain samanlaisia. Maan kosteus-
pitoisuuden vaikutusta roudan muodostumiseen turvemaassa valaisee
osaltaan kuva 1, johon on piirretty poikkileikkausprofiili auto-
tiestä nevalle ja rämeellä helmikuun havaintojen perusteella.

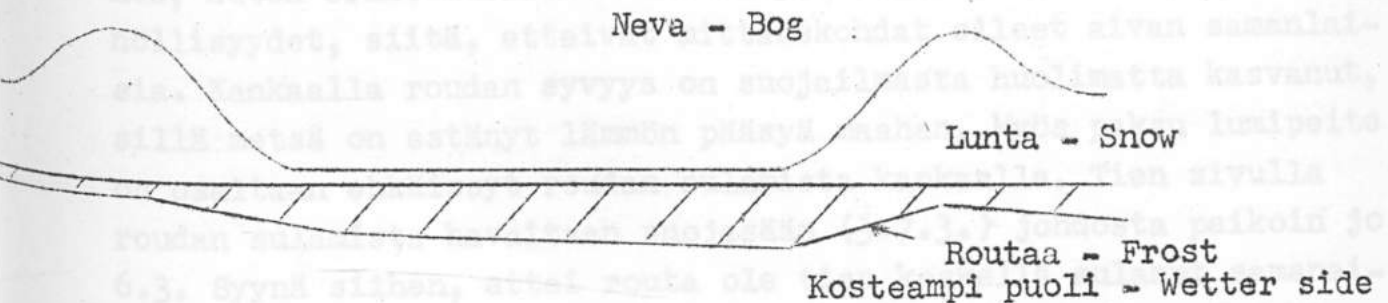
Routaantuminen on ollut voimakkainta tien kosteammalla puolel-
la. Saarijärvellä pohjaveden korkeus vaihteli kosteammalla puo-
lella 0-20 cm ja kuivemmalla puolella 10-40 cm. Havaintojen mu-
kaan siis turvemaassa maan kosteuspitoisuuden lisääntyessä roudan
syvyys on kasvanut. Kivennäismaissa tämän ovatkin useat tutkijat
todenneet. Routaantumisen voimistumista turvemailed maan vesipi-
toisuuden lisääntyessä todistavat H e i k u r a i s e n (s. 57)
Pohjois-Suomessa suorittamat mittaukset, joiden mukaan ojittama-
ton, luonnontilainen suo on jäänyt hieman syvempään kuin oji-
tettu.

Ilman lämpötilan vaikutuksesta roudan muodostumiseen on vaikea
tehdä tarkkoja johtopäätöksiä yhtenä talvena suoritettujen havain-
tojen perusteella. Ilman l ä m p ö t i l a n v a i h t e l u i-
d e n vaikutusta tarkasteltaessa kiintyy huomio ensi sijassa
roudan sulamiseen suojailmojen johdosta. Talvella 1947-48 oli ha-
vaintojen tekoaikana ainoastaan kaksi lyhyttä suojakautta, nimit-
tään 31.1.- 2.2. ja 3-7.3. Ensimmäisen suojan jälkeen (mittauk-
set suoritettiin 3.2.) tien keskellä ei juuri havaita roudan su-

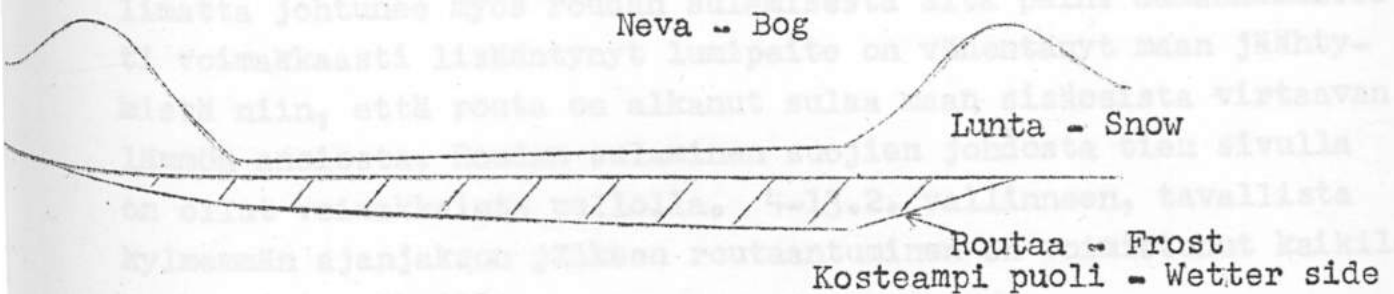
Kuva - Figure 1.

Maan kosteuspitoisuuden vaikutus roudan muodostumiseen -
Effect of Soil Humidity on Formation of Frost.

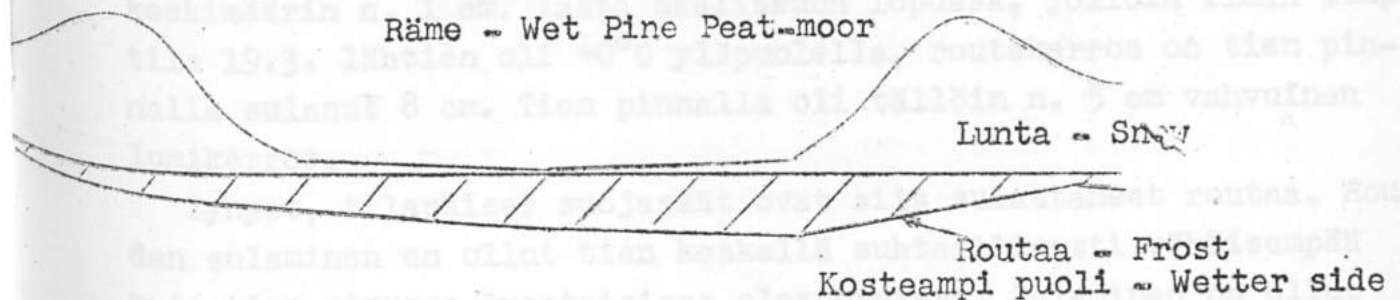
Saarijärvellä - At Saarijärvi



Kivijärvellä - At Kivijärvi



Räme - Wet Pine Peat-moor



Mittakaava } 1:50
Scale }

lamista. Päin vastoin routakerros on paikoin kasvanut, ainoastaan rämeillä se on hiukan sulanut. Mutta tien sivulla routakerros on tällöin ylipäähtänsä ohentunut. 3-7.3. vallinneen suojaileman jälkeen (mittaukset suoritettiin 11.3.) havaitaan tien keskellä roudan sulamista. Sen sijaan suojan aikana 6.3. suoritetuissa mittauksissa ei ole havaittavissa tien keskellä roudan sulamista. Roudan sulaminen suojan jälkeen on ollut suhteellisesti voimakkainta pellolla, jossa kasvipeite ja lumi eivät ole estäneet lämmön säteilyä maahan. Nevalle muodostunutta jääkerrosta suojailee ei ole pystynyt sulattamaan. Nevalla 6.3. saatu poikkeuksellisen pieni arvo johtune, kuten eräät muillakin mittauspaikoilla havaittavat epäsäännöllisyydet, siitä, etteivät mittauskohdat olleet aivan samanlaisia. Kankaalla roudan syvyys on suojailemasta huolimatta kasvanut, sillä metsä on estänyt lämmön pääsyä maahan. Myös paksu lumipeite on osaltaan ehkäissyt roudan sulamista kankaalla. Tien sivulla roudan sulamista havaitaan suojailemaan (3-7.3.) johdosta paikoin jo 6.3. Syynä siihen, ettei routa ole tien keskellä sulanut samanaikaisesti, lienee, että tien sivulla roudan sulamista on tapahtunut alta päin ohuemman routakerroksen alla aiemmin kuin paksun routakerroksen alla tien keskellä. Rämeillä tammikuun alkupuolella havaittava routakerroksen oheneminen ankarista pakkasista huolimatta johtune myös roudan sulamisesta alta päin. Samanaikaisesti voimakkaasti lisääntynyt lumipeite on vähentänyt maan jäähtymistä niin, että routa on alkanut sulaa maan sisäosista virtaavan lämmön ansiosta. Roudan sulaminen suojien johdosta tien sivulla on ollut voimakkainta pellolla. 4-13.2. vallinneen, tavallista kylmemmän ajanjakson jälkeen routaantumisen on voimistunut kaikkialla havaintopaikoilla.

Kivijärvellä (Lahti Oy.) suoritetuissa mittauksissa ei 31.1.-2.2. vallinneen suojaileman johdosta ole havaittu roudan sulamista autotiellä. 3-7.3. olleen suojan jälkeen routakerros on ohentunut keskimäärin n. 1 cm. Vasta maaliskuun lopussa, jolloin ilman lämpötila 19.3. lähtien oli $+0^{\circ}\text{C}$ yläpuolella, routakerros on tien pinnalla sulanut 8 cm. Tien pinnalla oli tällöin n. 5 cm vahvuinen lumikerros.

Lyhyet, tilapäiset suojailemat ovat siis sulattaneet routaa. Roudan sulaminen on ollut tien keskellä suhteellisesti vähäisempää kuin tien sivussa luontaisissa olosuhteissa. Sulaminen on ollut voimakkaampaa aukeilla paikoilla kuin metsässä.

Talvella 1947-48 paksu i u m i p e i t e hidasti osaltaan roudan muodostumista. Talvi oli maaliskuulle saakka verrattain runsasluminen. Tien keskellä lumipeite on ollut ohuin pellolla ja paksuin kankaalla ja ojitetulla rämeellä. Tien sivulla luontaisissa olosuhteissa lunta on ollut eniten rämeillä ja vähiten pellolla.

Lumipeitteen routaantumista estävä vaikutus ilmenee selvimmin verrattaessa mittauskohdittain tien keskeltä ja tien sivulta mitattuja roudan syvyyksiä keskenään. Melkein yksinomaan paksumman lumipeitteen vuoksi routakerros on tien sivulla jäänyt ohuemmaksi kuin tien keskellä. Lumipeitteen ohentuminen ja lumen tiivistymisen suojailmojen aikana on edistänyt routaantumista kaikilla mitauspaikoilla. Lumipeitteen paksuuden vaikutus roudan syvyyteen tien keskellä selviää kuvasta 2, johon kaikki tien keskeltä mitatut roudan syvyyshavainnot on ryhmitelty lumen paksuusluokittain. Riippuvaisuutta kuvaavan korrelaatiokertoimen arvoksi on saatu -0.78 ± 0.05 . Eri luokkien keskimääräiset roudan syvyydet on merkitty piirroksen pisteillä. Pisteet on yhdistetty toisiinsa murtoviivalla. Murtoviivasta nähdään lumipeitteen ohentuessa roudan syvyyden kasvaneen. Silmävauraisestikin huomataan, että murtoviiva voidaan suuremmitta virheittä tasoittaa suoraviivaisesti. Tasoitussuorana on käytetty ns. ensimmäistä regressiosuoraa, jonka yhtälöksi on saatu $y = -0.80 x + 41.26$. Tasoitussuora näkyy kuvasta 2 (s. 37).

Suoran kelpaavaisuus tasoitusviivaksi on tarkistettu ns. Pearsonin korrelaatiosuhteen avulla, jota merkitään kirjaimella η .

Se saadaan kaavasta

$$\eta^2 = r^2 + \frac{\frac{1}{n} \sum N_{\mu} (Y_{\mu} - Z_{\mu})^2}{\sigma_y^2}$$

jossa r = korrelaatiokerroin, n = kokonaisfrekvenssi, N = luokafrekvenssi, Y_{μ} = aineiston mukainen suuruusluokan keskiarvo, Z_{μ} = tasoitussuoralta saatava suuruusluokan keskiarvo ja σ_y = lumipeitteen paksuuden hajonta. Regression suoraviivaisuuden mittana käytetään oikean puolen jälkimmäistä yhteenlaskettavaa, jota merkitään kirjaimella ξ .

$$\xi = \frac{\frac{1}{n} \sum N_{\mu} (Y_{\mu} - Z_{\mu})^2}{\sigma_y^2}$$

Taulukkoon 6 on merkitty suuruusluokkien aineiston mukaiset N , Y_{μ} , Z_{μ} arvot sekä Y_{μ} ja Z_{μ} erotukset.

Taulukko - Table 6.

Roudan syvyys - Depth of Frost, cm	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50
N	4	5	8	6	13	4	9	10	7	4
Y_{μ}	37.5	36.5	30.0	29.2	24.0	22.5	12.5	10.5	8.9	3.8
Z_{μ}	39.25	35.28	31.30	27.31	23.33	19.34	15.36	11.38	7.40	3.40
Erotus - Difference	1.75	1.22	1.30	1.89	0.67	3.16	2.86	0.88	1.50	0.40

$\sigma_y = 13.07 \pm 1.11$. Sijoittamalla arvot edellä mainittuun kaavaan saadaan ξ :n arvoksi 0.017. Jos ξ on suurempi kuin sen kolminkertainen keskivirhe, ei suoraviivainen tasoitus kelpaa. ξ :n keskivirhe saadaan kaavasta:

$$\xi(\xi) = 2 \sqrt{\frac{\xi}{n}} \times \sqrt{(1 - \eta^2)^2 - (1 - r^2)^2 + 1}$$

$\xi(\xi) = 0.031$; $3 \times \xi(\xi) = 0.093$; ξ on siis pienempi kuin $3 \times \xi(\xi)$, joten murtoviiva voidaan tasoittaa suoraviivaisesti, eli lumipeitteen ohentuessa roudan syvyys on kasvanut suoraviivaisesti.

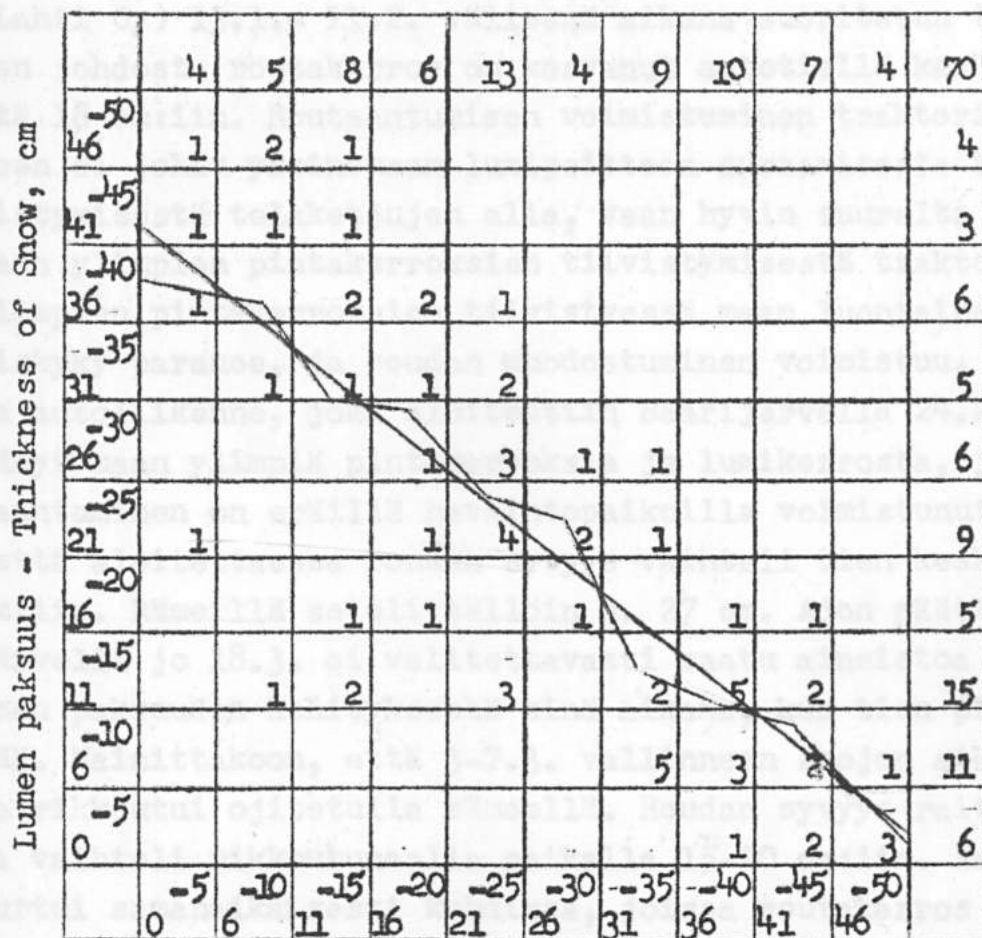
Edellä mainitun roudan syvyyden ja lumen paksuuden välistä korrelaatiota tien keskellä kivennäismailla ja turvemaille kuvaavan tasoitussuoran määrittäminen samoin kuin suoraviivaisen tasoituksen tarkistaminen on suoritettu *L i n d e b e r g i n* (ss. 122-139) ja *Y u l e n* (s. 352) esittämien kaavojen mukaan.

Koska roudan syvyys tien sivulla oli verraten pieni, näistä mittauksista ei käy ilmi yhtä selvästi kuin tien keskeltä suorite-
tuista havainnoista lumipeitteen paksuuden vaikutus maan routaan-
tumiseen. Mainittakoon, että tien sivulla n. 40 cm vahvuinen lumi-
peite on alkutalvesta voinut estää kokonaan roudan muodostumisen.

Tien keskellä suoritettut mittaukset kuvastavat lähinnä i h -
m i s e n t o i m e n p i t e i d e n vaikutusta maan routaan-

Kuva - Figure 2.

Roudan syvyyden ja lumen paksuuden välinen korrelaatio tien keskellä - Correlation Between Depth of Frost and Thickness of Snow in Middle of Road.



Roudan syvyys - Depth of Frost, cm
37.5 36.5 30.0 29.2 24.0 22.5 12.5 10.5 8.93 3.8

tumiseen. Näistä toimenpiteistä ovat tärkeimmät lumipeitteen poistaminen ja lumen tiivistäminen. Ensimmäisen traktoriaurauksen 8-17.1. jälkeen havaitaan roudan syvyyden kasvaneen kaikilla mitauspaikoilla. Osaltaan tähän on vaikuttanut myös silloin vallinnut alhainen ilman lämpötila. Lumipeitteen ohentuessa ja ilman lämpötilan laskiessa routaantuminen tien keskellä on voimistunut. Kankaalla ja rämeillä varsinaista aurausta ei suoritettu, vaan traktori ajoi edestakaisin puskuri ylhäällä. Vaikka mittaukset tehtiinkin tien keskeltä, jossa lumikerros ei ole sanottavasti ohentunut, roudan syvyys on siitä huolimatta kasvanut. Lämmön säteilyä on tapahtunut raiteiden kohdalta siksi voimakkaasti, että maa on jäähtynyt myös tien keskeltä. Mainittakoon, että roudan

syvyys turvemaissa oli liikenteen alettua raiteiden kohdalla keskimäärin n. 5-10 % suurempi kuin tien keskellä. Samoin toisen traktoriaurauksen jälkeen 3.2. routakerroksen havaitaan kasvaneen tien keskellä. Tien sivulta mitatuissa roudan syvyyshavainnoissa ei huomata vastaavassa määrin samansuuruisia muutoksia. Kivijärvellä (Lahti Oy) 13.1.- 11.2. välisenä aikana suoritettun traktoriaurauksen johdosta routakerros on kasvanut autotiellä keskimäärin 2 cm:stä 18 cm:iin. Routaantumisen voimistuminen traktoriaurauksen jälkeen ei johdu yksinomaan lumipeitteen auraamisesta tai lumen tiivistymisestä telaketjujen alla, vaan hyvin suurelta osalta myös maan ylimpien pintakerroksien tiivistymisestä traktorin alla. Maan ylimpien pintakerroksien tiivistyessä maan luontainen routaantumiskyky paranee, ja roudan muodostuminen voimistuu. Samoin jatkuva autoliikenne, joka aloitettiin Saarijärvellä 24.2., on tiivistänyt maan ylimpiä pintakerroksia ja lumikerrosta, jolloin routaantuminen on eräillä havaintopaikoilla voimistunut. Autoliikennettä aloitettaessa roudan syvyys vaihteli tien keskellä 25-35 cm:iin. Rämeillä se oli tällöin n. 27 cm. Ajon päättyessä Saarijärvellä jo 18.3. ei valitettavasti saatu aineistoa jäätyneen maan osan paksuuden kehityksestä sinä aikana, kun tien pinta alkaa pettää. Mainittakoon, että 3-7.3. vallinneen suojan aikana tien pinta rikkoutui ojitetulla rämeellä. Roudan syvyys raiteiden kohdalla vaihteli rikkoutuneella paikalla 15-20 cm:iin. Nevoilla tie murtui samanaikaisesti kohdissa, joissa routakerros oli 20-25 cm paksu, mutta tien pinta oli näillä paikoilla tavallista epätasaisempi.

Kuten taulukosta 5 näkyy, roudan muodostumista tien keskellä on jatkunut maaliskuun puoliväliin saakka. Kivijärvellä (Lahti Oy) suoritettujen mittauksen mukaan routa on alkanut sulaa autotiellä 17.3. lähtien.

Maan lämpötila

Taulukosta 7 käy ilmi maan lämpötilan kehitys tien keskellä mittauskohdittain.

Maan lämpötila on ollut alhaisin pellolla. Tämä johtunee ensisijassa ohuesta lumipeitteestä. Huomiota herättää, että nevalla maa on ollut aivan pinnalla ja 10 cm syvyydessä lämpimämpi kuin pellolla, kankaalla ja korvessa, mutta 30 cm syvyydessä kylmempi. Samoin ojitetulla rämeellä maa on ollut pinnalla ja 10 cm syvy-

Taulukko - Table 7.

Lämpötilan kehitys mittauskohdittain maan pinnalla, 10 cm ja 30 cm syvyydessä tien keskellä.
 Variations in Ground Temperature at Observation Sites, at Depth of 10 cm and 30 cm, in Middle of Road.

Pvm. Date	Pelto Field			Varsinainen kor- pi - Ordinary Wet Spruce-hard- woods Peat-moor			Kalvakka neva - Sphagnum Papillosum Bog			MT kangas - Forest Land of Myrtillus Type			Isovarpuinen rä- me - Wet Pine Peat-moor with Undershrubs			Ojitettu iso- varp.räme - Drained Wet Pine Peat-moor with Undershrubs		
	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm
Lämpötila, C - Temperature, C																		
21.12.47	-2.50	-1.25	0	-0.25	+0.50	-	0	+0.25	-	0	+0.50	+1.00	0	+0.75	+1.50	-1.00	+0.25	+0.50
9.1.48	-7.00	-2.25	+0.25	-8.00	-1.00	-0.25	-3.00	+0.25	-	-4.00	-2.75	-2.50	-3.25	+0.25	+1.50	-7.00	-1.5	+1.50
16.1.48	-5.00	-2.00	+0.25	-3.25	-2.50	+0.50	-2.75	-2.00	+1.00	-2.25	-1.00	+0.25	-1.50	0	+1.25	-2.00	-0.25	+1.75
23.1.48	-1.50	-1.00	+0.25	-1.50	0	+0.25	-0.50	0	+0.25	-1.25	-1.00	+0.25	-0.75	-1.00	+1.00	-1.25	-1.00	+2.00
28.1.48	-1.00	0	-0.25	-1.00	-0.25	+0.50	-0.50	+0.25	+0.25	-1.00	0	+0.50	-0.25	+0.25	+1.00	-1.00	+0.25	+1.50
3.2.48	-0.25	+0.25	-0.25	-0.25	-0.25	0	0	-0.25	+0.25	-0.25	0	0	-0.25	-0.50	+0.50	-0.50	-0.25	0
11.2.48	-6.50	-5.00	-1.75	-6.00	-5.00	-2.50	-4.75	-3.75	-3.25	-5.75	-4.00	+0.25	-	-	-	-	-	-
17.2.48	-6.50	-6.00	-3.00	-5.00	-3.75	-2.25	-4.50	-3.00	-2.75	-3.50	-2.00	-1.50	-2.00	-1.00	-0.25	-3.75	-2.75	-0.75
28.2.48	-4.00	-4.75	-3.00	-3.50	-2.25	-1.00	-3.25	-2.25	-2.00	-5.50	-2.25	-1.25	-2.00	-1.00	-1.00	-3.75	-2.00	-0.25
6.3.48	0	-0.75	-0.50	-0.50	-1.00	-0.50	-0.75	-1.25	-0.50	-0.75	-0.50	+0.25	-0.50	-0.25	-0.50	-0.50	-0.25	-0.50
11.3.48	-6.00	-3.50	-2.00	-6.00	-4.25	-2.25	0	-1.50	-1.50	-6.25	-3.75	-1.50	-3.00	-3.00	-1.25	-3.50	-1.50	-1.50
18.3.48	-8.50	-6.50	-5.25	-8.25	-6.75	-5.50	-6.50	-7.00	-5.50	-7.75	-7.25	-5.50	-7.25	-6.25	-4.75	-6.50	-6.00	-3.25
Keskim. Mean	-4.05	-2.73	-1.27	-3.63	-2.21	-1.18	-2.21	-1.69	-1.38	-3.19	-2.00	-0.81	-1.89	-1.07	-0.91	-2.80	-1.36	+0.91

dessä kylmempi kuin ojittamattomalla, mutta 30 cm syvyydessä lämpimämpi. Eri mittauskohdilla tien keskeltä mitattujen maan lämpötilahavaintojen vertailua keskenään vaikeuttaa erilainen lumikerroksen paksuus, joka mittauskohdittain vaihteli huomattavasti.

Taulukosta 8 selviää maan lämpötilan kehitys tien sivulla mittauskohdittain.

Nämä arvot kuvastavat ~~tolvon 1947-48~~ maan lämpötiloja luontaisissa olosuhteissa. Lämpötilat vaihtelevat mittauskohdittain veraten vähän. Kuten aikaisemmin on mainittu, maan lämpötila on läheisessä yhteydessä ilman lämpötilaan. Tarkasteltaessa taulukoista 7 ja 8 ilman lämpötilanvaihteluiden (ks. piirrosta 3) vaikutusta maan lämpötilaan havaitaan maan lämpötilanvaihteluiden olevan samansuuntaisia kuin ilman lämpötilanvaihteluiden, mutta ne ovat huomattavasti pienemmät. Selvimmin ilman lämpötilanvaihteluiden vaikutus ilmenee maan pinnalta mitatuissa lämpötilahavainnoissa. Syvemmällä maassa lämpötilanvaihtelut tulevat yhä pienemmiksi. Kuten taulukoista nähdään, maan lämpötila kasvaa syvemmälle mentäessä (vrt. H o m e n 1896, s. 112). Maan lämpötilan kehityksestä kerätyn aineiston perusteella ei suinkaan ollut tarkoitus ryhtyä selvittämään maan lämpötilan kehitystä eri olosuhteissa. Tätä tarkoitusta varten aineisto on aivan liian pieni ja ennen kaikkea havainnot on suoritettu liian lyhyenä ajanjaksona. Tämän selvittäminen vaatii ympärivuotista havaintoaineistoa. Nyt kerätyn aineiston tarkoitus onkin lähinnä valaista roudan muodostumisen ja maan lämpötilan riippuvaisuutta toisistaan.

Taulukoista ilmenee:

1. Tien keskellä tavataan routaa eräin paikoin jo silloin, kun lämpötila maan pinnalla on 0°C ja syvempänä + ast iden puolella. Tien sivulla roudan muodostuminen näyttää alkaneen maan pinnan lämpötilan ollessa 0 - 1.0°C . Kangas on jäätynyt ensin ja turvemaat viimeksi.
2. Routaantumisen edistyessä maassa olevan veden jäätymispiste näyttää alentuneen, sillä esim. maaliskuussa tien sivulla maan lämpötilan ollessa 10 cm syvyydessä -0.5 - -1.4°C roudan syvyys on melkein poikkeuksetta ollut < 10 cm.
3. Roudan muodostuminen seuraa ylipäättensä maan lämpötilan kehitystä. Maan lämpötilan laskiessa routaantuminen voimistuu ja päinvastoin. Huomiota herättää, että 3-7-30 vallinneen suojailman aikana, jolloin maan lämpötila on noussut (mittaukset suoritettu

Taulukko - Table 8.

Lämpötilan keskimääräinen kehitys maan pinnalla, 10 cm ja 30 cm syvyydessä tien sivulla mittauskohdittain.
Mean Variation in Ground Temperature at Depths of 10 cm and 30 cm at Edge of Road at Various Places of Measurement.

Pvm. Date	Pelto Field			Varsinainen kor- pi - Ordinary Wet Spruce-hard- woods Peat-moor			Kalvakka neva - Sphagnum Papil- losum Bog			MT kangas - Forest Land of Myrtillus Type			Isovarpuinen rä- me - Wet Pine Peat-moor with Undershrubs			Ojitettu isovar- puinen räme - Drained Wet Pine Peat-moor with Undershrubs		
	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm
Lämpötila, °C - Temperature, °C																		
21.12.47	-0.17	+0.21	+0.83	0	+0.38	+1.29	+0.42	-	-	+0.21	+0.50	+0.60	+0.31	+1.06	+2.31	+0.25	+0.50	+0.75
9.1.48	-0.67	+0.21	+0.71	-1.04	+0.46	+1.08	+0.21	+0.42	-	-1.54	-0.46	+0.08	-1.54	+0.63	+1.92	-1.54	+0.25	+1.13
16.1.48	-0.38	+0.03	+0.42	-0.54	+0.21	+1.50	-0.63	+0.38	+1.50	-1.42	-0.13	+0.29	-0.63	0	+2.00	-1.46	+0.54	+1.67
23.1.48	-0.13	+0.42	+0.92	-0.88	-0.33	+1.17	-0.50	+0.03	+1.21	-1.25	-0.46	+0.63	-0.21	+0.29	+1.96	-0.46	0	+1.88
28.1.48	-0.17	+0.25	+0.67	-0.29	+0.21	+1.38	-0.42	0	+1.17	-0.63	-0.29	+0.70	0	+0.46	+1.63	-0.29	+0.17	+1.79
3.2.48	+0.04	+0.38	+1.08	-0.04	+0.50	+1.10	+0.17	+0.42	+1.13	0	+0.92	+1.05	-0.04	+0.58	+1.29	+0.17	+0.54	+1.38
11.2.48	-1.33	0	+1.00	-1.79	+0.33	+0.75	-1.08	+0.29	+0.63	-0.75	+0.25	+0.63	-	-	-	-	-	-
17.2.48	-1.71	-1.00	-0.50	-1.96	-1.21	+0.15	-1.09	-0.42	+0.21	-1.91	-0.25	+0.09	-1.50	-0.83	+0.46	-1.63	-0.71	+0.33
28.2.48	-1.75	-1.04	+0.17	-1.04	-0.54	-0.17	-1.79	-0.96	-0.33	-1.67	-0.83	-0.09	-1.29	-0.92	-0.88	-1.25	-0.63	-0.46
6.3.48	-0.54	-0.38	+0.08	-0.75	-0.42	0	-0.92	-0.58	-0.13	-0.70	-0.46	+0.54	-0.58	-0.50	+0.25	-0.63	-0.33	+0.17
11.3.48	-1.38	-1.13	-0.63	-1.29	-1.04	-0.83	-1.42	-1.04	-0.67	-1.16	-0.50	-0.21	-1.13	-0.88	-0.08	-1.21	-1.08	-0.08
18.3.48	-2.38	-1.38	-1.04	-2.38	-1.25	-0.88	-2.63	-1.29	-1.04	-1.91	-1.20	-0.91	-3.21	-1.25	-0.75	-2.13	-1.17	-0.83
Keskin. Mean	-0.88	-0.28	+0.31	-1.00	-0.23	+0.55	-0.81	-0.25	+0.37	-1.06	-0.24	+0.28	-0.89	-0.12	+0.92	-0.93	-0.17	+0.70

6.3.), tien sivulla roudan syvyys on hiukan pienentynyt, mutta ei tien keskellä. 11.3. maan lämpötilan havaitaan laskeneen, mutta routakerros on siitä huolimatta ohentunut. Kenties tähän on vaikuttanut maassa olevan veden jäätymispisteen aleneminen, joka on aiheuttanut sen, että roudan sulamista on jatkunut, vaikka maan lämpötila onkin hiukan laskenut. Vasta sitten, kun maan lämpötila on laskenut tämän uuden jäätymispisteen alapuolelle, roudan muodostuminen on alkanut jälleen.

Koealoilla suoritettut havainnot

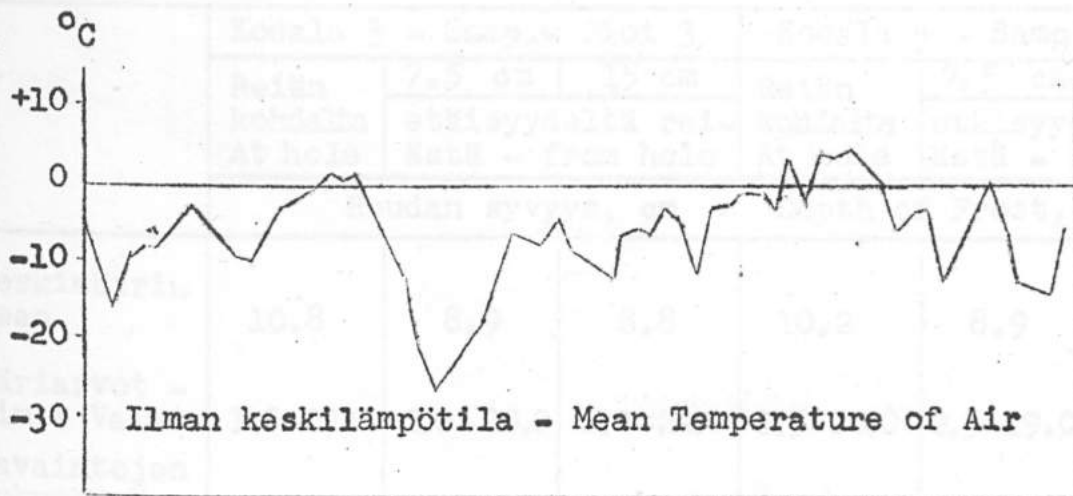
Koealojen laatu ja niillä suoritettut mittaukset on esitetty sivulla 27. Roudan syvyyden ja lumen paksuuden päivittäinen kehitys koealoilla selviää kuvasta 3. Routaantuminen on ollut voimakainta koealalla 1. Muilla koealoilla roudan syvyys on jäänyt huomattavasti pienemmäksi. Kun koealat luontaisten routaantumisedellytystensä puolesta olivat samanlaisia, koealojen 2, 3 ja 4 helpompi routaantuminen johtuu yksinomaan lumipeitteestä. Koska roudan syvyys koealoilla 3 ja 4 ei ollut suurempi kuin koealalla 2, ei erikoisen piikeillä varustetun jyrän käyttäminen sileän jyrän asemesta liene maan routaantumisen kannalta välttämätöntä. Koealojen ulkopuolella roudan syvyys oli keskimäärin 30 % roudan syvyydestä koealalla 1 ja 75 % muiden koealojen roudan syvyydestä.

Kuten kuvasta 3 näkyy, 31.1.-2.2. ja 3-7.3. vallinneet suojakaudet ovat sulattaneet routaa koealalla 1. Muilla koealoilla ei tällöin juuri havaita roudan sulamista. 4-11.2. ollut pakkaskausi on edistänyt routaantumista koealalla 1 huomattavasti enemmän kuin muilla koealoilla. Lumipeite on siis suojannut maan pintakerroksia tilapäisiltä ilman lämpötilanvaihteluilta. Lumipeitteen ohentuminen ja lumen tiivistyminen viimeisen suojan (3-7.3.) aikana on edistänyt roudan muodostumista koealoilla 2, 3 ja 4. Reiätetyillä koealoilla (3 ja 4) roudan syvyysmittaukset suoritettiin reikien kohdalta sekä 7.5 ja 15 cm etäisyydeltä reiästä. Koealojen 3 ja 4 eri kohdilta mitatut keskimääräiset roudan syvyydet ilmenevät taulukosta 9.

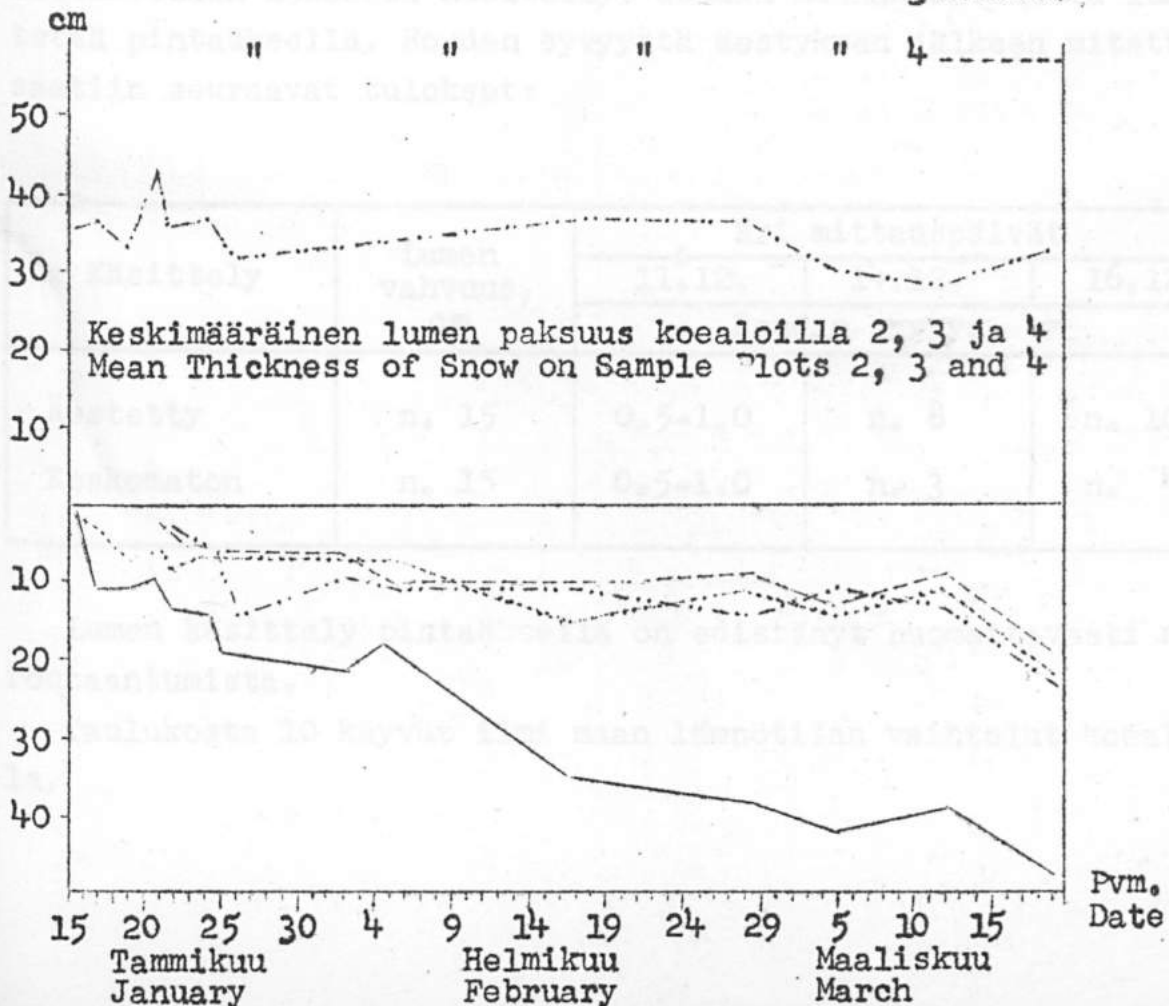
Siitä havaitaan, että roudan syvyys on ollut suurin reikien kohdalla, vaikka suuria eroja muihin arvoihin verrattuna ei ole. Kuva 3 on piirretty pienimpien arvojen mukaan, siis 15 cm etäisyydeltä reiästä mitattujen roudan syvyyshavaintojen perusteella.

Kuva - Figure 3.

Roudan syvyyden päivittäinen kehitys koealoilla ja ilman keskilämpötila - Daily Variation of Depth of Frost in Sample Plots and Mean Temperature of Air.



Päivittäinen roudan syvyys koealalla n:o 1 _____
 Daily Depth of Frost in Sample plot no. 1
 " " " " 2 - - - - -
 " " " " 3
 " " " " 4 - - - - -



Taulukko " Table 9.

Koealojen 3 ja 4 reiän kohdalta, 7.5 ja 15 cm etäisyydeltä reiästä mitatut keskimääräiset roudan syvyydet (cm)

Mean Depths of Frost (cm) of Sample Plots 3 and 4, Taken at Hole and 7.5 cm and 15 cm from Hole.

	Koeala 3 - Sample Plot 3			Koeala 4 - Sample Plot 4		
	Reiän kohdalta At hole	7.5 cm etäisyydeltä reiästä 7.5 cm from hole	15 cm etäisyydeltä reiästä 15 cm from hole	Reiän kohdalta At hole	7.5 cm etäisyydeltä reiästä 7.5 cm from hole	15 cm etäisyydeltä reiästä 15 cm from hole
	Roudan syvyys, cm			Depth of Frost, cm		
Keskimäärin Mean	10.8	8.9	8.8	10.2	8.9	8.7
Ääriarvot Limit Values	1.0-21.0	2.0-20.0	2.0-21.0	2.5-20.0	2.5-19.0	2.5-18.0
Havaintojen lukumäärä Number of Observations	14	14	14	11	11	11

Mainittakoon, että J u u s e l a (1941, s 90) on v.1940 suorittamissaan kokeissa käsitellyt sulaan maahan satanutta lumipeitettä pintaäkeellä. Roudan syvyyttä äestuksen jälkeen mitattaessa saatiin seuraavat tulokset:

Käsittely	Lumen vahvuus, cm	Eri mittauspäivät		
		11.12.	14.12.	16.12.
		Roudan syvyys, cm		
Äestetty	n. 15	0.5-1.0	n. 8	n. 10
Koskematon	n. 15	0.5-1.0	n. 3	n. 4

Lumen käsittely pintaäkeellä on edistänyt huomattavasti maan routaantumista.

Taulukosta 10 käyvät ilmi maan lämpötilan vaihtelut koealoilla.

Taulukko - Table 10.

Lämpötilan kehitys koealoilla maan pinnalla, 10 cm ja 30 cm syvyydessä.
 Variations in Temperature on Sample Plots, on Ground, at Depths of 10 cm and 30 cm.

Pvm. Date	Koeala - Sample Plot											
	1			2			3			4		
	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm	Maan pinnalla On Ground	10 cm syvyydessä At Depth of 10 cm	30 cm syvyydessä At Depth of 30 cm
	Lämpötila, °C - Temperature, °C											
15.1.48	-11.00	-0.75	+ 2.00	+ 0.25	+ 0.50	+ 2.25	- 1.25	- 0.75	+ 2.50	-	-	-
17.1."	-12.50	-1.50	+ 1.25	- 0.25	0	+ 2.00	- 1.00	+ 0.25	+ 2.00	-	-	-
19.1."	- 3.25	-1.25	+ 1.75	- 4.00	- 1.00	+ 1.50	- 1.25	- 1.00	+ 2.25	-	-	-
21.1."	- 1.00	-1.00	+ 2.00	+ 0.25	0	+ 1.50	- 0.50	- 1.00	+ 2.00	0	0	+ 2.25
22.1."	- 2.50	-1.00	+ 1.25	0	0	+ 2.00	- 0.50	0	+ 1.75	0	0	+ 2.00
24.1."	- 3.00	-1.00	+ 1.25	- 1.50	- 0.50	+ 1.25	- 1.00	0	+ 1.75	0	-0.25	+ 1.75
25-26.1"	- 7.25	-0.75	+ 0.75	- 1.50	0	+ 1.50	- 1.00	+ 0.25	+ 1.50	- 1.00	+1.00	+ 1.50
2.2."	+ 0.25	0	+ 0.50	0	+ 0.25	+ 0.75	- 0.25	- 0.50	+ 1.00	0	+0.50	+ 1.25
5.2."	- 5.25	-2.75	+ 1.00	- 0.75	+ 1.00	+ 1.50	- 1.75	+ 0.25	+ 1.75	- 1.75	+0.50	+ 1.75
17.2."	- 4.00	-2.25	- 1.50	- 2.00	- 1.25	0	- 2.00	- 1.25	+ 0.25	- 1.75	-1.75	+ 0.50
28.2."	- 3.50	-3.00	- 0.75	- 1.00	- 0.25	- 0.50	- 1.25	- 1.25	- 0.50	- 1.00	-0.50	0
5.3."	+ 4.00	-0.50	- 0.25	0	- 0.50	0	- 0.75	- 0.50	- 0.75	- 0.75	-0.75	0
12.3."	- 2.50	-3.50	- 1.25	- 1.25	- 1.25	- 0.75	- 1.00	- 1.25	- 0.75	- 1.25	-1.00	- 0.75
19.3."	- 2.25	-2.25	- 2.00	- 2.50	- 1.25	- 1.00	- 3.00	- 1.75	- 1.25	- 2.25	-1.50	- 1.25
Keskim. Mean	- 3.83	-1.54	+ 0.43	- 1.02	+ 0.30	+ 0.86	- 1.18	- 0.61	+ 0.96	- 0.89	-0.34	+ 0.82

Date	Hour	Temperature												Wind direction	Wind speed	Remarks
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12			
12.12.1954	12	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	0	0	12.00
12.12.1954	13	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	0	0	13.00
12.12.1954	14	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	0	0	14.00
12.12.1954	15	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	0	0	15.00
12.12.1954	16	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	0	0	16.00
12.12.1954	17	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	0	0	17.00
12.12.1954	18	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	0	0	18.00
12.12.1954	19	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	0	0	19.00
12.12.1954	20	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0	0	20.00
12.12.1954	21	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	0	0	21.00
12.12.1954	22	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	0	0	22.00
12.12.1954	23	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	0	0	23.00
12.12.1954	24	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	0	0	24.00
12.12.1954	25	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	0	0	25.00
12.12.1954	26	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	0	0	26.00
12.12.1954	27	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	0	0	27.00
12.12.1954	28	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	0	0	28.00
12.12.1954	29	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	0	0	29.00
12.12.1954	30	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0	0	30.00
12.12.1954	31	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	0	0	31.00

Автоматический метеорологический прибор "Мир" (тип "Мир-1")

Ленинград - 1954

Koealojen 3 ja 4 lämpötilat on mitattu 15 cm etäisyydeltä reiästä. Maan lämpötila on ollut alhaisin koealalla 1. Muilla koealoilla maan lämpötilat ovat jokseenkin yhtä suuret. Lämpötilaerot koealan 1 ja muiden koealojen välillä johtuvat yksinomaan lumipeitteestä, joka huonona lämmönjohtajana on estänyt lämmön säteilyä maasta. Lumipeite on myös pienentänyt ilman lämpötilanvaihteluiden vaikutusta maan lämpötilaan, sillä koealalta 1 mitatuissa maan lämpötilahavainnoissa ilmenee selvimmin ilman lämpötilanvaihteluiden vaikutus.

Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeiden tarkoitus ja suoritustapa on selvitetty aikaisemmin. Niiden tulokset selviävät seuraavasta asetelmasta.

	<u>KN</u>		<u>IR</u>		<u>IR ojitettu</u>	
	<u>kg/cm²</u>	<u>vesip.%</u>	<u>kg/cm²</u>	<u>vesip.%</u>	<u>kg/cm²</u>	<u>vesip.%</u>
Puristuslujuus	84.0	80.8	67.0	85.3	59.0	74.1
- " -	94.0	86.6	109.0	89.9	72.5	87.1
Taivutus-, vetolujuus	32.0	80.8	25.0	85.3	17.0	74.1
" " "	58.5	85.7	49.5	89.6	44.5	85.6
Mutautumisaste	3		4		5	

Saadut lujuusarvot ovat kolmen kokeen keskiarvoja. Lujuuskokeiden suorittajien hävitettyä primääriaineiston ei yksityisten kokeiden tuloksia ole tiedossa. Vesipitoisuusprosentit on laskettu kostean aineen painosta. Mutautumisaste on määrätty makroskooppisesti ns. v. P o s t i n kaavan perusteella.

Vaikka aineisto onkin näin pieni, havaitaan luvuista selvästi lujuusarvojen kasvavan vesipitoisuuden lisääntyessä, siis kuta kosteampi turvemaa on, sitä kantavammaksi routakerros muodostuu. Suurin vesipitoisuus (86-90 %) vastasi lähimain ko. paikkojen luontaista vesipitoisuutta. Mainittakoon, että esim. betonin sallittu puristusjännitys vaihtelee 40-60 kg/cm², pelkän taivutuksen tai epäkeskeisen normaalivoiman vaikuttaessa sallittu lujuus saa olla ≤ 30 kg/cm² ja taivutuksen sekä vedon yhtäaikaa vaikuttaessa ≤ 18 kg/cm² (Suomen Asetuskokoelma N^o 739, s. 1246).
P e r s s o n i n (s. 411) mukaan Ruotsissa suoritetuissa jään

lujuustutkimuksissa puhtaan jään vetolujuus vaihteli 2.5 - 15.7 kg/cm², keskimäärin 7-8 kg/cm². Että jäätyneen turpeen lujuusarvot ovat näinkin suuret, johtunee siitä, että veden jäätyessä turvemaassa turpeessa olevat lahoamattomat kasvisjätteet toimivat jään sisässä sideaineena kuten rauta betonissa. Turpeen mutautumisasteen suurentuessa, jolloin kasvisrakenne häviää (L u k k a l a, s. 50), turvemaan kantokyky pienenee. Kuten asetelmasta näkyy, lujuusominaisuudet ovat ylipäättänsä olleet suurimmat nevalta otetuilla turvenäytteillä ja pienimmät ojitetulta rämeeltä otetuilla näytteillä. Turpeen mutautumisaste on ollut pienin nevalalla ja suurin ojitetulla rämeellä.

Laboratoriokokeina saatujen lujuusarvojen perusteella laskettiin teoreettisesti, kuinka vahva routakerroksen turvemaalla tulisi olla, jotta se kannattaisi määrätyn painoisen liikkuvan kuorman. Koska laskutoimituksissa jouduttiin käyttämään osittain epävarmoja tekijöitä, esitetään seuraavassa laskutoimitus yksityiskohtaisesti. Tunnetaan:

1. Laboratoriokokeina määrätty lujuusarvot kg/cm² = $\sigma_{murt.}$. Kun laskutoimituksissa jäätynyttä turvekerrosta on käsitelty molemmista päistään tuettuna laattana, jonka keskellä vaikuttaa pystysuora voima (auton paino), tulee tällöin kysymykseen taivutusvetolujuus. Laskuissa on lujuusarvoista käytetty kolminkertaista varmuutta, siis $\sigma_{murt.} = 3\sigma_{sall.}$

2. Tilapäisten talviautoteiden normaalileveys 3.5 m (K i n n a n - L i n d f e l t, s. 12).

3. Jotta laskutoimitus antaisi mahdollisimman suuren varmuuden, otettiin laskujen kohteeksi raskas, perävaunuton auto. Auton paino tyhjänä on 4.5 tn ja kuormattuna maksimipaino 10 tn. Liikennejärjestyssäännöstä annetun asetuksen (Suomen Asetuskokoelma N^o 490-491, s. 1177) mukaan kestopäällysteisellä I luokan tiellä ja kadulla auton suurin sallittu kokonaispaino on kuitenkin vain 9 tn. Laskut on suoritettu perävaunutonta autoa silmällä pitäen, koska se antaa epäedullisemman, ts. varovaisemman tuloksen kuin perävaunullinen auto, jossa kuorman paino jakautuu useammalle pyörälle. Tien pohja saa tietenkin olla tällöin heikompä kuin perävaunutonta autoa käytettäessä.

Laskuissa on auton pyöräpainon oletettu aiheuttavan tasaisesti jakautuneen reaktion routakerroksen alapintaa vastaan. Kun vähäistä lumi- ja routakerroksen omaa painoa ei oteta huomioon,

reaktio on yhtä suuri kuin auton paino.

Laskutoimitus perustuu seuraaviin lujuusopin kaavoihin (R a h_{aut} t u):

$$\sigma_{\text{sall.}} = \frac{M}{W}$$

σ = taivutusvetolujuus kg/cm², M = voiman momentti ja W = vastustusmomentti.

$\sigma_{\text{sall.}}$ on tässä tapauksessa $1/3 \sigma_{\text{murt.}}$

Voiman momenttina on käytetty ns. tukimomenttia, koska se antaa epäedullisemmän, ts. varovaisemman tuloksen kuin ns. kenttämomentti.

$$\text{Tukimomentti} = M = \frac{\varphi \times p \times l_2^2}{2}, \text{ kenttämomentti} = \frac{\varphi \times p \times l_1^2}{8}$$

φ = sysäyskerroin 1.4. Tämä on likimain sama kuin mitä käytetään puusiltoja suunniteltaessa (Puurakenteiden normaalimääräykset, s. 6).

$p = \frac{2}{1} \frac{P}{l}$ tn/m P = kuorma pyörää kohden. Laskuissa on käytetty takapyöriin kohdistuvaa kuormaa, joka on 2/3 koko auton painosta.

$$l_2 = \frac{l - l_1}{2}$$

l = laatan pituus, jolla kuorma vaikuttaa, tässä tapauksessa tien leveys 3.5 m.

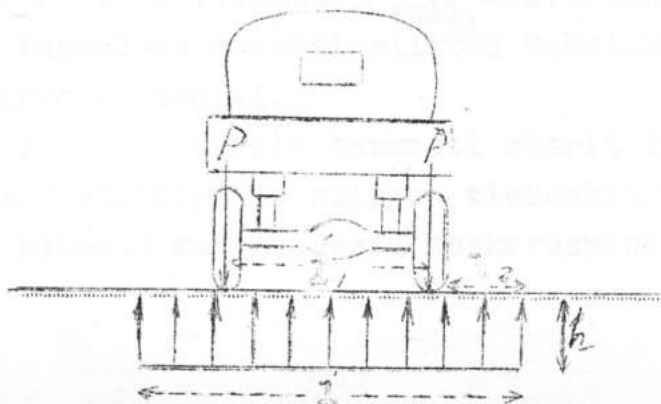
l_1 = auton raideleveys 1.7 m.

$$W = \frac{b \times h^2}{6}$$

b = laatan leveys (cm) = auton renkaan maahankosketuspinta auton pituussuunnassa, arvioitu 50 cm:ksi.

h = laatan korkeus (cm) = jäätyneen turvekerroksen paksuus.

Seuraava piirros valaisee tarkemmin eri tekijöitä.



Esim. ojitetulla rämeellä (vesipitoisuuden ollessa 85.6 % kostean aineen painosta)

$$\sigma_{\text{sall.}} = 1/3 \sigma_{\text{murt.}} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$p = \frac{2/3 \times 10}{2} = 3.5 \text{ tn, jolloin } p = 2 \text{ tn/m}$$

$$\underline{1.4 \times 2 \times 0.9}$$

P a i n o v i r h e

Väärin

Oikein

$$M = \frac{1.4 \times 2 \times 0.9}{2}$$

$$M = \frac{1.4 \times 2 \times 0.9^2}{2}$$

Sivu 49, rivi 5 ylh.

name, ojitettu 48 " (31 ")

Tulokset osoittavat selvästi, että mitä kuivempaa turvemaata on, sitä vahvempi täytyy routakerroksen olla, jotta se kannattaisi autoliikenteen. Suluissa olevat luvut ilmaisevat, kuinka vahva routakerros kannattaa tyhjän auton. Mainittakoon, että R o u s t e e n (s. 157) mukaan 35 cm vahvuinen puhdas syysjää kannattaa raskaan kuorma-auton, n. 6.4 tn.

Vaikka ko. arvot ovatkin teoreettisesti laskettuja ja laskutoimituksissa on käytetty tekijöitä, joiden suuruutta ei tarkoin pystytä määrittämään, ne ovat kuitenkin suuntaa antavia ja pohjana myöhemmille lisätutkimuksille. Epävarmuutta aiheuttavat seuraavat tekijät:

1. Lujuusarvot $\sigma_{\text{murt.}}$ ovat vain kolmen kokeen keskiarvoja, joten niiden perusteella on ennenaikaista mennä tekemään lopullisia johtopäätöksiä turvemaan lujuusominaisuuksista.
2. Kolminkertainen varmuus $\sigma_{\text{sall.}}$ -arvoissa voi olla liian suuri. Tässä tapauksessa voisi riittää kaksinkertainen varmuus, jolloin h:n arvo pienenee.
3. b:n arvo ei ole täysin tarkasti määriteltävissä. Auton renkaan maahankosketuspinta riippuu tietenkin renkaan ilman paineesta. Ilman paineen suurentuessa kosketuspinta pienenee, jolloin

Esim. ojitetulla rämeellä (vesipitoisuuden ollessa 85.6 % kostean aineen painosta)

$$\sigma_{\text{sall.}} = 1/3 \sigma_{\text{murt.}} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$p = \frac{2/3 \times 10}{2} = 3.5 \text{ tn, jolloin } p = 2 \text{ tn/m}$$

$$M = \frac{1.4 \times 2 \times 0.9}{2} \text{ tn/m} = 113 \text{ 400 kg/cm}$$

$$\sigma_{\text{sall.}} = 15 = \frac{113 \text{ 400} \times 6}{50 \times h^2}; \quad h = \sqrt{\frac{113 \text{ 400} \times 6}{50 \times 15}} = 30 \text{ cm}$$

Tämän mukaan ojitetulla rämeellä vesipitoisuuden ollessa 85.6 % kostean aineen painosta 30 cm (20 cm) vahvuinen jäänyt turvekerros kannattaa 10 tn painoisen autokuorman. Vastaavat arvot nevalla ja ojittamattomalla rämeellä ovat 26 cm (17 cm) ja 28 cm (19 cm). Vesipitoisuuden ollessa pienempi (ks. s. 46) luvut

ovat:	Neva	35 cm (23 cm)
	Räme, ojittamaton	41 " (27 ")
	Räme, ojitettu	48 " (31 ")

Tulokset osoittavat selvästi, että mitä kuivempaa turvemaata on, sitä vahvempi täytyy routakerroksen olla, jotta se kannattaisi autoliikenteen. Suluissa olevat luvut ilmaisevat, kuinka vahva routakerros kannattaa tyhjän auton. Mainittakoon, että R o u s t e e n (s. 157) mukaan 35 cm vahvuinen puhdas syysjää kannattaa raskaan kuorma-auton, n. 6.4 tn.

Vaikka ko. arvot ovatkin teoreettisesti laskettuja ja laskutoimituksissa on käytetty tekijöitä, joiden suuruutta ei tarkoin pystytä määrittämään, ne ovat kuitenkin suuntaa antavia ja pohjana myöhemmille lisätutkimuksille. Epävarmuutta aiheuttavat seuraavat tekijät:

1. Lujuusarvot $\sigma_{\text{murt.}}$ ovat vain kolmen kokeen keskiarvoja, joten niiden perusteella on ennenkaista mennä tekemään lopullisia johtopäätöksiä turvemaan lujuusominaisuuksista.
2. Kolminkertainen varmuus $\sigma_{\text{sall.}}$ -arvoissa voi olla liian suuri. Tässä tapauksessa voisi riittää kaksinkertainen varmuus, jolloin h:n arvo pieneneisi.
3. b:n arvo ei ole täysin tarkasti määriteltävissä. Auton renkaan maahankosketuspinta riippuu tietenkin renkaan ilman paineesta. Ilman paineen suurentuessa kosketuspinta pienenee, jolloin

hin arvo suurenee, edellyttäen, että kuorma pysyy samana.

4. Sysäyskerroin on likimääräinen. Siltoja rakennottaessa käytetty sysäyskerroin ei sellaisenaan sovellu talviautoteille.

5. Laskuissa on oletettu routakerroksen olevan tasapaksun ja homogeenisen sekä tien pinnan tasaisen. Epätasaisuuksien aiheuttamaa tien pinnan jauhautumista auton pyörien alla ei ole otettu huomioon. Tässä tarvittavan korjaustekijän määrittäminen edellyttää perusteellisia maastokokeita.

Syynä siihen, että laskuissa on turvauduttu epävarmoihin tekijöihin, on ko. tutkimusmenetelmän ja tutkimusaiheen uutuus. Tien kantokyvyn määrittämisestä tien kantavan kerroksen lujuusominaisuuksien perusteella ei liene aikaisemmin yritetty missään. Esimerkkinä aiemmin käytetyistä tutkimusmenetelmistä mainittakoon Ruotsissa käytetty menetelmä (Svenska Väginstitut, meddelande 44, ss. 347-364), jossa soikeaa, 15-30 cm:n läpimittaista rautalevyä kuormitettiin vipuvarren avulla. Laitteella on pyritty selvittämään maanteiden kantavan kerroksen edullisin paksuus ja sen joustavuus, ei sellaisenaan soveltune kokonsa vuoksi tilapäisillä talviautoteilla käytettäväksi. Lisäksi laitteella voidaan ainoastaan selvittää, kuinka vahva tien kantavan kerroksen tulee olla, jotta se kannattaa paikallaan olevan kuorman, mutta ei, millainen tie kestää liikkuvan kuorman. Lisäksi kantavan kerroksen on oletettu olevan tasapaksun. Mainittakoon, että maanteiden rakentajiemme tiedot tien kantavan kerroksen kantokyvystä perustuvat käytännössä saatuihin kokemuksiin.

Y h d i s t e l m ä

1. Ilman lämpötila vaikuttaa ratkaisevimmin maan routaantumiseen. Maan pinnan lämpötila, jonka laskiessa 0°C alapuolelle roudan muodostuminen alkaa, riippuu maan pinnalle tulevasta säteilystä ja ennen kaikkea siitä, missä määrin maan pinnalta tapahtuu lämmön säteilyä avaruuteen. Kuta vähemmän maahan on varastoitunut lämpöä ja kuta enemmän maan pinnalta tapahtuu lämmön säteilyä avaruuteen, sitä voimakkaampaa roudan muodostuminen on.

2. Mitä paksumpi lumikerros on, sitä heikompaa on roudan muodostuminen. Lumen tiivistyessä sen routaantumista estävä vaikutus vähenee. Huonona lämmönjohtajana lumi ehkäisee roudan sulamista suojan aikana.

3. Kivennäismaat routaantuvat syvemmälle kuin turvemaat. Maan kosteuspitoisuuden lisääntyessä roudan syvyys ylipäättänsä kasvaa ja roudan sulaminen hidastuu. Kivennäismaissa routa sulaa nopeammin kuin turvemaissa.

4. Pintakasvillisuus suojelee maata routaantumiselta usein hyvinkin tehokkaasti.

5. Metsä estää roudan muodostumista siksi voimakkaasti, että se voi osittain vähentää muiden routaantumistekijöiden vaikutusta. Metsä ja pintakasvillisuus hidastavat roudan sulamista.

6. Liikenteen tiivistyessä maan pintakerroksia niiden luontainen routaantumiskyky paranee. Jos tietä joudutaan käyttämään useana talvena peräkkäin, tienpohja routaantuu seuraavina talvina huomattavasti paremmin kuin ensimmäisenä ajokautena, koska liikenne on painanut pintaturpeen tiiviiksi.

7. Roudan sulamista näyttää tapahtuvan myös alta päin.

8. Turvemaissa kosteuspitoisuuden lisääntyessä ja mutautumiseen pienentyessä roudan kantokyky kasvaa.

9. Toimenpiteenä, jolla routaantumista voidaan edistää, tulee kysymykseen niiden tekijöiden vaikutuksen vähentäminen, jotka hidastavat maan jäähtymistä. Lumi on tärkein roudan muodostumista estävä tekijä, jonka vaikutusta pystytään helpoimmin ja halvimmin vähentämään. Turvemailla on edullisinta aueta tien pohja aikaisin syksyllä. Tähän lienee P u t k i s t o n (s. 137) mu-

1. Tämän luvun tarkoitus on selvittää, miten koulun toiminta on sujunut ja miten se on vaikuttanut oppilaiden kasvatukseen. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
2. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
3. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
4. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
5. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
6. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
7. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
8. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
9. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.
10. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Koulun toiminta on sujunut hyvin ja oppilaiden kasvatukseen on kiinnitetty erityistä huomiota.

K i r j a l l i s u u t t a

- A a l t o n e n, V. T. 1940. Metsämaa. Porvoo.
- A n g e r v o, J. M. - L e i v i s k ä, I i v a r i. 1944.
Maapallon ilmastot. Porvoo.
- A r r h e n i u s, J. 1878. Maanviljelysoppi. Helsinki.
- A u e r, V ä i n ö. 1920. Über die Entstehung der Stränge auf
den Torfmooren. Helsinki.
- B e s k o w, G u n n a r. 1929. Tjälproblemets grundfrågor.
Svenska Väginstitutet, meddelande nr 13. Stockholm.
- " - 1935. Tjälbildningen och tjällyftningen med särskild
hänsyn till vägar och järnvägar. Statens väginstitut,
meddelande 48. (Sveriges geologiska undersökning Ser.
C, N° 375) Stockholm.
- B r e n n e r, T h o r d. 1931. Mineraljordarternas fysikaliska
egenskaper. Fennia 54 (Societas geographica Fennicae).
Helsinki.
- C a j a n d e r, A. K. 1916. Metsänhoidon perusteet I. Kasvibio-
logian ja kasvimaantieteen pääpiirteet. Porvoo.
- D e b s k i, K a z i m i e r z. 1938. Einleitende Untersuch-
ungen über Bodenfrosttiefe in Polen. VI Baltische Hy-
drologische Konferenz, Bericht 6 D (Polen). Berlin.
- v. F e i l l i t z e n, H j a l m a r. 1909. Svenska Mosskultur-
föreningens kulturförsök i Jönköping vid Flahult och
Torestorpsmossen år 1908. Svenska Mosskulturföreningens
tidskrift 23, ss. 401-456.
- H e i k u r a i n e n, L e o. 1948. Kemin hoitoalueen Lintupir-
tin seudun eutrofien soiden metsänkasvun edellytyksistä.
(Yliopistollinen tutkielma, käsikirjoitus.)
- H o m e n, T h e o d o r. 1896. Über die Bodentemperatur in
Mustila. Acta Societatis Scientiarum Fennicae, XXI. Hel-
sinki.
- " - 1917. Våra skogar och vår vattenhushållning. Helsingfors.
- J u h l i n - D a n n f e l t, H. 1923. Lantmannens uppslagsbok.
Stockholm.
- J u u s e l a, T a n e l i. 1941. Viljelysmaiden routaantumises-
ta ja salaojituksen vaikutuksesta roudan muodostumiseen
ja sulamiseen. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 13,
ss. 81-95. Helsinki.

1. ...
 2. ...
 3. ...
 4. ...
 5. ...
 6. ...
 7. ...
 8. ...
 9. ...
 10. ...
 11. ...
 12. ...
 13. ...
 14. ...
 15. ...
 16. ...
 17. ...
 18. ...
 19. ...
 20. ...
 21. ...
 22. ...
 23. ...
 24. ...
 25. ...
 26. ...
 27. ...
 28. ...
 29. ...
 30. ...
 31. ...
 32. ...
 33. ...
 34. ...
 35. ...
 36. ...
 37. ...
 38. ...
 39. ...
 40. ...
 41. ...
 42. ...
 43. ...
 44. ...
 45. ...
 46. ...
 47. ...
 48. ...
 49. ...
 50. ...
 51. ...
 52. ...
 53. ...
 54. ...
 55. ...
 56. ...
 57. ...
 58. ...
 59. ...
 60. ...
 61. ...
 62. ...
 63. ...
 64. ...
 65. ...
 66. ...
 67. ...
 68. ...
 69. ...
 70. ...
 71. ...
 72. ...
 73. ...
 74. ...
 75. ...
 76. ...
 77. ...
 78. ...
 79. ...
 80. ...
 81. ...
 82. ...
 83. ...
 84. ...
 85. ...
 86. ...
 87. ...
 88. ...
 89. ...
 90. ...
 91. ...
 92. ...
 93. ...
 94. ...
 95. ...
 96. ...
 97. ...
 98. ...
 99. ...
 100. ...

- J u u s e l a, T a n e l i. 1945. Untersuchungen über den Einfluss des Entwässerungsverfahrens auf den Wassergehalt des Bodens, den Bodenfrost und die Bodentemperatur. Helsinki.
- K a i t e r a, P e n t t i ja H e l e n e l u n d, K. V. 1947. Roudan syvyydestä ja sen vaikutuksesta rakennusperustusten sekä vesi- ja likavesijohtojen syvyyteen. Teknillinen Aikakauskirja N° 12, ss. 390-395. Helsinki.
- K e r ä n e n, J. 1920. Über die Temperatur des Bodens und der Schneedecke in Sodankylä. Nach Beobachtungen mit Thermoelementen. Helsinki.
- " - 1923. Über den Bodenfrost in Finnland. Suomen valtion meteorologisen keskuslaitoksen toimituksia N° 12. Helsinki.
- " - 1924. Maakamaran routaantumisen. Oma maa V, ss. 953-964. Helsinki.
- " - 1929. Wärme und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten. Einführung in die Geophysik II. Berlin.
- K i n n m a n, G u n n o och L i n d f e l t, B o. 1944. Handledning i skogsvägbyggnad. Stockholm.
- K o k k o n e n, P. 1926. Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. Acta Forestalia Fennica N° 30. Helsinki.
- K o r h o n e n, W. W. 1927. Linienmessungen der Höhe und Dichte der Schneedecke in Finnland. Suomalaisen Tiedekatemian toimituksia. Sarja A. Nid. XXVI, N° 17. Helsinki.
- Kuukausikatsaus Suomen sääoloihin 1947-1948.
- L e h t o, E. J. 1945. Rautatien ja tienrakennus II. Teknillinen Korkeakoulu, moniste N° 21. Helsinki.
- L i n d e b e r g, W. J. 1927. Todennäköisyyslasku ja sen käytäntö tilastotieteessä. Helsinki.
- L u k k a l a, O. J. 1947. Metsämiehen suo-oppi. Helsinki.
- M i t s c h e r l i c h, E i l h. A l f r e d. 1920. Bodenkunde für Land- und Forstwirte. Dritte neubearbeitete Auflage. Berlin.
- P e r s s o n, B e n g t O. E. 1948. Beständighet och bärighet hos ett istäcke. Svenska vägföreningens tidskrift nr 10, December. Stockholm.
- P u t k i s t o, K a l l e. 1948. Telaketjutraktoreista ja niiden käyttömahdollisuuksista metsätaloudessa. Metsätaloudellinen Aikakauslehti N° 5, ss. 133-148. Helsinki.
- R a h t u, H. V. 1945. Lujuusoppi. Teknillinen Korkeakoulu, moniste N° 17. Helsinki.

- R a m s a y, W i l h e l m. 1931. Geologiens grunder. Förra delen. Helsingfors.
- R o n g e, E. W. 1928. Kort redogörelse för vissa skogliga försök, veriställda under åren 1914-1928 å Kramfors Aktiebolags skogar, och resultatens praktiska tillämpning i skogsbruket. Norrlands skogsvårdsförbunds tidskrift för år 1928, ss. 308-356. Stockholm.
- R o u s t e, H. 1943. Sotilaskuljettajan liikenneopas. Helsinki.
- S i m o l a, E. F. 1923. Huomioita viljellyn hieta-, savi- ja mutamaan kirren sulamisesta Maanviljelystaloudellisella Koelaitoksella vuosina 1922 ja 1923. Suomen Maanviljelystaloudellinen Koelaitos. Tieteellisiä julk. 21. Helsinki.
- " - 1926. Tutkimuksia viljelysmaiden jäätymisestä ja kirren sulamisesta Maatalouskoelaitoksella vuosina 1924, 1925 ja 1926. Valtion Maatalouskoetoiminnan julkaisuja N° 5. Helsinki.
- " - 1930. Kirsi ja vajovesisuhteiden tutkimuksia Maatalouskoelaitoksella ja osittain myös muualla Suomessa vuosina 1926-1929. Valtion Maatalouskoetoiminnan julkaisuja N° 30. Helsinki.
- Suomen Asetuskokoelma N° 490-491. 1937. Helsinki.
- " - N° 739. 1946. Helsinki.
- Teknisk-ekonomiska utredningar rörande vägväsendet. Vägar, av sakkunniga tillkallade inom kommunikationsdepartementet. Svenska Väginstitutet, meddelande 44. 1934. Stockholm.
- Tulvakomitean mietintö. Komitean mietintö, 1939:14. Helsinki.
- W a r t i a i n e n, A u g u s t. 1892. Käytännöllinen maanviljelys-oppi. Porvoo.
- W ä r e, M a t t i. 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939-1944. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia N° 5. Helsinki.
- Y u l e, G. U d n u. 1916. An Introduction to the Theory of Statistic. 3. Edition. London.
- Å n g s t r ö m, A n d e r s. 1916. Über die Gegenstrahlung der Atmosphäre. Meteorologische Zeitschrift, Band 33, H 12. Berlin.

On Freezing of Soil with a View to Building of Temporary Winter Truck Roads

(Summary in English)

With motor vehicle construction improving and road building technique developing, the employment of trucks for timber transport in Finland has become a factor of considerable importance. This has made topical the building of temporary forest truck roads, usually cleared before the soil is frozen and utilised by traffic during the winter only. As, in Finnish conditions, the capacity and duration of winter truck roads depends to a decisive degree on the freezing of the surface layer of the soil, it is of importance to know what factors affect the formation of frost, and how the formation of frost can be promoted for the building of these roads. In order to establish these factors, the formation of frost and the factors affecting it on temporary forest truck roads were investigated by Metsäteho in the winter of 1947-1948.

The first part of the publication, on the basis of earlier investigations on the freezing of soil, deals with frost formation in general and with factors affecting it, as well as with the thawing of frost.

In the winter of 1947-1948 the daily changes in air temperature, depths of snow, temperature of soil on the surface and at a depth of 10 and 30 cm., and the thickness of the frozen part of the soil, were recorded. The measurements were carried out at observation posts positioned on different kinds of soil, in the middle of the road and at distances of 1.5 and 10 m. from the edge of the road. Table 5 (pp. 30 and 31) shows the depth of snow and of frost at the various places of measurement. As the observations on depth of snow and of frost, made on the road and 1.5 m. and 10 m. from the edge of the road, varied very little at the different observation sites, only mean values of these measurements are given in the table. The average air temperature entered in the table refers to the mean temperature of the days intervening between observation days. The fluctuations in soil temperature are shown in tables 7 and 8 (pp. 39 and 41). Further, soil temperature and depth of frost were measured in four sample plots level with each other. With the observations on sample

plots the intention was to estimate the effect of various measures on the formation of frost. In sample plot 1 the soil was kept free from snow, sample plot 2 disclosed the conditions ensuing when the layer of snow is pressed hard by rolling, and sample plots 3 and 4 the conditions created by treating the surface of the road with a special roller fitted with spikes. The fluctuations in the depth of frost and snow in the sample plots are shown in fig. 3 (p. 43). Table 10 (p. 45) gives the variations of soil temperature in the sample plots.

By means of laboratory tests carried out by the State Institute for Technical Research the resistance to bending, tensile strength and compressive strength, in a frozen condition, of peat samples taken from bog, ditched and unditched peat-moor, were determined. Cubes of 7 cm. edge-length and test pieces 4 x 4 x 16 cm. were made from every sample while their original structure was retained. Test pieces were saturated with water and kept in a refrigerator at a temperature of -10°C . until they were completely frozen. Upon this their resistance to bending, and their tensile and compressive strengths were determined, as was their water content. The results of the laboratory tests are shown in the following table:

	Bog		Peat-moor			
			Unditched		Ditched	
	kg/ sq.cm.	Water content %	kg/ sq.cm.	Water content %	kg/ sq.cm.	Water content %
Compressive strength	84.0	80.8	67.0	85.3	59.0	74.1
" "	94.0	86.6	109.0	89.9	72.5	87.1
Resistance to bending and tensile strength	32.0	80.8	25.0	85.3	17.0	74.1
" " "	58.5	85.7	49.5	89.6	44.5	85.6
Degree of decomposition in test pieces	3		4		5	

Water content percentage is calculated from the weight of the moist substance. As is revealed by the table, the strength qualities of peat soil are the greater the moister and less decomposed the soil.

The formation of frost is affected by the following factors:

Natural:

Surface temperature of soil

Qualities of soil

Snow cover

Vegetation

Other

Human

The temperature of the soil, which, on falling below 0°C. , starts the formation of frost, is dependent on the radiation at the surface of the earth and, above all, on the extent to which heat radiation from the earth's surface into space takes place. The smaller the amount of heat stored in the soil and the higher the heat radiation from the earth's surface into space, the stronger is the formation of frost.

Different soils affect the formation of frost according to their heat conductivity and thermal capacity. Mineral soils freeze deeper than peat soils. As the humidity of the soil increases, the depth of frost, as a rule, grows, and the thawing of frost is retarded. In mineral soils thawing is more rapid than in peat soils.

The deeper the layer of snow, the weaker is the formation of frost. If snow is compressed its preventive effect on soil freezing is reduced. Due to its low thermal conductivity the snow prevents the soil from de-freezing during thaw periods. The influence of snow depth on the depth of frost in the middle of a winter truck road is illustrated in fig. 2 (p. 37), in which all the observations on the depth of frost measured in the middle of the road are grouped by classes of snow depth. The value obtained for the correlation coefficient is -0.78 ± 0.05 . The equation for the so-called first regression straight line, used as an adjustment line, is $y = -0.80x + 41.26$. As shown in the picture, the depth of frost, when the depth of snow is reduced, has increased rectilinearly.

Surface vegetation and forest impede the formation of frost to a considerable degree and retard its thawing.

Other natural factors affecting the freezing of soil worth mentioning are rain, evaporation, gradient, quarter (of the compass) and geographical position.

In addition to the above mentioned natural factors, there are

The formation of frost is affected by the following factors:

Natural:

- Surface temperature of soil
- Qualities of soil
- Snow cover
- Vegetation
- Other

Human

The temperature of the soil, which on falling below 0°C, starts the formation of frost, is dependent on the radiation at the surface of the earth and, above all, on the extent to which heat radiation from the earth's surface into space takes place. The qualitative amount of heat stored in the soil and the higher the heat radiation from the earth's surface into space, the stronger is the formation of frost.

Different soils affect the formation of frost according to their heat conductivity and thermal capacity. Mineral soils, however, deeper than peat soils, as the humidity of the soil increases, and deeper of frost, as a rule, grows, and the thawing of frost is retarded. In mineral soils thawing is more rapid than in peat soils. The deeper the layer of snow, the weaker is the formation of frost. If snow is compressed its preventive effect on soil freezing is reduced. Due to its low thermal conductivity the snow cover prevents the soil from de-freezing during thaw periods. The difference of snow depth on the depth of frost in the middle of a winter is not too great. It is illustrated in Figure (p. 27), in which all the observations on the depth of frost measured in the middle of the year are grouped by classes of snow depth. The value obtained for the regression coefficient is -0.78 and the equation for the so-called frost regression straight line, used as an adjustment line, is $y = 1.80x + 41.25$. As shown in the picture, the depth of frost when the depth of snow is reduced, has increased rectilinearly.

Surface vegetation and forest impede the formation of frost to a considerable degree and retard its thawing.

Other natural factors affecting the freezing of soil, mentioned above, are rain, evaporation, gradient, current (of the atmosphere) and geographical position.

In addition to the above mentioned natural factors, there are

artificially produced circumstances affecting the depth of frost. The traffic on the road compresses the surface layers of the road improving the heat conductivity of the soil and promoting freezing. A rather effective measure to further freezing of the soil is to remove the snow cover or to compress the snow.

Other measures to be considered for the promotion of the freezing of soil with a view to the building of winter truck roads is to reduce the influence of the factors retarding the cooling of the soil. Snow is the most important of the factors preventing the formation of frost, and its effect is easiest and cheapest to reduce. On peat soils it is advisable to plough the road bed as early as possible in the autumn. A caterpillar tractor seems to be most suitable for the ploughing work as it is able to move on fairly soft ground. Moreover, in the ploughing, the caterpillar tracks compress the top-most layers of soil. The compression of snow by treading or by rolling also promotes the formation of frost, although not as effectively as ploughing. If snow is compressed by rolling, it does not seem necessary, in view of ice formation, to employ a special spiked roller instead of a smooth roller.

On peat soils where the formation of frost is weak, the removal of the top layer of peat promotes the formation of frost fairly effectively, as the thermal conductivity of the soil is improved through removing surface vegetation and the porous peat layer, and the freezing of the soil is assisted accordingly. In addition, the soil is frozen more quickly the higher the surface of ground-water, and the capacity of the frost to sustain weights increases as the water content of the soil grows.

On the basis of the strength qualities of peat soil determined from laboratory tests theoretical calculations were made as to how thick the layer of frost should be on peat soils in order to carry a moving load of a certain weight. The calculations show that, on a bog, where the water content is 85.7 % of the weight of moist substance, a frozen layer of peat 26 cm. (17 cm.) in depth carries a truck load of 10 tons (4.5 tons). The corresponding figures for ditched and unditched peat-moor are 30 cm. (20 cm.) and 28 cm. (19 cm.). If the water content is less (cf. table, p.57) the depth of frozen peat soil is:

for bog	35 cm. (23 cm.)
for unditched peat-moor	41 " (27 ")
for ditched peat-moor	48 " (31 ")

The results show that the drier the peat soil the deeper the frozen layer of peat must be to bear truck traffic. The figures in brackets show the depth of the frost layer required to bear an empty truck on the various kinds of peat-soil. Although the values in question are only theoretically calculated, involving, in the different phases of calculation, factors the extent of which cannot be determined with accuracy, they are, however, serviceable as directives and form a basis for further investigations.

for bog	35 cm. (23 cm.)
for unditched peat-moor	41 " (27 ")
for ditched peat-moor	48 " (31 ")

The results show that the drier the peat soil the deeper the frozen layer of peat must be to bear truck traffic. The figures in brackets show the depth of the frost layer required to bear an empty truck on the various kinds of peat-soil. Although the values in question are only theoretically calculated, involving, in the different phases of calculation, factors the extent of which cannot be determined with accuracy, they are, however, serviceable as directives and form a basis for further investigations.

METSÄTEHON, SUOMEN PUUNJALOSTUSTEOLLI-
SUUDEN KESKUSLIITON METSÄTYÖNTUTKIMUS-
TOIMISTON

J U L K A I S U J A

- N:o 1. Metsätyöntutkimukset. Metsätyöntutkimuskursseilla 4. 6.—15. 6. 1945 pidettyjä luentoja. 1945.
- „ 2. Metsätyöntutkimukset II. Metsätyöntutkimuskursseilla 12. 6.—16. 6. 1946 pidettyjä luentoja. 1947.
- „ 3. Metsätyöläisten elinkustannuksista talvella 1946. Jaakko Vöry. 1947 (Moniste)
- „ 4. Tutkimuksia vanerikoivujen hankinnasta I. Koivupölkkyjen kuutiosuhteista. Kalle Putkisto. 1947. (Moniste)
- „ 4a. Koivupölkkyjen kuutiosuhdetaulukkoja. Kalle Putkisto. 1947.
- „ 5. Tutkimuksia vanerikoivujen hankinnasta II. Aikatutkimuksia vanerikoivujen rasiinkaadosta, karsmisesta ja katkomisesta. Kalle Putkisto. 1947.
- „ 6. Tutkimuksia vanerikoivujen hankinnasta III. Aikatutkimuksia vanerikoivujen kasaamisesta ja kasoista-ajosta. Kalle Putkisto. (Ilmestyy 1949).
- „ 7. Aikatutkimuksia pinopuutavaran teosta. Olli Makkonen. 1947. (Moniste)
- „ 8. Aikatutkimuksia paperipuiden varastokuorinnasta ja -katkonnasta. Arno Tuovinen. 1948. (Moniste)
- „ 9. Laimikon tiheyden vaikutus pinopuutavaran tekoon. Olli Makkonen. 1948. (Moniste)
- „ 10. Tutkimuksia pinotavaran autokuljetuksesta. Veijo Heiskanen. 1948.
- „ 11a. Tutkimuksia paperipuiden hankinnasta Pohjois-Suomessa. I Kuorimishukka ja kuutiosuhteet. Arno Tuovinen. 1948.
- „ 11b. Tutkimuksia paperipuiden hankinnasta Pohjois-Suomessa. II Veteen vieritys. Arno Tuovinen. 1948.
- „ 12. Tutkimuksia paperipuiden hankinnasta Pohjois-Suomessa. III Eri pituisten kuorellisten paperipuiden ajo. Arno Tuovinen. 1948.
- „ 13. Metsätyöntutkimukset III. Metsätehon kirjoitukset Metsätaloudellisessa Aikakauslehdessä n:o 5/1948.
- „ 14. Aikatutkimuksia pinopuutavaran valmistuksesta Pohjois-Suomessa. Arno Tuovinen ja Sakari Leskinen. 1948. (Moniste)
- „ 15. Hevosvarsiteiden hoitokalustosta ja hoidosta. 1948. (Moniste)
- „ 16. Suomen metsäteollisuuden raakapuun saanti metsätaseen kannalta tarkasteltuna. I Koko valtakunnan yleisselvittely. Eino Saari. 1948.
- „ 18. Aikatutkimuksia tukkien ja paperipuiden teosta talvella. Olli Makkonen. 1949. (Moniste)

