

P. Kaitera, K. V. Helenelund

**Roudan syvyydestä ja sen vaikutuksesta rakennusperustusten sekä vesi- ja likavesijohtojen syvyyteen**

Teknillinen Aikakauslehti, 1947–48, 12 s.

© Tekniikan Akateemiset TEK

# Roudan syvyydestä

## *ja sen vaikutuksesta rakennusperustusten sekä vesi- ja likavesijohtojen syvyyteen*

*Prof. Pentti Kaitera ja dipl.ins. K V Helenelund, Helsinki*

624.131.3/4:628.24

Maaliskuun lopussa 1947 suoritettiin maataloushallituksen vesiteknillisten tutkimusten yhteydessä laaja kiertokysely roudan syvyydestä maan eri osissa. Samalla selvitettiin sitä, missä olosuhteissa vesi- ja likavesijohdot olivat jäätyneet tänä suhteellisen vahvaroutaisena talvena. Tämä tutkielma nojautuu pääasiassa mainitun kiertokyselyn tuloksiin. Aluksi käsitellään roudan syvyyteen vaikuttavia tekijöitä ja havaittuja roudan syvyyksiä erilaisissa olosuhteissa. Kirjoituksen toisessa osassa, joka julkaistaan seuraavassa numerossa, esitetään havaintotulosten sovelutuksia rakennusperustusten sekä vesi- ja likavesijohdojen syvyyttä määrättäessä.

Roudan syvyyteen vaikuttavat tekijät.

### *Ilmastotekijät*

Lämpötilalla on luonnollisesti ratkaiseva merkitys maan routaantumiseen eli maavesien jäätymiseen. Maaonteloissa oleva vesi alkaa jäätymään lämpötilan alennuttua  $0^{\circ}\text{C}$ :een, mutta osa ns. sidotusta vedestä jäätyy vasta  $0^{\circ}\text{C}$ :n alapuolella. Brennerin mukaan voi aitosavessa jäätymispiste olla vasta  $-22^{\circ}\text{C}$ :ssa, kun taas esim. karkeassa hiekassa se on  $-0,15\pm 0^{\circ}\text{C}$ . Vastaavasti roudan sulamista tapahtuu hienojakoisessa maassa jo  $0^{\circ}\text{C}$ :n alapuolella.

Roudan muodostuminen on riippuvainen paitsi siitä, miten alhainen ilman lämpötila on, myös siitä, miten kauan pakkasta jatkuu. Maanpinnan lämpötila, joka on roudan muodostuksessa määräävä, riippuu sekä ilman lämpötilasta että myös maanpintaan tulevasta säteilystä ja siitä, missä määrin tapahtuu lämmön ulossäteilyä. Lumipeitteisessä maassa heijastuu suuri osa maahan tulevasta kokonaissäteilystä takaisin avaruuteen. Lämmön ulossäteily riippuu mm. pilvisyydestä, millä seikalla on todettu olevan merkitystä esim. vesistöjen jäätymisessä. Ulossäteilyn ja osaksi myös haihtumisen johdosta lumen pinnassa lämpötila on yleensä alhaisempi kuin ilmassa.

Myös vuoden keskilämpötilalla on vaikutusta routaantumiseen, sillä mitä enemmän lämpöä on varastoitunut maahan, sitä vähäisempää on roudan muodostuminen. Korkea keskilämpötila merkitsee myös lyhyttä pakkaskautta.

Veden jäätyessä vapautuu lämpöä ja tämän sekä alhaalta päin virtaavan lämmön vaikutuksesta voi pakkaskauden alussa esiintyä välittömästi routa-

rajan alapuolella lämpötilan nousua. Päinvastainen ilmiö taas voidaan havaita suojailmojen alkaessa.

Lumipeitteellä on erittäin tärkeä vaikutus roudan muodostukseen. Lumipeite vähäisen lämmönjohtokykynsä vuoksi eristää maan kylmän ilman vaikutuksesta. Tämä eristys voi olla niin tehokas, että maa pysyy pakkasista huolimatta sulana koko talven.

Lumipeitteen suojaava vaikutus on riippuvainen lumen syvyydestä ja tiheydestä. Kun nämä tekijät vaihtelevat talven kuluessa, aiheuttaa tämä vaikeuksia näiden vaikutusta selvittäessä ja arvioitaessa. Pohjois- ja Itä-Suomessa lumipeitteen suuri syvyys ja pieni tiheys vaikuttavat tehokkaasti eristävästi ja kumoavat siten jossain määrin ankarien ja pitkäaikaisten pakkasten vaikutusta. Myös metsissä lumipeitteen suojaava vaikutus samoista syistä on tehokas.

Liikennöidyillä paikoilla lumipeitteen eristävä vaikutus tulee joko osaksi tai kokonaan merkityksettömäksi. Siksi rakennusteknisissä kysymyksissä joudutaan usein jättämään lumen suojaava vaikutus huomioonottamatta. Kuitenkin esim. vesijohtojen syvyyttä määrättäessä voidaan maaseudulla ottaa huomioon lumipeitteen vaikutus sellaisilla kohdilla, missä ei liikennettä ole.

Myös syyssateilla on vaikutusta maan routaantumiseen, sillä niistä riippuu maan kosteustila talvella.

### *Maastotekijät*

Maalajilla ja maan kosteussuhteilla on vaikutusta maan lämmönjohtokykyyn ja lämpökapatiteettiin. Maahan varastoitunut lämpömäärä ja sen johtuminen syvemmistä maakerroksista estää roudan vahvistumista, niin kauan kuin lämmön virtaus alhaalta päin on runsasta. Toisaalta lämmönjohtokyvyn ollessa hyvän tapahtuu maan pintakerroksen jäähtyminen nopeammin, ja yleensä maan lämmönjohtokyvyn paraneminen merkitsee roudan syvyyden suurenemista. Lämmön virtauksen voimakkuus on riippuvainen paitsi lämmönjohtokyvystä myös lämpötilagradientista.

Mitä suurempi maan lämpökapasiteetti on, sitä hitaammin tapahtuu jäähtyminen. Kun lämmönjohtokyky ja lämpökapasiteetti vaikuttavat maan routaumisessa vastakkaiseen suuntaan, voidaan näiden suhdetta käyttää apuna selvittäessä maalajin vaikutusta roudan syvyyteen.

Maan lämmönjohtokyky riippuu mm. maassa olevan veden ja ilman määrästä sekä siitä, onko maa roudassa. Tämä on ymmärrettävissä, kun vertaa eri aineiden lämmönjohtokykyä. Ilman lämmönjohtokyky on 0,00005, veden 0,0014, jään 0,0054 ja kiinteiden maaosasten 0,0005—0,006 cal/cm<sup>2</sup> sekunnissa, kun lämpötilaero cm:n matkalla on 1° C. Kosteuden lisääntyminen siis yleensä suurentaa maan lämmönjohtokykyä. Turvemaissa tämä suureneminen on vähäisempää kuin kivennäismaissa.

Myös maalajin tiiviys vaikuttaa lämmönjohtokykyyn. Volyymipainon kasvaessa sekä lämmönjohtokyky että lämpökapasiteetti suurenevät. Edellinen kasvaa kuitenkin suhteellisesti nopeammin, joten myös routa tunkeutuu tiiviissä maissa syvempään. Turvemaiden lämmönjohtokyky on pienempi kuin kivennäismaiden ja myös roudan syvyys on pienempi. Kivennäismaissa roudan syvyys kasvaa raesuuruuden kasvaessa.

Kiinteiden maahiukkasten ominaislämpö on tavallisesti 0,5—0,6 cal/kg, veden 1,0 ja ilman 0,0003. Tästä ilmenee, että vesipitoisuuden lisääntyminen, mikä samalla merkitsee ilmamäärän vähenemistä maassa, aiheuttaa lämpökapasiteetin suurenemisen.

Kun maaveden jäätyessä vapautuu suuria lämpö-määriä (veden jäätymislämpö on 80 kg), on usein edellytetty kosteassa maassa routakerroksen jäävän ohuemmaksi kuin kuivassa maassa. Karkearakeisten ja samalla myös kuivien maalajien syvä routaantuminen sekä ojittamattomilla ja ojitetuilla turve-mailla tehdyt havainnot ovat tukeneet tätä käsitystä. Kivennäismailla näyttää kuitenkin vesipitoisuuden suureneminen aiheuttavan suuremman roudan syvyyden. Tämä johtuu *Juuseelan* mukaan siitä, että kivennäismailla kosteuden lisääntyessä lämmönjohtokyky kasvaa suhteellisesti nopeammin kuin turve-mailla.

Kasvipeite suojelee maata routaantumiselta usein hyvinkin tehokkaasti. Niinpä keväällä 1947 eräs havaitsija oli maininnut ruohopeitteen vähentäneen roudan syvyyttä 50 % vastaavanlaiseen ruohotomaan kohtaan verrattuna. Sammalpeitteen suojaava vaikutus on usein vielä suurempi kuin ruohopeitteen. Metsissä sammal paksun ja löyhän lumipeitteen ohella estää maan routimista. Samansuuntainen on pensaiden ja puiden ulossäteilyä estävä ja ja tuulelta suojaava vaikutus.

Rakennusteknisessä mielessä myös kasvipeitteen vaikutus on vähemmän merkittävä, koska maa kriittisissä kohdissa usein on paljas. Kasvien huonoa lämmönjohtokykyä voidaan käyttää hyödyksi siten, että esim. sammalista, oljista ja sahajauhoista tehdään lämpöeristys.

#### Erikoistekijät

Paitsi edellä mainittuja tekijöitä, on myös muita, usein keinotekoisesti syntyneitä olosuhteita, joilla on vaikutusta roudan syvyyteen. Kaupungeissa asuntojen lämmitys voi vaikuttaa maan ja ilman lämpötilaan. Niinpä *Kreugerin* mukaan voidaan tästä syystä rakennusperustusten syvyyttä pienentää 1,0 metrillä 0,8 metriin. Toisaalta sokkelin hyvä lämmönjohtokyky vaikuttaa päinvastaiseen suuntaan, ja esim.

vesijohdot jäätyvät usein kivijalan kohdalla. Liikenne tiivistää maata ja siten edistää roudan tunkeutumista. Erikoisen tehokkaasti sitä edistää lumipeitteen tiivistyminen ja sen eristyskyvyn häviäminen teiden kohdilla, kuten jo on mainittu. Penkereissä ja leikkauksissa routaantumista tapahtuu myös sivulta päin. Myös ojat vaikuttavat roudan syvyyttä lisäävästi.

#### Routahavainnot

##### Aikaisemmat havainnot ja niiden sovellutukset

Monista roudan syvyyteen vaikuttavista tekijöistä johtuen sen vaihelut ovat niin suuret, että käytännössä on usein vaikea löytää oikeita perusteita, miten roudan syvyys eri olosuhteissa olisi arvioitava. Usein on vaikea määrätä asiaan vaikuttavien tekijöiden suuruutta, ja yksityisissä tekijöissä syntyneet arviovirheet voivat oleellisesti vaikuttaa roudan syvyyden arvioon. Siitä syystä teoreettisesti mahdollisimman oikeillakin perusteilla johdetut kaavat roudan syvyyden riippuvaisuudesta eri tekijöistä (*Keränen* 1920, *Beskow* 1935, *Eriksen* 1938 jne.) eivät ole osoittautuneet käytäntöön soveltuviksi. Tämä on johtanut pyrkimykseen löytää mahdollisimman yksinkertaisiin arviointeihin nojautuvia empiirisiä kaavoja roudan syvyyden määrittämiseksi eri maalajeissa ja ilmasto-oloissa. *Debski* (1938) on Puolassa tehtyjen mittausten (n. 2500) perusteella esittänyt seuraavanlaisen kaavan:

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

$H$  = roudan syvyys (cm)

$S$  = lumipeitteen vahvuus (cm)

$G$  = maalajista riippuva kerroin (kivi-, sora- ja hiekkamaissa  $G = 1,00$ , 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

$T = 0.001 \cdot \Sigma t$ , jossa  $\Sigma t$  on klo 7 aamuisin tehtyjen negatiivisten lämpötilahavaintojen summa puheena olevaan ajankohtaan mennessä.

Eräiden meillä suoritettujen havaintojen perusteella yllä mainittu *Debskin* kaava antaa oikeaa kertalukua olevia tuloksia, joskin poikkeamiakin on todettavissa.

Suomessa on suoritettu aikaisemmin routahavainnot ja verraten rajoitetussa mitassa. Jatkuvia routamittauksia on tehty mm. hydrografisen toimiston, ilmatieteellisen keskuslaitoksen ja maataloushallituksen toimesta. Teknisessä ja tieteellisessä kirjallisuudessa on tähän asti yleensä nojaututtu *Keräsen* 1923 julkaisemiin arvoihin eri osissa maata ja eri maalajeissa. Nämä eivät kuitenkaan nojautu kuin osittain suoranaisiin mittauksiin. Tulokset, jotka on esitetty taulukossa I, perustuvat kiertokyselöyn, jossa vastaajat esittivät arvioimalla henkilökohtaisen käsityksensä.

Taulukon mukaan on ankarina talvina roudan syvyys keskimäärin 60 % suurempi kuin normaalivuotena. Eri maalajeissa saadaan keskimääräisiksi suhteelliseksi arvoksi

|              | normaali<br>talvet | ankarat<br>talvet |
|--------------|--------------------|-------------------|
| sora .....   | 100                | 100               |
| hiekkä ..... | 93                 | 96                |
| savi .....   | 68                 | 66                |
| turve .....  | 59                 | 63                |

Taulukko 1

| Alue                       | Roudan syvyys cm |      |      |       |                |      |      |       |
|----------------------------|------------------|------|------|-------|----------------|------|------|-------|
|                            | Keskimäärin      |      |      |       | Ankarat talvet |      |      |       |
|                            | hiekkä           | sora | savi | turve | hiekkä         | sora | savi | turve |
| I. Lappi .....             | 71               | 86   | 57   | 58    | 117            | 122  | 85   | 88    |
| II. Pohjois-Pohjanmaa ..   | 89               | 84   | 62   | 52    | 133            | 134  | 96   | 88    |
| III. Kainuu .....          | 61               | 74   | 44   | 31    | 88             | 87   | 64   | 58    |
| IV. Etelä-Pohjanmaa ..     | 50               | 51   | 40   | 38    | 74             | 84   | 62   | 57    |
| V. Vaasan läänin itäosa .. | 39               | 35   | 24   | 23    | 83             | 74   | 38   | 44    |
| VI. Kuopion lääni ..       | 50               | 52   | 24   | 25    | 76             | 67   | 59   | 43    |
| VII. Hämeen ..             | 52               | 62   | 35   | 31    | 77             | 92   | 68   | 53    |
| VIII. Mikkelin ..          | 36               | 26   | 23   | 24    | 62             | 43   | 37   | 40    |
| IX. Viipurin ..            | 54               | 52   | 36   | 29    | 81             | 88   | 57   | 47    |
| X. Uudenmaan ..            | 31               | 44   | 35   | 25    | 50             | 49   | 46   | 44    |
| XI. Turun ja Porin ..      | 33               | 43   | 32   | 22    | 73             | 93   | 47   | 35    |

Keväällä 1929 maatalouskoelaitoksen toimesta suoritettiin jokin määrä mittauksia eri puolilla maata. Simola on koonnut mittaustulokset taulukossa 2 esitettyyn yhdistelyyn.

Taulukko 2.

| Kasvi-<br>peite    | Lumipeitteen vahvuus |        |       |          |        |       |          |        |       |          |        |       |
|--------------------|----------------------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|
|                    | 0—20 cm              |        |       | 20—40 cm |        |       | 40—60 cm |        |       | 60—80 cm |        |       |
|                    | savi                 | hiekkä | turve | savi     | hiekkä | turve | savi     | hiekkä | turve | savi     | hiekkä | turve |
| syysviljan oras .. | 72                   | 72     | —     | 61       | 67     | —     | 42       | 33     | —     | —        | 21     | —     |
| nurmi ..           | 64                   | 95     | 45    | 59       | 60     | 32    | 29       | 47     | 28    | 20       | 26     | 22    |
| kynnös ..          | —                    | 112    | —     | 60       | 79     | 43    | 44       | 46     | 27    | —        | 63     | 16    |
| metsä ..           | —                    | 47     | 32    | 23       | 34     | 23    | —        | 20     | 8     | —        | —      | —     |

Nämä mittaustulokset antavat varsin selväpiirteisen kuvan siitä, miten suuria vaihteluita lumi- ja kasvi- peite aiheuttavat roudan syvyydessä. Kun lasketaan taulukosta hiekkamaan arvoihin verrattavat suhteelliset roudan syvyydet, saadaan savessa keskimäärin 87 ja turpeessa 53 % hiekan roudan syvyydestä. Kasvi- peitteen vaikutus taas ilmenee seuraavista keskimääräisistä suhdeluista

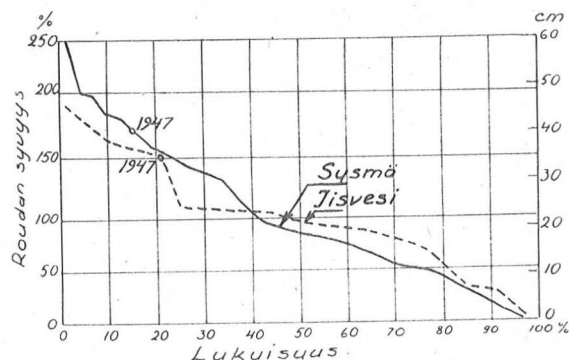
|                       |     |
|-----------------------|-----|
| nurmi .....           | 100 |
| syysviljan oras ..... | 98  |
| kynnös .....          | 123 |
| metsä .....           | 51  |

#### Uutta havaintoaineistoa

Keväällä 1947 järjestetyssä kiertokyselyssä roudan syvyydestä maaliskuun lopussa ja huhtikuun alussa, jolloin se oli suurimmillaan, osoitettiin kyselykaavakkeita mm. maanviljelysinsinööripiireihin, haudankaivajille sekä maanviljelysseurojen ja kuntien rakennusmestareille ja pyydettiin tekemään suoranaisia mittauksia. Kutakin mittaushaavaa varten painatettiin erillinen kaavake. Tällaisia kaavakkeita lähetettiin kaikkiaan 5500. Harrastus asiaan osoit-

tautui odottamattoman suureksi, sillä vastauksia saapui kaikkiaan 2060 mittauskohdasta. Mittauksissa havaittiin sekä yhtenäisen routakerroksen vahvuus että alimpien jääkiteiden sijainti. Lisäksi tehtiin muistiinpanoja lumen syvyydestä, maalajista, kasvipeitteestä, maan kosteussuhteita jne.

Jotta saataisiin kuva siitä, miten syvälle maa rou- taantui talvella 1947 verrattuna pitempiä aikaisiin havaintotuloksiin, suoritettiin tätä koskevia vertailuja hydrografisen toimiston tekemien havaintojen nojal-



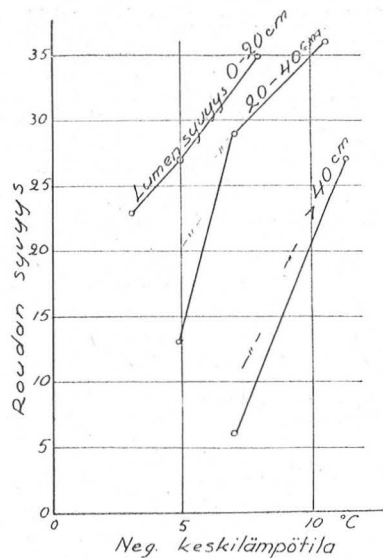
Kuva 1

la. Esim. kuvassa 1 on esitettyä roudan syvyyden vaihteluita osoittavat lukuisuuskäyrät savimaassa Iisvedellä ja Sysmässä vv. 1912—1946. Eri vuosien syvyysarvot on järjestetty suuruusjärjestykseen, ja lukuisuuskäyrälle on merkitty myös vuoden 1947 arvo. Havaitaan, että yhtä suuri roudan syvyys kuin vuonna 1947 on odotettavissa 1—2 kertaa 10 vuodessa. Keski- syvyys kummassakin havaintokohdassa on 22 cm, ja vuoden 1947 routakerros oli 150—170 % keski- syvyydestä. Useissa muissakin havaintokohdissa vuoden 1947 roudan syvyys oli likimäärin yhtä paljon keskimääräistä roudan syvyyttä suurempi. Jos vesijohtojen syvyyttä määrättäessä pidetään lähtö- kohtana esim. sellaista roudan syvyyttä, joka sattuu vain kerran 20 vuodessa, on se likimäärin kaksi ker- taan niin suuri kuin keskimääräinen roudan syvyys ja n. 1,2 kertaa vuoden 1947 roudan syvyys.

Mainituista hydrografisen toimiston mittauksista voidaan havaita myös lumipeitteen ja ilman lämpö- tilan vaikutus roudan syvyyteen. Jos oletetaan, että roudan syvyys maaliskuun—huhtikuun vaihteessa on riip- puvainen lähinnä keskimääräisestä ilman lämpötilas- ta ja lumen syvyydestä joulukuun—maaliskuussa, saa- daan Sysmässä tehtyjen havaintojen perusteella savi- maalla taulukossa 3 esitetyt keskiarvot, kun havain- not ryhmitetään siten kuin taulukossa on tehty. Kuvassa 2 on tulokset esitetty graafisesti. On syytä kiinnittää huomiota taulukon suhteellisen pieneni

Taulukko 3

| Keskimääräinen<br>lumen syvyys<br>joulukuun—maalis-<br>kuussa<br>cm | Neg. keskilämpötilan ollessa joulukuun—<br>maaliskuussa |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 2—4°C                                                   | 4—6°C | 6—8°C | > 8°C |
|                                                                     | on keskim. roudan syvyys cm                             |       |       |       |
| 0—20                                                                | 23                                                      | 26    | 25    | —     |
| 20—40                                                               | —                                                       | 13    | 29    | 35    |
| > 40                                                                | —                                                       | —     | 6     | 27    |



Kuva 2

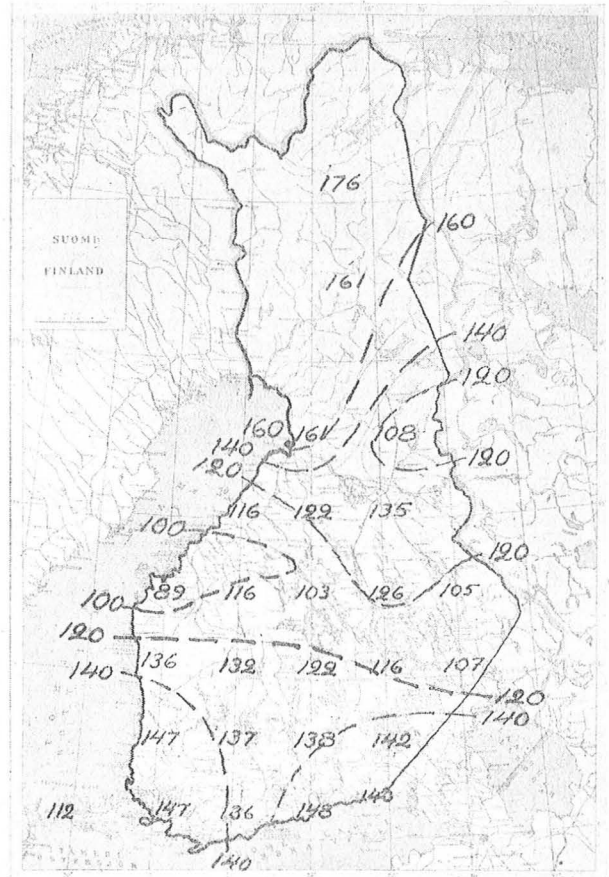
absoluuttisiin arvoihin, mikä asettaa rajoituksia tulosten soveltamiselle sellaisiin tapauksiin, joissa absoluuttiset arvot ovat melkoisesti suurempia.

Maantieteellisen aseman vaikutuksen selvittämisessä tuottavat vaikeuksia paikallisten olo-

Taulukko 4

| Maantieteellinen asema |                  | Lumen syvyys cm | Roudan syvyys cm |                   | Havaintojen lukumäärä |
|------------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| leveys N               | pituus E         |                 | kiinteä routa    | alimmat jääkiteet |                       |
| 60°30'                 | < -4°            | 11              | 110              | 112               | 10                    |
|                        | -4-2             | 16              | 143              | 147               | 26                    |
|                        | -2-0             | 24              | 127              | 136               | 31                    |
|                        | 0-2              | 34              | 141              | 148               | 10                    |
|                        | 2-4              | 29              | 131              | 140               | 0                     |
| 60°30' —               |                  |                 |                  |                   |                       |
| 61°30'                 | < -2°            | 19              | 144              | 147               | 46                    |
|                        | -2-0             | 17              | 130              | 137               | 53                    |
|                        | 0-2              | 31              | 130              | 138               | 27                    |
|                        | 2-4              | 32              | 136              | 142               | 23                    |
|                        | > 4              | 39              | 123              | 130               | 3                     |
| 61°30' —               |                  |                 |                  |                   |                       |
| 62°30'                 | < -2°            | 23              | 135              | 136               | 16                    |
|                        | -2-0             | 30              | 127              | 132               | 24                    |
|                        | 0-4              | 35              | 114              | 122               | 24                    |
|                        | 2-4              | 39              | 113              | 116               | 23                    |
|                        | > 4              | 45              | 100              | 107               | 17                    |
| 62°30' —               |                  |                 |                  |                   |                       |
| 63°30'                 | < -2             | 28              | 87               | 89                | 18                    |
|                        | -2-0             | 33              | 113              | 118               | 35                    |
|                        | 0-2              | 42              | 90               | 104               | 20                    |
|                        | 2-4              | 45              | 122              | 126               | 29                    |
|                        | > 4              | 43              | 101              | 101               | 4                     |
| 63°30' —               |                  |                 |                  |                   |                       |
| 64°30'                 | < 0              | 34              | 111              | 116               | 21                    |
|                        | 0-2              | 36              | 120              | 122               | 20                    |
|                        | > 2              | 52              | 134              | 135               | 7                     |
| 64°30' —               |                  |                 |                  |                   |                       |
| 65°30'                 | < 2              | 37              | 158              | 161               | 20                    |
|                        | > 2              | 54              | 107              | 108               | 4                     |
| 65°30' —               |                  |                 |                  |                   |                       |
| 67°30'                 | Koko maan leveys | 42              | 156              | 161               | 17                    |
| > 67°30'               |                  | 39              | 170              | 170               | 6                     |
| Summa                  |                  |                 |                  |                   | 537                   |

suhteiden suuret eroavaisuudet routamittauskohdilla. Yhdenmukaisin aineisto kevään 1947 mittauksissa oli haudankaivajien lähettämä, sillä havaintokohdat niissä olivat lumipeitteen ja maalajin suhteen verraten samanlaisia. Kun näiden perusteella tutkittiin roudan syvyyttä maan eri osissa, jaettiin maa ruutuihin ja määrättiin kunkin ruudun sisälle sattuvien mittausten keskiarvo. Taulukossa 4 on esitetty näin saadut tulokset. Siinä olevat maantieteelliset koordinaatit osoittavat ruutujen rajat. Taulukkoon on merkitty myös keskimääräinen lumen syvyys havaintokohdissa sekä kiinteän roudan lisäksi alimpien jääkiteiden syvyys. Keskiyvyys vaihtelee 90—170 cm ollen yleensä 110—140 cm. Havaintotulokset edustavat karkearakeista kivennäismaata.



Kuva 3

Kuvassa 3 on alimpien jääkiteitten syvyys merkitty kartalle niin, että syvyysnumerot on sijoitettu edellä mainittujen ruutujen keskipisteisiin. Kuvasta havaitaan, että Etelä-Suomessa routa oli talvella 1947 suhteellisesti vahvempi kuin Keski-Suomessa ja Pohjanmaalla.

Maalajin vaikutuksen selvittämiseksi suoritettiin vertailuja erikseen maatalousseuroista saadusta aineistosta ja erikseen maanviljelysinööripiireistä ja kunnista saadusta aineistosta. Tämä aineistojen käsittely erillisenä aiheutui siitä, että haluttiin siten samalla saada esille se, missä määrin näin saadut tulokset eroavat toisistaan. Taulukossa 5 on esitetty keskimääräiset roudan syvyydet maanviljelysseuroista saadun aineiston nojalla. Havainnot on tehty

Taulukko 5

| Maalaji           | Roudan syvyys keskimäärin cm | Havaintojen määrä (%), joissa roudan syvyys oli |          | Havaintojen lukumäärä |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|----------|-----------------------|
|                   |                              | > 150 cm                                        | ≥ 120 cm |                       |
| moreeni . . . . . | 100                          | 19.2                                            | 37.4     | 99                    |
| sora . . . . .    | 89                           | 10.6                                            | 36.5     | 63                    |
| hiekk . . . . .   | 98                           | 11.7                                            | 33.0     | 103                   |
| hieta . . . . .   | 81                           | 7.9                                             | 19.1     | 63                    |
| hiesu . . . . .   | 88                           | 7.5                                             | 22.5     | 40                    |
| savi . . . . .    | 87                           | 4.7                                             | 18.0     | 172                   |
| turve . . . . .   | 50                           | —                                               | 2.4      | 170                   |

osaksi rakennusperustusten kaivutöiden yhteydessä.

Keskimääräinen roudan syvyys kivennäismaissa oli 80—100 cm, mutta turvemaissa sensijaan vain noin puoli metriä. Kivennäismaat on taulukossa järjestetty pienenevän raesuuruuden mukaisesti. Keskimääräiset roudan syvyudet eivät tässä osoita täysin selvää riippuvaisuutta raesuuruudesta. Jos verrataan niiden havaintojen suhteellista lukumäärää, joissa roudan syvyys on ollut vähintään 150 cm tai 120 cm, havaitaan selvempi riippuvaisuus siten, että raesuuruuden pienetessä myös roudan syvyys pienenee. Keskiarvoissa ilmenevä epäsäännöllisyys johtunee lähinnä maan erilaisista kosteus-suhteista.

Maanviljelysinsinööripiirien ja kuntien rakennusmestarien keräämän aineiston tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6

| Maalaji           | Roudan syvyys |     | Havaintojen lukumäärä |
|-------------------|---------------|-----|-----------------------|
|                   | cm            | %   |                       |
| moreeni . . . . . | 104           | 100 | 94                    |
| sora . . . . .    | 107           | 103 | 34                    |
| hiekk . . . . .   | 87            | 84  | 82                    |
| hieta . . . . .   | 81            | 78  | 116                   |
| savi . . . . .    | 85            | 82  | 156                   |
| turve . . . . .   | 43            | 41  | 243                   |

Tulokset ovat samansuuntaisia kuin taulukossa 5, joskin pieniä eroja on havaittavissa. Myös taulukko 6 osoittaa, että roudan syvyys on karkeissa kivennäismaissa suurempi kuin hienojakoisissa ja että turvemailla roudan vahvuus on vain noin puolet kivennäismaiden roudasta. Verrattaessa taulukkojen 5 ja 6 sekä *Simolan*, *Keräsen* ja *Debskin* tutkimusten perusteella roudan syvyyttä eri maalajeissa, saadaan seuraava yhdistely:

|                         |  | R y h m ä                      |                     |                |
|-------------------------|--|--------------------------------|---------------------|----------------|
|                         |  | I<br>(moreeni,<br>sora, hiekk) | II<br>(hieta, savi) | III<br>(turve) |
| Taulukko 5 . . . . .    |  | 100                            | 89                  | 52             |
| „ 6 . . . . .           |  | 100                            | 85                  | 44             |
| „ 2 . . . . .           |  | 100                            | 87                  | 53             |
| „ 1 . . . . .           |  | 100                            | 70                  | 61             |
| <i>Debski</i> . . . . . |  | 100                            | 92                  | 78             |

Kolme ylintä riviä nojautuvat suoranaisiin mittauksiin Suomessa, ja eri maalajeissa osoittautuvat niissä suhdelluvut varsin yhdenmukaisiksi. Niiden mukaan hienojakoisissa kivennäismaissa roudan sy-

vyys on 85—90 % ja turvemaissa n. 50 % korkearakeisten kivennäismaiden roudan syvyydestä. Taulukon I mukaiset, arviointiin nojautuvat arvot poikkeavat jonkin verran näistä samoin kuin *Debskin* Puolassa saamat suhdelluvut.

Maastotyyppin vaikutuksen selvittämiseksi on taulukkoon 7 koottu maataloushallituksen vesistö-

Taulukko 7

| Paikkakunta   | Maastotyyppi  | Maalaji   | Roudan syvyys cm | Havaintovuosien määrä |
|---------------|---------------|-----------|------------------|-----------------------|
| Vehmaa . .    | pelto . . . . | urpasavi  | 36.5             | 9                     |
| „ . .         | tiheä metsä   | hieta . . | 15.1             | 9                     |
| Rantasalmi .  | pelto . . . . | moreeni   | 34.7             | 10                    |
| „ . .         | tiheä metsä   | hieta . . | 26.0             | 10                    |
| Alavieska . . | pelto . . . . | turve . . | 39.0             | 10                    |
| „ . .         | tiheä metsä   | moreeni   | 21.9             | 10                    |
| Ruokolahti .  | pelto . . . . | moreeni   | 21.3             | 9                     |
| „ . .         | tiheä metsä   | „         | 16.0             | 9                     |

tutkimusten yhteydessä tehtyjä havaintoja vv. 1938—1947.

Taulukossa esitetyt arvot osoittavat 4—5 mittauskohdan keskiarvoja. Roudan syvyys on näissä mittauskohdissa ollut huomattavan pieni samoin kuin aikaisemmin esitetyissä hydrografisen toimiston pitkäaikaisissa havainnoissa (taulukko 3). Metsässä roudan syvyys on ollut melkoisesti pienempi kuin pelloilla. Metsän vaikutus on esim. Alavieskassa ollut suurempi kuin maalajin vaikutus. Tiheässä metsässä on taulukon 7 mukaan roudan syvyys keskimäärin 60 % läheisillä pelloilla mitatuista arvoista. Simolan mukaan vastaava suhde on 51 %.

Liikennöidyillä paikoilla ja pihamailla roudan syvyys on melkoisesti suurempi kuin muualla. Vaikka tämä seikka on tunnettu, käytetään teiden kohdilla ja pihamailla silti usein samaa syvyyttä vesijohdoissa kuin suojatuissakin kohdissa. Tämä on useimmiten syynä putkien jäätymiseen ja rikkoutumiseen, mikä puolestaan aiheuttaa käyttökelpoisuuden huononemista ja kalliita korjauskustannuksia. Kun kiertokyselyn yhteydessä keväällä 1947 tiedusteltiin myös vesijohtojen jäätymistä, ilmenivät melkein kaikki tällaiset tapaukset teiden kohdilla tai pihamailla, missä johtoja ei oltu asetettu riittävän syvälle.

Pihamailla on suurimmat roudan syvyudet tavattu moreenimailla. Keskiarvona 20 mittauksesta saadaan syvyydeksi 165 cm, näistä on 5 tapauksessa (eli 25 % havainnoista) syvyys ylittänyt 200 cm. Soramaassa on keskiarvo 152 cm, hiekkamaassa 127 cm ja hietamaassa 125 cm. Nämä ovat samoin 20 mittauksen keskiarvoja. Savimailla on 11 mittauksen keskiarvo 112 cm. Jos moreenimaan arvoa merkitään 100:lla, saadaan näiden keskiarvojen perusteella suhdelluvuiksi eri maalajeissa:

|                   |     |
|-------------------|-----|
| moreeni . . . . . | 100 |
| sora . . . . .    | 92  |
| hiekk . . . . .   | 77  |
| hieta . . . . .   | 76  |
| savi . . . . .    | 68  |

Tämän mukaan ovat erot eri kivennäismaissa suurenmat silloin, kun lumipeitteen suojaava vaikutus on vähäisempi. Jos taulukosta 2 lasketaan hiekan ja saven roudan syvyydet erikseen ohuen lumipeitteen (< 40 cm) ja erikseen vahvan lumipeitteen arvoista (> 40 cm), saadaan keskimäärin seuraavat suhteelliset arvot:

| Lumen syvyys | Suht. roudan syvyys |      |
|--------------|---------------------|------|
|              | hiekkä              | savi |
| 0—40 cm      | 100                 | 83   |
| 40—80 „      | 100                 | 96   |

Tämänkin mukaan vahvan lumipeitteen aikana maalajierot ovat vähäisemmät kuin silloin, kun lumipeitteen suojaava vaikutus on pieni.

Suurimmat havaitut roudan syvyydet keväällä 1947 olivat myös moreenimailla. Posiolla pihamaalla mitattiin 290 cm, Lauritsalassa rautatieleikkauksessa samoin 290 cm ja Muhoksella 286 cm. Suurin soramaassa mitattu arvo oli 253 cm pihamaalla Kokemäellä. Vesijohdot, jotka täällä olivat 210—250 cm:n syvyydessä, jäätyivät maaliskuun puolivälissä.

## II

### Roudan vaikutus rakenteiden syvyyteen

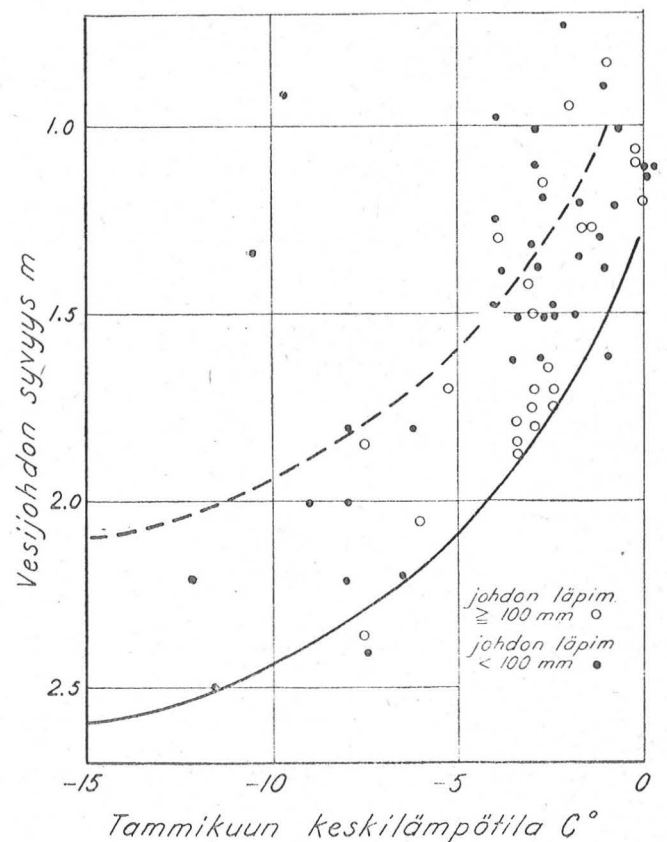
#### Roudaton syvyys rakennuspaikoilla

Kun pyritään löytämään käytäntöön soveltuvia ohjeita rakennusperustusten sekä vesi- ja likavesijohdojen syvyyttä määrättäessä, ovat ne suoranaisia routamittauksia koskevat aineistot, joita aikaisemmin on selostettu, riittämättömiä. Puutteita näissä aineistoissa ilmee nimenomaan sellaisissa kohdissa, jotka rakennusteknisessä mielessä ovat kriittisiä. Rakenteiden syvyys on lisäksi riippuvainen muistakin seikoista kuin roudan syvyydestä. Tämän vuoksi on syytä ottaa huomioon myös käytännössä saatuja kokemuksia vesijohdojen ja rakennusperustusten syvyydestä erilaisissa olosuhteissa. On toisaalta muistettava, että henkilöt, jotka etenkin maaseudulla määräävät vesijohdojen ja rakennusperustusten syvyydet, eivät läheskään aina omaa riittävää kokemusta asian ratkaisemiseksi oikealla tavalla. Käytetyt syvyydet ovat siten enemmän tai vähemmän subjektiivisia arvioita, tai usein valitaan suhteellisen mielivaltaisia tasaisia lukuarvoja.

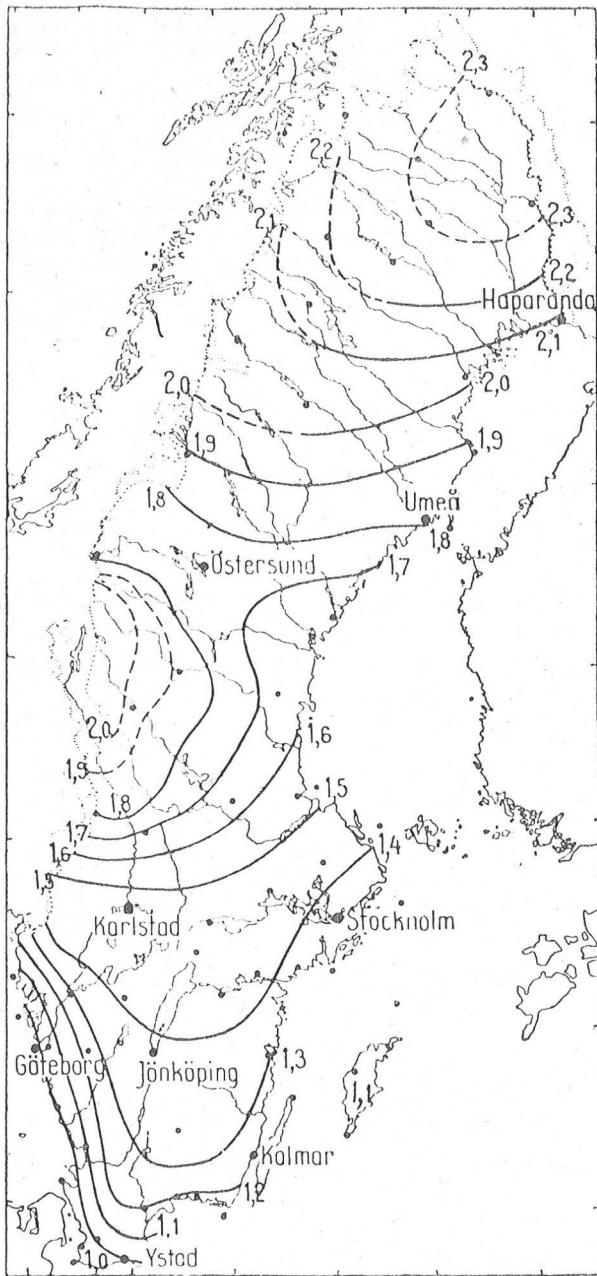
Olosuhteet erilaisilla rakennuspaikoilla vaihtelevat niin suuresti, että on kyseenalaista, missä määrin on mahdollista esittää kovin yksityiskohtaisia ohjeita roudan syvyyden arvioimiseksi. Kuitenkin arviointien helpottamiseksi ja yhdenmukaisuuden saavuttamiseksi on toivottavaa, että normaalitapauksia ajatellen voitaisiin ottaa huomioon mm. maantieteellisen aseman vaikutus. Tässä mielessä kaivataan Suomes-

sa samanlaisia karttoja roudattomasta syvyydestä kuin Ruotsissa on laadittu. *Gregerz ja Hellström* (v. 1926) ovat tällaista karttaa piirtäessään nojautuneet tietoihin jäätyneiden ja vahingoittuneiden vesijohdojen syvyyksistä eri osissa maata sekä määränneet vuorosuhteen näiden syvyyksien ja tammikuun keskilämpötilan kesken. Tätä esittää kuva 4. Siihen on piirretty myös käyrä, miten syvälle vesijohdot normaalitapauksissa olisi asetettava (alempi käyrä). Puoli metriä tämän yläpuolella oleva samansuuntainen käyrä osoittaa sen syvyyden, mihin rakennusperustukset heidän ehdotuksensa mukaan Ruotsissa ulotetaan. *Beskow* on aikaisemmin tehtyjen tutkimusten täydennykseksi ottanut huomioon myös routavahingot pakkastalvina 1939—1942 ja esittänyt kuvassa 5 olevan kartan roudattomasta syvyydestä huomauttamalla, että siitä ilmeneviä arvoja voidaan käyttää normeina määrättäessä perustus-syvyyttä rakennuksissa, joissa ei ole lämmitettävää kellaria. Jos lämpöä tulee sokkelin kautta, voidaan perustus-syvyyttä pienentää. Vesijohdoissa hänen mukaansa vaaditaan 10—15 %:n varmuuslisä johdon päältä mitattuna.

Kun olosuhteet Suomessa ovat monessa suhteessa samanlaisia kuin Ruotsissa, voidaan täälläkin ajatella käytettävän apuna samansuuntaisia menettelytapoja. Asian selvittämiseksi kerättiin keväällä 1947 suoritetussa kiertokyselyssä myös tietoja jäätyneiden ja vaurioituneiden vesijohdojen syvyyksistä ja



Kuva 4



Kuva 5

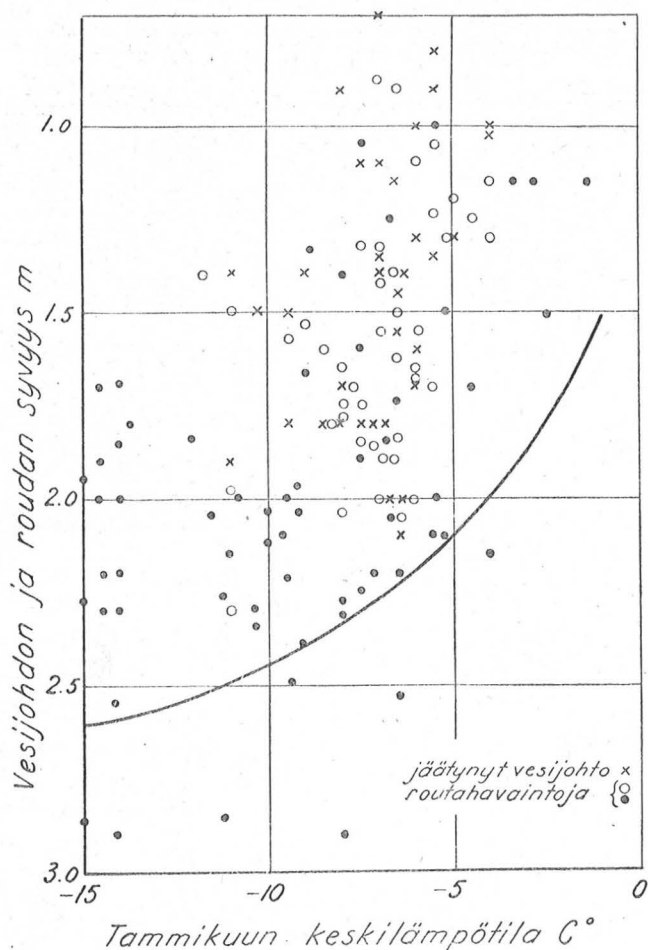
vastaavista roudan syvyyksistä. Saadut tiedot on esitetty taulukossa 8.

Kun tutkitaan, olisiko *Gregerz-Hellströmin* mnettelytavalla määrätty vesijohtojen syvyys ollut taulukossa 8 esitetyissä tapauksissa riittävä, saadaan kuvassa 6 esitetty vertailu. Kuvaan merkityt ristit tarkoittavat jäätyneen vesijohdon syvyyttä ja valkeat ympyrät mitattua roudan syvyyttä niissä havaintokohdissa, missä vesijohtojen jäätymisiä oli sattunut. Kuvaan on lisäksi mustilla ympyröillä merkitty n. 50 suurinta keväällä 1947 havaittua roudan syvyyttä eri puolilla maata. Havaintopaikkakunnan keskilämpötila tammikuussa on määrätty *Keräsen* mukaan 30-vuotiskaudella 1891—1920.

Kuvasta 6 havaitaan, että jäätyneiden vesijohtojen syvyyttä esittävät pisteet samoin kuin suurimpia ha-

Taulukko 8

| Paikkakunta | Vesijohdon syvyys cm | Roudan syvyys cm | Maalaji   | Huomautuksia                         |
|-------------|----------------------|------------------|-----------|--------------------------------------|
| Ahlainen    | 160                  | 168              | sora      | pihamaa                              |
| Asikkala    | 180                  | 180              | „         | 10 m maantiestä                      |
| Askainen    | 80                   | 105              | savi      | puuputki ojan alla                   |
| Eräjärvi    | 90                   | 124              | „         | puuputki                             |
| Eurajoki    | —                    | 120              | savi      | liikennöity paikka                   |
| Forssa      | 180                  | 190              | moreeni   | rakennusperustus                     |
| Halikko     | 100                  | 110              | savi      | pelto                                |
| Honkajoki   | —                    | 90               | hieta     | pihamaa                              |
| Jokioinen   | 180                  | 185              | sora      | tien alla                            |
| „           | 110                  | 132              | savi      | „                                    |
| „           | —                    | 175              | moreeni   | pihamaa                              |
| Kankaanpää  | 210                  | —                | hiikka    | puisto                               |
| „           | 200                  | 205              | „         | pihamaa                              |
| „           | 155                  | —                | moreeni   | kylätien sivuoja                     |
| „           | —                    | 184              | hiikka    | „                                    |
| Kauhajoki   | —                    | 155              | savihieta | pihamaa                              |
| „           | 110                  | 133              | „         | „                                    |
| Kemiö       | —                    | 170              | moreeni   | puuputki tien alla                   |
| Kokemäki    | 210—250              | 253              | sora      | jäätynyt 15.3.                       |
| „           | 145                  | 210              | savi      | 3, pihamaa                           |
| Kymi        | —                    | 142              | hieta     | jäätynyt 18.3.                       |
| Lappfjärd   | —                    | 165              | moreeni   | pelto                                |
| Laukaa      | 150—180              | 157              | „         | polun alla                           |
| Loimaa      | 130                  | 155              | savi      | kadun alla                           |
| Luumäki     | —                    | 175              | moreeni   | tie                                  |
| „           | —                    | 165              | „         | pihamaa                              |
| Muhos       | —                    | 204              | hiikka    | „                                    |
| Mäntsälä    | 130                  | 200              | sora      | „                                    |
| Nakkila     | —                    | 162              | savihieta | pelto                                |
| Nastola     | —                    | 200              | savi      | „                                    |
| „           | 180                  | 186              | sora      | „                                    |
| Noormarkku  | 200                  | 190              | hiikka    | pihamaa                              |
| Nurmes      | 190                  | 197              | „         | „                                    |
| „           | —                    | 230              | „         | „                                    |
| Orivesi     | —                    | 179              | sora      | pihamaa                              |
| Oulunsalo   | 150                  | > 150            | savihieta | „                                    |
| Paimio      | 130                  | 130              | „         | talvitie                             |
| Pernaja     | —                    | n. 150           | „         | 105 cm sarkaojan pohjan alla         |
| Pernaja     | 115—120              | 140              | savihieta | jäätynyt salaoja                     |
| „           | 140                  | 140              | „         | pelto                                |
| Polvijärvi  | 140                  | 150              | sora      | jäätynyt 26.3.                       |
| Porvoo      | 70                   | 88               | moreeni   | pihamaa                              |
| Rymättylä   | 100                  | 115              | moreeni   | „                                    |
| Savitaipale | 180                  | 180              | savihieta | vesijohto murtunut sivuojan kohdalla |
| „           | —                    | 160              | moreeni   | rakennuksen perusmuurin vieressä     |
| Sumiainen   | —                    | 156              | savihieta | tien kohta                           |
| Sääksmäki   | 160                  | 160              | moreeni   | talontie                             |
| Taivassalo  | 100                  | 120              | sora      | „                                    |
| Turku       | 135                  | —                | „         | likavesijohto                        |
| Ulvila      | —                    | 200              | hieta     | pihamaa                              |
| Vehmaa      | —                    | 125              | savi      | „                                    |
| Viljakkala  | 135                  | —                | „         | puujohto ei jäätynyt                 |
| „           | —                    | —                | „         | 115 cm syvyydessä                    |
| Ylitornio   | —                    | 140              | savi      | pihamaa                              |
| Ähtäri      | 140                  | 153              | „         | „                                    |

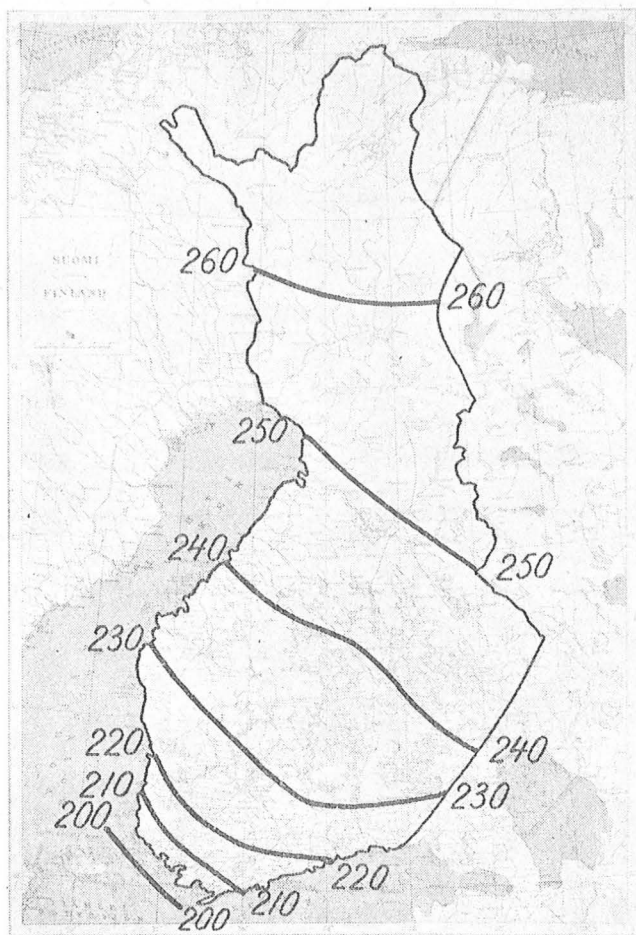


Kuva 6

vaittuja roudan syvyyksiä edustavat pisteetkin ovat varsin hajallaan. Useilla paikkakunnilla vesijohdot on asetettu 1.0—1.5 m syvyyteen maantieteellisestä asemasta riippumatta. On ilmeistä, että seuduilla, missä tammikuun keskilämpötila on esim.  $-5^{\circ}\text{C}$  tai sitä alhaisempi, tällainen syvyys on riittämätön. Havaitaan edelleen, että jos vesijohdot olisi asetettu Ruotsissa käytetyn menettelytavan mukaan kuvaan merkityn käyrän syvyydelle, niissä ei keväällä 1947 olisi jäätymistapauksia sattunut. Vain muutamat harvat routahavainnot osoittavat roudan syvyyden olleen suuremman kuin käyrä osoittaa. Tällaiset poikkeuksellisen suuret roudan syvyydet ovat kuitenkin erikoisolosuhteista johtuneita.

On huomattava, että kevään 1947 roudan syvyys voi esiintyä 1—2 kertaa kymmenessä vuodessa. Mutta vaikka otetaan huomioon sellainenkin roudan syvyys, joka sattuu kerran miespolven aikana (20—30 vuodessa) ja joka on n. 20—30 % suurempi kuin kevään 1947 roudan syvyys, tällöinkin tavallisessa moreeni-, hiekka- ja savimaassa olisi käyrän osoittamalla syvyydellä jäätymistapauksia sattunut vain ani harvoja.

Edellä olevan mukaan voidaan siis Suomessakin roudatonta syvyyttä rakennuspaikoilla määrättäessä käyttää apuna samanlaista menettelytapaa kuin Ruotsissa. On kuitenkin huomattava, että muutkin



Kuva 7

ilmastolliset tekijät kuin tammikuun keskilämpötila vaikuttavat routaantumiseen ja nämä vaihtelevat Suomessa toisella tavalla kuin Ruotsissa. Aikaisemmin on myös osoitettu, että roudan syvyys on pikemminkin riippuvainen koko sen ajanjakson lämpötilasta, jolloin roudan muodostusta tapahtuu (kuva 2). Käytettävissä oleva aineisto on kuitenkin riittämätön, jotta kaikkien ilmastollisten tekijäin vaikutus olisi täsmällisin numeroarvoin esitettävissä. Olemme senvuoksi erillisiin havaintoihin nojautumalla koettaneet ottaa huomioon tärkeimpien ilmastollisten tekijäin aiheuttamat poikkeamat niihin lukuihin, mitkä saadaan, kun roudan syvyys maan eri osissa määrätään vain kuvassa 6 esitetyn käyrän perusteella. Näin olemme saaneet kuvassa 7 esitetyn kartan roudattomasta syvyydestä tavallisessa moreeni-, sora- tai hiekkamaassa. Kartasta saadut arvot osoittavat siis näissä maalajeissa sitä syvyyttä, mikä on roudaton poikkeuksellisen kylminäkin talvina sellaisissa maastokohdissa, missä lumi- ja kasvi- peitteen suojaava vaikutus on vähäinen ja missä routaantumista ei tapahdu sivultapäin (esim. kadut, tiet, pihamaat).

Mainittakoon tässä yhteydessä, että Norjassa on Haug (v. 1944) piirtänyt kartan ns. kylmyysmäärästä, jotta sen avulla voitaisiin roudan syvyys arvioida maan eri osissa. Kylmyysmäärällä tarkoite-

taan miinusasteiden ja niiden kestävyysajan (joko vuorokausina tai tunteina ilmaistuna) tuloa. Suoritetuissa laboratoriokokeissa on todettu roudan syvyyden riippuvan maan fysikaalisten ominaisuuksien ohella lähinnä yllämainitusta kylmyysmäärästä. Myös *Beskov* lienee kuvassa 5 esitettyä karttaa piirtäessään ottanut näin lasketun kylmyysmäärän jossain määrän huomioon.

#### *Vesijohtojen syvyys*

Suurimman mahdollisen roudan syvyyden ottaminen perustaksi vesijohtojen syvyyttä määrättäessä johtaa taloudellisesti kovin kalliisiin rakenteisiin. Käytännössä onkin päädytty siihen, että sallitaan mieluummin vähäinen jäätymisvaara kuin ryhdytään kovin syvien kaivantojen tekemiseen. Kun syvyyden määrääminen meillä on ollut melko kaavamaisista, on usein tapahtunut niin, että toisissa osissa johtoverkkoa on jäätymisvaaraan nähden ollut ylivarmuutta, kun taas toisissa osissa on käytetty aivan riittämätöntä johtosyvyyttä.

Vesijohtojen syvyys lasketaan Suomessa yleensä johdon yläreunasta. Tähän menettelytapaan nähden voidaan kuitenkin esittää huomautuksia. Pieniläpimittaiset johdot, jotka käytännön kokemuksen mukaan jäätyvät helpommin kuin suuret johdot, joutuvat täten matalampaan. Voidaan ajatella myös ratkaisua, että johtojen syvyys lasketaan alareunasta. Kolmantena vaihtoehtona on, että syvyys määrätään johdon keskipisteestä, mitä menettelyä mm. *Greyerz* ja *Hellström* suosittelevat. Molemmissa viimeksimainituissa tapauksissa tulevat pienet johdot syvempään, ja siten koko johtoverkko tulee jäätymisvaaraan nähden enemmän samaan asemaan kuin ensiksimainitussa tapauksessa. Kun johdon syvyys määrätään keskipisteestä, tapahtuu eri suuruisien johtojen liittäminen toisiinsa vaivattomasti.

Pienten johtojen suurempi jäätymisvaara on helposti ymmärrettävissä. Niissä vesi on aika ajoittain seisovaa, etenkin päätejohdoissa, ja umpeenjäätyminen tapahtuu lyhyemmässä ajassa kuin suurissa johdoissa. Mutta vaikka veden virtausnopeus olisi pienissä johdoissa yhtä suuri kuin suurissa johdoissa, niin sittenkin niiden jäätymisvaara on suurempi. Jollakin tietyllä vedennopeudella on nimittäin veden tuoma lämpöenergia suurissa johdoissa suurempi jäähdyttävää pintaa kohden kuin pienissä, sillä virtaava vesimäärä kasvaa neliössä johdon läpimitan kasvaessa, kun taas jäähdyttävä pinta kasvaa suoraan viivaisesti.

On pyritty johtamaan sääntöjä siitä, mikä on alin vedennopeus eri olosuhteissa, jotta jäätymistä ei pääsisi tapahtumaan. Esim. *Greyerz—Hellström*in mukaan pienin vaadittava vedennopeus on kääntäen verrannollinen johdon sisähalkaisijaan. Pienet johdot vaativat tämän mukaan myös suuremman vedennopeuden, jotta jäätymistä ei tapahdu.

Täydentääksimme keväällä 1947 suoritettua kiertokyselyä roudan ja jäätyneiden vesijohtojen syvyydestä, joka kysely kohdistui vain maaseudulle, tiedustelimme myöhemmin eräiden kaupunkien rakennustoimistoista ja vesijohtolaitoksista käytettyjä perustussyvyyskyselyjä ja vesijohtojen syvyyksiä sekä sitä, oliko esiintynyt routavahinkoja. Taulukossa 9 on esitetty tiedustelun tulokset. Taulukkoon on lisäksi merkitty kuvan 7 mukaan määrätty roudaton syvyys asianomaisissa kaupungeissa.

Tiedustelu osoitti, että melkein poikkeuksetta käytetään kussakin kaupungissa maalajista ja johdon suuruudesta riippumatta samaa vesijohtosyvyyttä, joka määrätään yleisesti johdon yläreunasta. Huomautussarekkeeseen on taulukkoon merkitty, mitä poikkeuksia yleisesti käytettyihin syvyyksiin nähden on ilmennyt. Tampereelta saadun tiedon mukaan on kevättälvelle 1947 Pyynikillä mitattu poikkeukselli-

T a u l u k k o 9

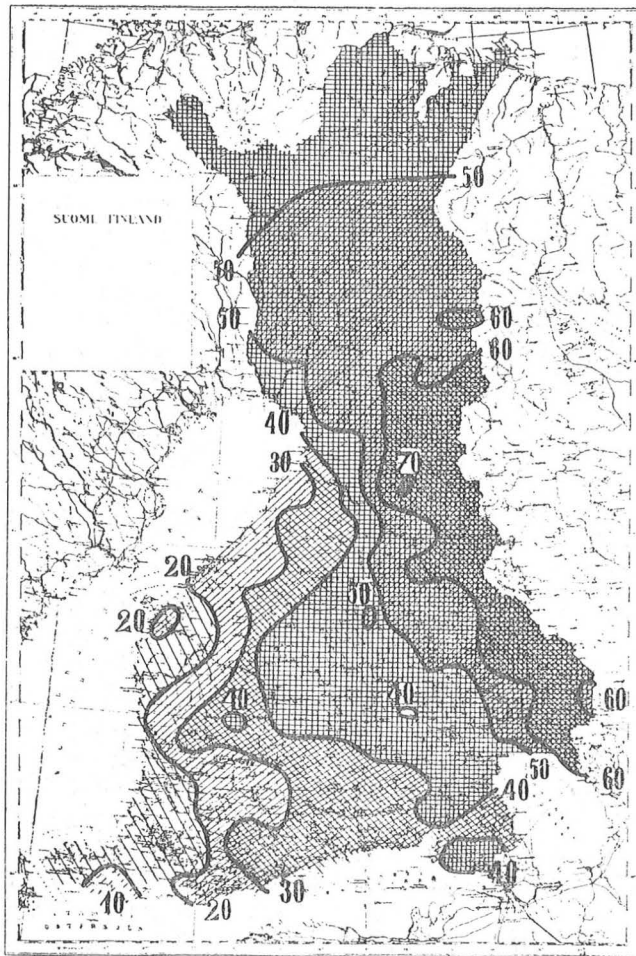
| Paikkakunta    | Roudaton syvyys m | Sallittu vesijohdon syvyys yläreunasta mitattuna m | Suurin jäätynyt putkihalkaisija | Huomautuksia                                                                                                                                                   |
|----------------|-------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Helsinki ..... | 2.15              | 2.00                                               | 6"                              | Eristyksenä lasivillaa + hiekkatäyte maanpintaan (katukiveykseen)                                                                                              |
| Turku .....    | 2.10              | 2.00—2.30                                          | 6"                              | Johtomurtumia, jotka ovat aiheutuneet ulkopuolisesta jään paineesta, on havaittu. Johtoaaine valurautaa.                                                       |
| Tampere ....   | 2.30              | 2.20                                               | 4"                              | Karkeassa sorassa nyt käytetty 3 m syvyyttä. Mitattu 2.50 m roudan syvyyksiä moreenissa ja v. 1947 jopa 4.0 m syvyys. V. 1947 lukuisia jäätyneitä vesijohtoja. |
| Lahti .....    | 2.30              | 2.20                                               | 3"                              | Viime aikoina sallittu 2.40 m syvyys vesijohdon alareunaan.                                                                                                    |
| Vaasa .....    | 2.35              | 2.20                                               | 5"                              | Likavesijohdot vesijohtojen yläpuolella paikoittain.                                                                                                           |
| Jyväskylä .... | 2.35              | 2.20                                               | —                               | V. 1941 mitattu 2.40 m roudan syvyys. Mannesmannputket.                                                                                                        |
| Savonlinna ..  | 2.40              | 2.30                                               | —                               | Likavesijohdot vesijohtoja alempana.                                                                                                                           |
| Joensuu ....   | 2.45              | 2.20—2.30                                          | 4"                              | Johdot peitetään hiedalla. Ei ole jäätymisiä sattunut. (Puuttuu yhtenäinen vesijohtoverkko). Mitattu 2.20 m roudan syvyys.                                     |
| Kokkola ....   | 2.40              | 2.20                                               | 6"                              | V. 1940 jäätynyt useita johtoja, mutta v. 1947 vain muutamia soramaassa 2.30 m syvässä olleita.                                                                |
| Oulu .....     | 2.50              | 2.50                                               | —                               | Vuodesta 1942 alkaen, jolloin mitattiin 2.30 m roudan syvyys, on käytetty 2.50 m syvyyttä. V. 1947 ilmennyt jäätymisiä.                                        |
| Kemi .....     | 2.55              | 2.50                                               | —                               | Jäätyminen harvinaista.                                                                                                                                        |
|                |                   |                                                    |                                 | Syvyys lisättiin talven 1942 jälkeen 2.5 m:iin, sillä suuri osa vesijohtoverkkoa jäätynyt mainittuna vuonna.                                                   |

nen roudan syvyys. Routa oli rakenteeltaan runsaasti jääpitoista ja jääkiteitä havaittiin vielä 4.0 m syvyydessä. Maalaji oli kivistä moreenia.

Jos verrataan eri kaupungeissa käytettyjä vesijoh-  
tojen syvyyksiä kuvassa 7 saatuihin roudattomiin  
syvyyksiin moreeni-, sora- ja hiekkamaassa, voidaan  
todeta, että viimeksi mainitussa syvyydessä vain  
harvoissa poikkeustapauksissa esiintyy routavahin-  
koja. Kuten taulukosta 9 havaitaan, jäätymisiä on  
tapahtunut vain ohuimmissa vesijohdoissa. Niiden-  
kin syvyydet ovat paria poikkeusta lukuunottamatta  
olleet hieman pienempiä kuin kuvan 7 mukaan mää-  
rätty roudaton syvyys. On huomattava, että missä  
jäätymisiä on sattunut, on syynä usein ollut jokin  
erikoisheikkous, kuten kylmyyttä johtava kivijalka,  
maan suuri kivisyys jne.

Preliminäärisenä ohjeena vesijohtojen syvyyden  
määrittämiseksi voidaan edellä olevan perusteella esi-  
tää seuraavaa:

Sellaisilla paikoilla, kuten kaduilla, teillä ja piha-  
mailla, missä lumen ja kasvipeitteen suojaava vai-  
kut<sup>us</sup> on vähäinen, on vesijohdot asetettava johdon  
keskikohdalta mitattuna kuvassa 7 esitettyyn syvyy-  
teen tavallisessa moreeni-, sora- ja hiekkamaassa.  
Maalajin vaikutus voidaan ottaa huomioon niin, että  
kuvasta 7 saatu syvyys kerrotaan kertoimella, joka on



Kuva 8

erittäin kivikkoisessa moreenissa ja sorassa 1.1,  
kalliossa ..... 1.2,  
kivettömässä hiesussa ja savessa ..... 0.9 ja  
turpeessa ..... 0.7.

Sellaisilla kohdilla, missä lumipeitteen suojaava  
vaikutus voidaan ottaa huomioon, kuten usein on  
asianlaita maaseudulla, voidaan kuvasta 7 saatuja  
syvyyksiä tavallisessa moreeni-, sora- ja hiekkamaassa  
pienentää yhtä paljon kuin lumipeitteen  
syvyys on keskimäärin maaliskuun puolivälissä.  
Lumipeitteen keskimääräinen syvyys maaliskuun  
puolivälissä aukeilla kentillä ilmenee Korhosen  
laatimasta kartasta (kuva 8). Muissa maalajeissa  
lumen suojaamissa paikoissa saadaan vesijohtojen  
syvyys kertomalla näin saatu syvyysarvo edellä mai-  
nituilla maalajin vaikutusta osoittavilla kertoimilla.

Tämän perusteella saadaan eräiden kaupunkien  
lähistöillä vesijohtojen syvyydeksi mitattuna johdon  
keskikohdalta taulukossa 10 ilmaistut arvot.

Taulukko 10

|                                          | Tur-<br>ku | Hel-<br>sinki | Vaa-<br>sa | Jy-<br>väskylä | Oulu | Ka-<br>jaani |
|------------------------------------------|------------|---------------|------------|----------------|------|--------------|
| Kaduilla ja<br>teillä                    |            |               |            |                |      |              |
| kallio .....                             | 2.50       | 2.60          | 2.80       | 2.80           | 3.00 | 3.00         |
| kivinen moreeni ja<br>sora .....         | 2.30       | 2.40          | 2.60       | 2.60           | 2.75 | 2.75         |
| tavallinen moreeni,<br>sora ja hiekka .. | 2.10       | 2.15          | 2.35       | 2.35           | 2.50 | 2.50         |
| kivetön hiesu ja<br>savi .....           | 1.90       | 2.00          | 2.10       | 2.10           | 2.30 | 2.30         |
| turve .....                              | 1.50       | 1.55          | 1.65       | 1.65           | 1.75 | 1.75         |
| Lumen suoja-<br>missa koh-<br>dissa      |            |               |            |                |      |              |
| kallio .....                             | 2.30       | 2.20          | 2.60       | 2.30           | 2.70 | 2.30         |
| kivinen moreeni ja<br>sora .....         | 2.10       | 2.00          | 2.40       | 2.10           | 2.40 | 2.10         |
| tavallinen moreeni,<br>sora ja hiekka .. | 1.90       | 1.85          | 2.15       | 1.90           | 2.20 | 1.90         |
| kivetön hiesu ja<br>savi .....           | 1.70       | 1.70          | 1.90       | 1.70           | 2.00 | 1.70         |
| turve .....                              | 1.30       | 1.30          | 1.50       | 1.30           | 1.50 | 1.30         |

Jos verrataan saatuja tuloksia taulukossa 9 esi-  
tettyihin sallittuihin syvyyksiin, havaitaan, että esi-  
merkiksi hiesu- ja savimaahan tulevat vesijohdot  
kaupungeissa voidaan asettaa matalampaan kuin  
yleensä on käytetty. Sensijaan kalliomaastossa ja  
kivikkoisissa kohdissa olisi etenkin pienet johdot  
asetettava syvempään, mikäli ei käytetä lämpöeris-  
tystä.

Maaseudulla vähentää lumipeitteen suojaava vai-  
kut<sup>us</sup> kustannuksia huomattavasti. Tällöin on kui-  
tenkin muistettava, että sellaisilla kohdilla, missä  
liikenteen vuoksi nyt tai vastaisuudessa lumen  
suojaava vaikutus on vähäinen, ryhdytään tarpeelli-  
siin varotoimenpiteisiin. Tämä voidaan tehdä joko  
vesijohdon syvyyttä lisäämällä tai käyttämällä lämpö-  
eristystä. Hyvää eristysai<sup>ent</sup>tta on mm. koksikuona.  
Helsingissä käytetään lasivillaa. Kivetön ja hieno  
hieta on suositeltavaa varsinkin, jos sillä voi-  
daan täyttää koko johtokaivanto. Maaseudulla  
voidaan käyttää helposti saatavana eristysaineena

mm. sahajauhoja tai turvetta. Kun nämä ajan mukana painuvat, on niitä pantava riittävän vahva kerros. Myös oja alitettaessa on jäätymisvaara ja tarvitaan eristystä. Eristys on tällöin ulotettava riittävän kauas sivullepäin. Kun routavahinkoja aiheutuu paitsi veden jäätymisestä johdoissa myös roudan aiheuttamista johtoja ympäröivän maan liikkeistä, on tämä otettava huomioon eristystä ja täytemaata valittaessa ja asetettaessa.

Myös johtoaineella on vaikutusta vesijohtojen jäätymiseen ja routavahinkoihin. Puusta tehdyt vesijohdot, mikä johtoaine on maaseudulla viime aikoina saanut laajan levikin, eivät jäädy yhtä helposti kuin valurauta- ja teräsjohtot. Valaisevana esimerkkinä mainittakoon, että Viljakalassa jäätyni maaliskuussa 1947 rautajohto, joka oli 1.35 m:n syvyydessä, samalla kun puinen johto jäi 1.15 m:n syvyydessä vahingoittumatta. Mannesmannjohtot ovat kestävämpiä kuin valurautajohdot mm. roudan aiheuttamia ulkonaisia paineita vastaan.

#### *Likavesijohtojen syvyys*

Likavesijohdot on asetettava niin, että niihin tulee sopiva putous. Tästä aiheutuu, että niiden syvyys maanpintaan verrattuna vaihtelee. Esimerkiksi Kokkolassa mainitaan syvyysvaihtelut 1.5—6.8 m:ksi pohjasta lukien. Kellarien syvyys määrää usein likavesijohtojen syvyydet.

Likavesijohtojen jäätymisvaara ei yleensä ole niin suuri kuin vesijohtojen. Tähän vaikuttaa mm. likaveden korkeampi lämpötila sekä se, että johtojen mitat ovat suurempia. Kustannussyistä pyritään likavesijohdot ja vesijohdot sijoittamaan samoihin kaivantoihin. Tällöin ne asetetaan eri korkeudelle, jotta sivujohtoja liitettäessä samassa tasossa oleva johto ei aiheuttaisi vaikeuksia. Periaatteessa likavesijohdot olisi asetettava alemmas, koska siten pienenee käyttöveden saastuttamisvaara, jos joudutaan vesijohtoja korjaamaan tai rakentamaan sellaisissa kohdissa, missä likavettä on tunkeutunut ympäröivään maahan. Tällöin likavesijohtojen jäätymisvaara roudan vuoksi tulee merkitykselliseksi, mikäli vesijohdot on asetettu riittävän syvälle. Mm. Jyväskylässä vesijohdot ovat paikotellen yläpuolella. Kuitenkin on käytetty päinvastaistakin järjestelyä, mm. Vaasassa, mikä vesijohtojen jäätymisvaaran kannalta on edullisempi. Myös eräät muut käytännölliset näkökohdat pakottavat usein käyttämään tällaista asetelua. Johtoja ei ole syytä asettaa päällekkäin, vaan niin, että kumpikin johto voidaan kaivaa auki toista liikuttamatta. Tämä tekee myös mahdolliseksi tarpeen vaatiessa sijoittaa jollakin kohtaa likavesijohdon matalampaan kuin vesijohdon, vaikka yleensä sijoitus olisi päinvastainen. Mikäli asutuskeskusten viemäröinnissä käytetään ns. erillisjärjestelmää, mitä järjestelmää tosin ei Suomen olosuhteissa yleensä pidetä suositeltavana, voidaan sadevesijohdot asettaa matalampaan kuin niistä erilliset likavesijohdot. Myös likavesijohtojen jäätymisvaara on riippuvainen veden nopeudesta. Näinollen voidaan siellä, missä johdon putous on suuri, johdon syvyyttä pienentää.

Vaikka likavesijohdot ovat jäätymisvaaraan nähden vähemmän arkoja kuin vesijohdot, voi asia toi-

sinaan olla päinvastoin. Syynä tällöin ovat kuitenkin sellaiset seikat, kuten kylmän tunkeutuminen johtoihin tarkastuskaivojen tai laskuaukon kautta jne. Tällaisen tapauksen mainittiin sattuneen keväällä 1947 Jyväskylässä.

#### *Salaojien syvyys*

Salaojien syvyys ei ole samalla tavalla riippuvainen roudan syvyydestä kuin vesijohtojen syvyys. Niissä ei talvella useinkaan virtaa vettä sinä aikana, jolloin jäätymisvaara on suurin, ja kokemus on osoittanut, että tällöin routa voi tunkeutua salaojien syvyyteen tiiliputkia vahingoittamatta. Tässä yhteydessä kuitenkin sivuutetaan niiden seikkojen lähempi tarkastelu, joista salaojien syvyys riippuu.

#### *Rakennusperustusten syvyys*

Kuten kuvasta 4 ilmenee, esittävät *Greyerz* ja *Hellström* rakennusperustusten syvyyden puoli metriä pienemmäksi kuin vesijohtojen syvyyden. *Varjo* suosittelee Suomessa savipitoisissa ja savimaissa roudan vuoksi 1.6—2.0 m perustussyvyyttä, viimeksi mainittua arvoa maan pohjoisosissa ja ensiksimmäintä eteläosissa. Likimäärin näihin syvyysarvoihin tullaan, jos perustamissyvyys otetaan Ruotsissa käytetyn menettelytavan mukaan 0.5 m pienemmäksi kuin kuvasta 7 ilmenevä roudaton syvyys. Hiekka- ja soramaissa *Varjo* pitää 1.0—1.5 m perustussyvyyttä riittävänä. Kuten aikaisemmin on osoitettu, tunkeutuu routa hiekka- ja soramaissa syvempään kuin hiesu- ja savipitoisissa maissa, ja suurimmat roudan syvyydet ylittävät huomattavasti yllämainitut *Varjon* suosittelemat arvot.

Rakennusperustusten syvyys on riippuvainen monesta muustakin tekijästä kuin siitä, mihin saakka maassa oleva vesi pakkastalvina jäätyy. Esimerkiksi kalliomaastossa, missä kylmyys tunkeutuu syvimälle, rakennukset voidaan perustaa suoraan maan pinnalle. Samoin karkeassa sora- ja karimaassa, missä routa tunkeutuu syvälle, mutta maa routiessa vähän vesipitoisuutensa vuoksi ei liiku, käytetään matalampaa perustussyvyyttä kuin hiesu- ja savipitoisissa maissa, joissa roudan syvyys on pienempi. Tällaisessa routimattomassa maassa ei usein muodostu edes kiinteää routakerrosta. Tämä voidaan todeta kerroksellisissa maissa mm. siitä, että vaikka karkeat kerrokset tuntuvat täysin roudattomilta, syvemmillä olevat hienojakoiset maakerrokset ovat jäätyneet koviksi. *Beskowin* mukaan liikkumattomia ovat sora ja hiekka, jossa raesuuruus on suurempi kuin 0.1 mm, myös varsin korkean pohjaveden vallitessa. Roudan vuoksi liikkuvia maita ovat hieno hietä, hiesu ja savi, joissa raesuuruus on pienempi kuin 0.06 mm. Raja liikkuvien ja liikkumattomien maiden välillä ei ole selvä, vaan riippuu mm. eri suurusten osasten määrästä ja pohjaveden korkeudesta.

Savi- ja turvemaat laajenevat jäätyessään melkoisesti. Niinpä *Wäreen* tutkimusten mukaan on pelolla maanpinta roudan vaikutuksesta kohonnut savi- maassa keskimäärin 15 % ja turvemaassa 25 % roudan syvyydestä. Tällaisissa runsaasti liikkuvissa maissa vaaditaan suurempi varmuus siihen nähden, että perustus liikkumiselle aroissa rakennuksissa.

ulottuu routarajan alapuolelle, kuin karkearakeisissa kivennäismaissa. Esimerkiksi Forssassa mainitaan keväällä 1947 roudan liikuttaneen savimaassa rakennusta, jonka perustus oli 1.8 m syvyydessä. Roudan syvyys mitattiin samassa kohdassa 1.9 m:ksi.

Roudatonta syvyyttä voidaan hietta-, hiesu- ja savi- maissa pitää lähtökohtana perustussyvyyttä koskevia normeja määrittäessä. Tämä syvyys on edellä esitetyn mukaan suojaamattomissa kohdissa 10 % pienempi kuin kuvassa 7 saatu syvyys. Mitä vähemmän routivaa on maalaji, sitä enemmän näistä syvyyksistä voidaan tinkiä.

Myös kuormituksen suuruus vaikuttaa roudan aiheuttamaan maan nousemiseen niin, että suurempi kuormitus pienentää nousemista. Tämä nousemista pienentävä vaikutus on sitä merkittävämpi mitä karkeampaa routiva maa on. Hiesu ja savi ovat tässä suhteessa melko vähän riippuvia kuormituksen suuruudesta, nousipa se vaikka useihin kymmeniin kiloihin  $\text{cm}^2$  kohden.

Käytetyistä perustussyvyyksistä eräissä kaupungeissa mainittakoon seuraavaa:

Oulussa käytetään 1.8 m perustussyvyyttä. Keveissä puurakenteissa on sallittu pienempiä syvyyksiä, vähän liikkuvassa maassa aina 0.9 m:iin saakka. Joensuussa käytetään 2.0 m syvyyttä maalajista riippumatta. Kun aikaisemmin on käytetty matalampaa syvyyttä, mainitaan rakennuksissa ilmenneen lukuisasti routavahinkoja. Savonlinnassa ja Jyväskylässä käytetään pienimpänä syvyytenä 1.8 m. Tämä syvyys näyttää olevan muuallakin varsin yleinen.

Jos verrataan kuvassa 7 esitettyä syvyyttä käytettyihin perustussyvyksiin, saadaan eräissä kaupungeissa seuraavat erotukset:

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| Helsinki .....   | 2.15 — 1.60 = 0.55 m |
| Savonlinna ..... | 2.40 — 1.80 = 0.60 m |
| Jyväskylä .....  | 2.35 — 1.80 = 0.55 m |
| Joensuu .....    | 2.45 — 2.00 = 0.45 m |
| Oulu .....       | 2.50 — 1.80 = 0.70 m |

Tämän mukaan yleisenä normina perustussyvyyteen nähden tavallisissa moreenimaissa voidaan käyttää 0.5 m pienempää syvyyttä kuin kuvassa 7 ilmenevä roudaton syvyys. Menettelytapa on tässä yhdenmukainen Greyerz—Hellströmin esittämän tavan kanssa. Sellaisissa tapauksissa, missä kylmyys ei pääse tunkeutumaan paljaan maan kautta, voidaan myös lumen suojava vaikutus ottaa huomioon. Toisaalta on muistettava, että perustus sinänsä on parempi lämmönjohtaja kuin ympäröivä maa.

Varsin oleellisesti perustussyvyys on riippuvainen rakennuksen laadusta. Se mitä edellä on esitetty maantieteellisen aseman, maalajin ja lumipeitteen vaikutuksesta perustussyvyyteen, koskee lämpimiä rakennuksia. Kylmissä rakennuksissa voidaan sallia rakennusten laadusta riippuen 0.5—1.0 m matalampi perustussyvyys kuin lämpimissä rakennuksissa. Lisäksi se seikka, onko kellari lämmitettävä vai pääseekö kylmä tunkeutumaan rakennuksen alta perustukseen vaikuttaa asiaan.

Myös rakennusainella on vaikutusta perustussyvyyteen. Niinpä maaseudulla hirsirakennukset perustetaan yleisesti varsin matalaan. Tällaisissa rakennuksissa seinät pääsevät roudan sulattua uudelleen painumaan, mutta esimerkiksi seinäpaperien halkeilu ja muut vastaavanlaiset virheet aiheuttavat jatkuvia korjauksia. Vaarallisinta on kuitenkin se, että palomuurit pääsevät halkeilemaan. Vaikka muurit perustetaankin riittävän syvälle, ne eivät seuraa muun rakennuksen liikkeitä, jos sokkeli on huonosti perustettu. Suurimpia virheitä maaseudun rakennustoiminnassa onkin liian matalaan perustaminen.

KAITERA, P and HELENELUND, K V: *The Depth of Ground Frost and its Influence on Depth of Foundations and of Water and Sewage Pipe Lines.* (Finnish original). Tekn. Aikl. 38 (1948) 1, p. 2—8.

In the beginning of the first part of the article, which was published in the previous number of this journal, the influence of climatic and terrene conditions on the depth of ground frost are explained. Also the earlier researches in Finland concerning the depth of the ground frost. Then the variations of the depth of the ground frost under various conditions are explained, based on the measurements (2060 measurements in different parts of the country) taken in the spring of 1947. The influence of the nature of the soil on the depth of ground frost is shown by the following ratios:

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| Moraine, gravel and sand ..... | 100   |
| Sand and clay .....            | 85—90 |
| Peat .....                     | 50    |

Fig. 3 shows the depth of ground frost in the spring of 1947 in coarse-grained mineral soils of graveyards.

In the second part the frost-free depth in coarse-grained mineral soil and unprotected places is accounted for first (Fig. 7). This is found by observing the average temperature of the winter months and the way in which water pipes have frozen in various parts of the country. This depth can be accepted as a standard when deciding the depth of the water conduits. The influence of the nature of the soil can be observed by using the following coefficients:

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| Rock .....                              | 1.2 |
| Stony moraine and gravel .....          | 1.1 |
| Ordinary moraine, gravel and sand ..... | 1.0 |
| Sand and clay .....                     | 0.9 |
| Peat .....                              | 0.7 |

The influence of a cover of snow can be observed by deducting from the values arrived at in Fig. 7, the depth of snow in the middle of March (Fig. 8) and by multiplying the value thus arrived at with the above mentioned soil coefficients.

The depth of house foundations in silt- and clay soil can be taken 10 % less than the depth taken from Fig. 7, in ordinary moraine soil again appr. 0.5 m smaller. The nature of the building has also a decisive influence on the depth of the foundation.