

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA  
FORESTALIA FENNICA

79

ARBEITEN DER  
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN  
GESELLSCHAFT  
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE  
SOCIETY OF FORESTRY  
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA  
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE  
DE FINLANDE

HELSINKI 1966

**Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin yleensä käsittää useampia tutkimuksia.

SILVA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta käsitteleviä kirjoitelmia ja pienehköjä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin.

**Finska Forstsamfundets publikationsserier:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Innehåller vetenskapliga undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland och dess grunder. Banden, vilka icke utkomma periodiskt, omfatta i allmänhet flere avhandlingar.

SILVA FENNICA. Omfattar uppsatser och mindre undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland. Utkommer icke periodiskt.

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA  
FORESTALIA FENNICA

79

ARBEITEN DER  
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN  
GESELLSCHAFT  
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE  
SOCIETY OF FORESTRY  
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA  
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE  
DE FINLANDE

HELSINKI 1966

## Acta Forestalia Fennica 79.

1. **Seppo E. Mustonen:** Ilmasto- ja maastotekijöiden vaikutuksesta lumen vesiarvoon ja roudan syvyyteen ..... 1—36  
Summary (Effect of meteorologic and terrain factors on water equivalent of snow cover and frost depth) ..... 37—40
2. **Peitsa Mikola:** Studies on the ectendotrophic mycorrhiza of pine ..... 1—56
3. **Olavi Laiho:** Further studies on the ectendotrophic mycorrhiza of pine .. 1—35
4. **Aarne Nyysönen and Pekka Kilkki:** Sampling a stand in forest survey .. 1—20

ILMASTO- JA MAASTOTEKIJÖIDEN  
VAIKUTUKSESTA LUMEN VESIARVOON JA  
ROUDAN SYVYYTEEN

SEPPÖ E. MUSTONEN

*SUMMARY:*

*EFFECT OF METEOROLOGIC AND TERRAIN FACTORS ON WATER  
EQUIVALENT OF SNOW COVER AND ON FROST DEPTH*

HELSINKI 1965

## Alkusanat

Tämä tutkimus perustuu havaintoihin, jotka on suoritettu maataloushallituksen insinööriosaston maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston hydrologisilla havaintoalueilla vuosina 1958 . . . 1964. Tutkimus liittyy osana näiden havaintotulosten käsittelyyn.

Tutkimusaineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä on prof. OLLI LOKKI antanut arvokkaita neuvoja sekä lukenut käsikirjoituksen. Prof. MATTI WÄRE on työn eri vaiheissa tukenut merkittävästi tutkimuksen suorittamista. Prof. LEO HEIKURAINEN on tutustunut käsikirjoitukseen ja tehnyt eräitä terminologiaa koskevia korjauksia. Fil.maist. ULJAS ATTILA on suorittanut englanninkielisen osan käännöstyön. Esitän heille kaikille kiitokseni.

Helsingissä, maaliskuussa 1965.

SEPPO E. MUSTONEN

## Sisällysluettelo

	Sivu
1. Johdanto .....	5
2. Maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston lumi- ja routahavainnot .....	7
2.1 Havaintolinjan merkitseminen .....	7
2.2 Lumen ja roudan mittaukset .....	7
2.3 Maastotutkimus mittauspisteissä .....	9
2.4 Havaintopisteiden ryhmittely ja maastotutkimuksen tulokset .....	9
3. Lumihavaintojen tulokset .....	16
3.1 Tutkimuksen tarkoitus ja matemaattinen käsittelytapa .....	16
3.2 Varianssianalyysin tulokset ja tulosten tarkastelu .....	18
3.3 Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin .....	22
3.4 Lumen aluevesiarvon laskeminen .....	24
4. Routahavaintojen tulokset .....	25
4.1 Tutkimusmenetelmä ja aineiston ryhmittely .....	25
4.2 Varianssianalyysin tulokset ja tulosten tarkastelu .....	27
4.3 Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin .....	31
5. Johtopäätökset .....	34
Kirjallisuutta .....	36
Summary .....	37

## 1. Johdanto

Lumipeitteen keväisellä vesiarvolla on keskeinen merkitys hydrologisessa tutkimuksessa Suomessa. Eri osissa maata tulee sadannasta lumena 200 ··· 230 mm eli 30 ··· 50 %. Maaliskuussa lumipeitteen vesiarvo on keskimäärin 60 ··· 200 mm eli 15 ··· 30 % vuosisadannasta. Lumi sulaa keväällä tavallisesti noin kuu-kauden pituisen ajan kuluessa synnyttäen melko säännönmukaisen kevätvalunnan, jonka suuruus riippuu ratkaisevasti lumen vesiarvosta. Vesiarvo määrää yhdessä lumen sulamisnopeuden kanssa myös kevätylivaluman suuruuden. Kevätvalunta on maassamme keskimäärin 25 ··· 50 % koko vuosivalunnasta. Lumen sulamisesta aiheutuva ylivaluma on tavallisesti suurempi kuin vesisateen aiheuttama ylivaluma. Lumipeitteellä ja sen muodostumistavalla on suuri merkitys maataloudessa ja metsätaloudessa.

Lumen vesiarvoa ja maastotyyppin vaikutusta siihen on Suomessa tutkinut KORHONEN (1915, 1923, 1927 ja 1936) ja hänen tutkimuksensa ovat perustana myöhemmille tutkimuksille (SIREN 1936, KAITERA 1939 ja SEPPÄNEN 1961).

Roudan syvyydellä on todettu olevan vaikutusta kevään valuntasuhteisiin (Komiteamietintö 1939). Roudan hydrologisista vaikutuksista on kuitenkin vain vähän varsinaisia mittauksiin perustuvia ja matemaattisesti käsiteltyjä tutkimustuloksia.

Roudan syvyyttä on tutkittu eri tarkoituksia varten. Nämä tutkimukset voidaan jakaa kahteen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat hydrologiset, maataloudelliset ja metsätaloudelliset routatutkimukset, joille kaikille on yhteistä se, että niissä tutkitaan luonnontilaisen lumipeitteen alla häiriintymättömissä olosuhteissa muodostuneen roudan syvyyttä. Näistä tutkimuksista voidaan mainita SIMOLAN (1930), JUUSELAN (1945) ja WÄREEN (1947) mittaukset, MAASILLAN (1959) esittämät yhteenvedot vuosina 1947 ··· 1953 suoritetuista peltomaiden roudansyvyyttä koskevista tiedusteluista, sekä YLI-VAKKURIN (1960) ja HUIKARIN (1961) tutkimukset lumen ja roudan metsätaloudellisista vaikutuksista.

Toisen ryhmän muodostavat rakennusteknilliset routatutkimukset, joissa on kysymys häiriintyneen tai poistetun lumipeitteen alla ja tavallisesti muutenkin poikkeuksellisissa olosuhteissa muodostuneesta roudasta (KAITERA ja HELENE-LUND 1948). Tämän laatuissa tutkimuksissa on kyseessä oleellisesti suuremmat roudan syvyydet kuin ensiksi mainituissa tutkimuksissa.

Kun maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston hydrolo-

ginen havaintoverkko järjestettiin uudelleen v. 1957, oli käytettävissä kokemuksia aikaisemmista lumi- ja routahavaintojärjestelyistä. Tässä suhteessa ovat merkityksellisiä KAITERAN tutkimukset 1930-luvulla hänen johtaessaan edellä mainittuja vesistötutkimuksia. Aikaisempien kokemusten perusteella katsottiin uusia havaintoja järjestettäessä välttämättömäksi noudattaa eräitä yleisperiaatteita. Jokainen havaintolinjan piste merkittiin mittanauhaa ja kompassia käyttäen merkkipaalulla tarkasti maastoon, jotta otantaperiaate tulisi otetuksi huomioon ja havaitsijan henkilökohtainen valinta eliminoiduksi suoritettaessa mittaus vuodesta toiseen samasta pisteestä. Kun lisäksi jokaisen havaintopisteen maasto-ominaisuudet, kuten puusto ja maaston kaltevuus, määritettiin tarkkoilla mittauksilla, voidaan jokaisen havaintopisteen lumi- ja routahavaintoja käsitellä erikseen, mitattujen puusto- ym. ominaisuuksien vaikutuksen selvittämiseksi.

Samat puustoa ja ym. maaston ominaisuuksia koskevat mittaukset suoritettiin myös havaintoalueella, joten lumi- ja routahavaintojen korjaaminen havaintoaluetta vastaavaksi on mahdollista.

Erityisen tärkeänä periaatteena on pidettävä tutkimukseen vaikuttavien tekijöiden, kuten puuston mittaamista, jolloin vältetään silmävaraisen arvioinnin aiheuttamista virheistä. Tuloksia voidaan tällöin vertailla esim. valtakunnan metsien inventointien tuloksiin ja todeta myös muutokset alueilla. Havainto-alueilla suoritettujen lumi- ja routatutkimusten tarkoituksena on lumen alueve-siarvon ja roudan keskisyvyyden määrittäminen valumahavaintoalueilla, jotta voitaisiin tutkia lumen vesiarvon ja roudan syvyyden vaikutusta kevätajan hydrologisiin ilmiöihin. Havaintolinjalla suoritettujen lumi- ja routamittausten muuntaminen valuma-alueen olosuhteita vastaaviksi edellyttää tiettyjä korjauksia. Seuraavassa esitetään näiden korjaustekijöiden määrittäminen mitattujen puuston ominaisuuksien perusteella. Saatuja tuloksia puuston vaikutuksesta lumen syvyyteen ja tiheyteen sekä roudan syvyyteen verrataan sitten aikaisempien tutkimusten tuloksiin.

## 2. Maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston lumi- ja routahavainnot

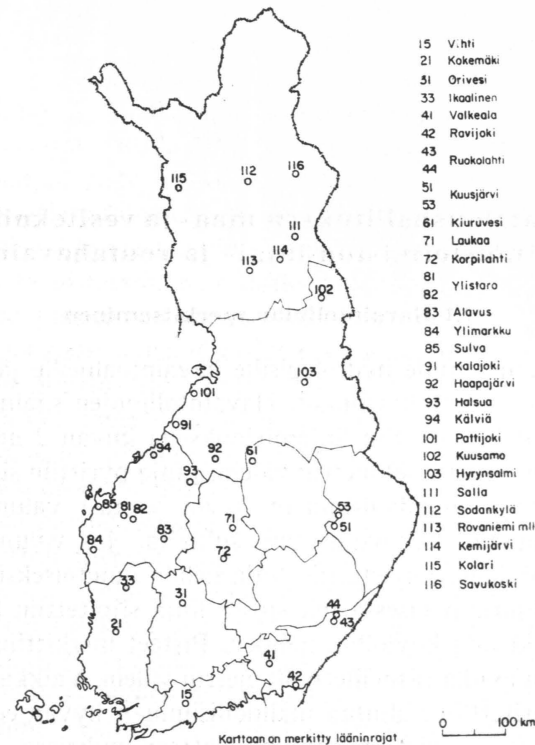
### 2.1 Havaintolinjan merkitseminen

Vuonna 1957 perustetuille hydrologisille havaintoalueille järjestettiin kevä-talvella 1958 lumi- ja routahavainnot. Havaintolinjojen sijainti on esitetty kuvassa 1. Havainnot järjestettiin linjamittauksena kuvan 2 mukaisilla linjoilla, joissa on 50 mittauspistettä 40 metrin välein. Linja pyrittiin sijoittamaan maastoon siten, että linja mahdollisimman hyvin vastasi valumahavaintoalueen maastotyyppi-, puusto-, kaltevuus- ym. suhteita. Jos valuma-alue oli pienikuvioinen ja -muotoinen, järjestettiin linja neliön muotoiseksi havaitsemistyön helpottamiseksi. Suurikuvioisessa maastossa linja sijoitettiin kulkemaan taval-lisesti suorana poikittain kuvioihin nähden. Pisteet merkittiin linjaan kompas-sin ja mittanauhan avulla täsmälleen 40 metrin välein. Vaikkakin linjan paikan määrittämisessä suoritettiin valintaa mahdollisimman hyvän edustavuuden saa-vuttamiseksi, tulivat itse pisteet otantaperiaatteen mukaisesti umpimähkäisesti joko puun alle tai aukkoon.

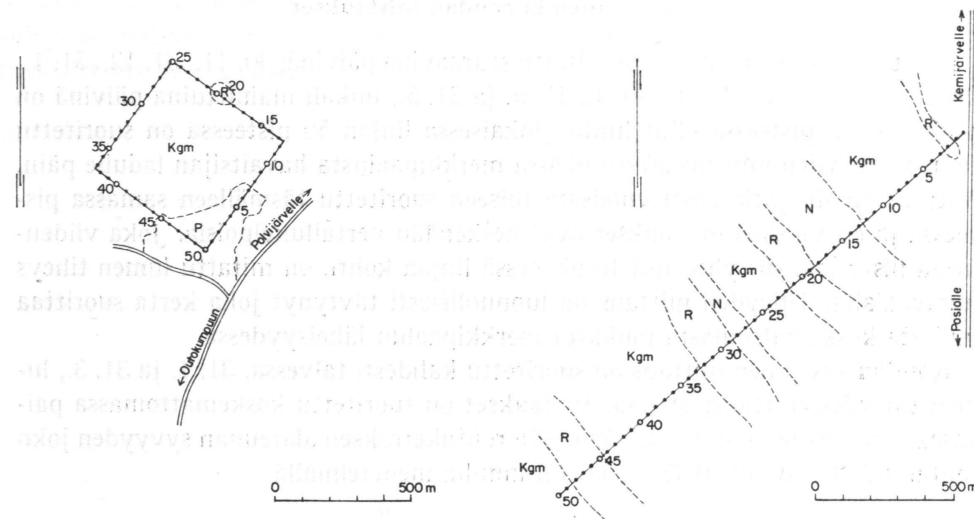
### 2.2 Lumen ja roudan mittaukset

Lumen mittaus linjalla on suoritettu seuraavina päivinä: 30. 11., 31. 12., 31. 1., 28. 2., 15. 3., 31. 3., 15. 4., 30. 4., 15. 5. ja 31. 5., mikäli mainittuina päivinä on yhdessäkään pisteessä ollut lunta. Jokaisessa linjan 50 pisteessä on suoritettu lumen syvyyden mittaus 20 cm päässä merkkipaalusta havaitsijan ladulle päin. Mittaus on siis jatkuvasti vuodesta toiseen suoritettu täsmälleen samassa pis-teessä ja eri vuosien mittaukset ovat keskenään vertailukelpoisia. Joka viiden-nessä pisteessä, siis yhteensä 10 pisteessä linjaa kohti, on mitattu lumen tiheys lumivaa'alla. Tiheyden mittaus on luonnollisesti täytynyt joka kerta suorittaa uudesta koskemattomasta paikasta merkkipaalun läheisyydessä.

Roudan syvyyden mittaus on suoritettu kahdesti talvessa, 31. 1. ja 31. 3., lu-men tiheyden mittauspisteissä. Mittaukset on suoritettu koskemattomassa pai-kassa. Havaitsija on mitannut kiinteän routakerroksen alareunan syvyyden joko routaraudalla (WÄRE 1947, s. 55) tai muulla menetelmällä.



Kuva 1. Lumi- ja routahavaintolinjojen sijainti.  
Fig. 1. Location of the snow and soil frost survey lines.



Kuva 2. Lumi- ja routahavaintolinjat 53 (Kuusjärvi) ja 114 (Kemijärvi).  
Fig. 2. Snow and soil frost survey lines No. 53 (Kuusjärvi) and No. 114 (Kemijärvi)

### 2.3 Maastotutkimus mittauspisteissä

Havaintopisteissä on suoritettu sama maastotutkimus kuin valumahavainto-alueilla. Maastotyyppi on määritetty kussakin mittauspisteessä (pelto, kangas-metsä, korpi, räme ja neva). Maastotyyppisiä edelleen ryhmitettäessä on kangas-metsät, korvet ja rämeet yhdistetty yhdeksi ryhmäksi, josta on käytetty nimitystä metsä.

Metsäpisteissä on mitattu puuston pohjapinta-ala ja keskipituus puulajeittain. Näiden mittausten perusteella on laskettu puuston kuutiomäärä ja puulajijakautuma. Pohjapinta-ala on mitattu relaskoopilla ja puuston keskipituus Blume-Leissin hypsometrillä.

Maanpinnan kaltevuus suurimman kaltevuuden suunnassa on mitattu kaltevuusmittarilla yhden prosentin tarkkuudella. Suurimman kaltevuuden suunta on määritetty kompassilla.

Roudanmittauspisteissä on otettu maanäyte, joka on tutkittu laboratorioissa. Maalaji on määritetty seulonta- ja areometrikokeiden perusteella käyttäen rakennusteknillistä maalajiluokitusta.

### 2.4 Havaintopisteiden ryhmittely ja maastotutkimuksen tulokset

Maastotyyppi- ja puustotutkimuksen tulokset lumen syvyyden mittauspisteissä ja lumen tiheyden sekä roudan syvyyden mittauspisteissä on esitetty taulukossa 1. Taulukosta ilmenee myös lumihavaintovuosien luku. Lähekkäin sijaitsevat linjat 43 ja 44, 51 ja 53 sekä 81 ja 82 on pareittain yhdistetty tulosten käsittelyn helpottamiseksi. Lumen mittauspisteet on ryhmitetty kahdeksaan luokkaan, joista luokka 1 käsittää pellot ja 2 avosuot (nevat ja letot). Puuston kuutiomäärän ja vallitsevan puulajin perusteella on metsäpisteet ryhmitetty siten, että luokkaan 3 kuuluvat ne pisteet, joissa puuston kuutiomäärä on nolla. Nämä pisteet ovat joko selviä, laajahkoja hakkuu- ym. aukkoja tai ne sattuvat harvassa metsässä siten, että relaskoopilla mitaten yksikään puu ei ole niin lähellä että se näkyisi relaskoopin hahloa leveämpänä. Näin ollen pisteessä on puuston kuutiomäärä nolla, jos rinnankorkeudelta 10 cm paksuisia tai paksumpia puita ei ole viittä metriä lähempänä, 20 cm paksuisia tai paksumpia puita kymmentä metriä lähempänä havaintopistettä jne. Taulukossa 1 on luokkaan 4 luettu ne pisteet, joissa puuston määrä on  $1 \cdot \cdot \cdot 29 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Luokkaan 5 on luettu ne pisteet joissa puuston määrästä on havupuita 50 % tai enemmän (havupuuvaltainen) ja puuston määrä on  $30 \cdot \cdot \cdot 59 \text{ m}^3/\text{ha}$  sekä kaikki ne pisteet, joissa puuston määrästä on havupuita alle 50 % (lehtipuuvaltainen) ja puuston määrä on  $30 \cdot \cdot \cdot 99 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Luokkaan 6 on luettu havupuuvaltaiset pisteet, joissa puuston määrä on  $60 \cdot \cdot \cdot 99 \text{ m}^3/\text{ha}$ , sekä kaikki lehtipuuvaltaiset pisteet, joissa puuston määrä on  $100 \cdot \cdot \cdot 149 \text{ m}^3/\text{ha}$ , ja luokka 8 ne havupuuvaltaiset pisteet, joissa puuston määrä on  $150 \text{ m}^3/\text{ha}$  tai suurempi. Luokituksessa on siis lehtipuuv-



Taulukko 1. Lumen syvyyden havaintopisteiden sekä tiheyden ja roudan havaintopisteiden (kursiivi) jakautuminen.

Table 1. Distribution of the snow depth observation points and of the snow density and soil frost observation points (italicized).

Havainto- linja Survey line	Kunta Community	Havainto- vuosien luku Number of years of observation	Maastoluokka Terrain class								Σ
			1	2	Puuston kuutiomäärä			Growing stock (m <sup>3</sup> /ha)			
					3	4	5	6	7	8	
			Pelto Culti- vated land	Avo- suo Open bog	0	1- 29	30- 59	60- 99	100- 149	150<	
15	Vihti	6	24	—	2	4	4	8	16	22	80
			5	—	7	—	2	2	2	4	16
21	Kokemäki	5	35	—	1	—	2	6	4	2	50
			7	—	—	—	2	—	1	10	10
31	Orivesi	6	20	—	3	7	1	11	4	4	50
			4	—	—	3	—	7	7	7	10
33	Ikaalinen	4	—	16	1	8	9	9	5	2	50
			—	3	—	7	2	2	—	2	10
41	Valkeala	6	18	—	3	5	2	4	6	12	50
			3	—	7	2	—	7	7	2	10
42	Virolahti	6	25	—	—	11	6	6	2	—	50
			5	—	—	3	—	2	—	—	10
43 + 44	Ruokolahti	5	10	—	13	14	10	18	20	15	100
			2	—	4	7	3	2	4	4	20
51 + 53	Kuusjärvi	6	17	—	—	5	12	20	31	15	100
			3	—	—	2	7	5	5	4	20
61	Kiuruvesi	4	—	—	—	21	20	9	—	—	50
			—	—	—	5	3	2	—	—	10
71	Laukaa	6	12	—	3	4	2	5	9	15	50
			3	—	—	—	—	2	7	4	10
72	Korpilahti	6	6	—	5	14	11	6	5	3	50
			2	—	7	7	3	2	—	7	10
81 + 82	Ylistaro	6	54	—	4	13	12	11	5	1	100
			10	—	7	2	2	3	7	7	20
83	Alavus	4	13	—	—	—	6	9	15	7	50
			3	—	—	—	—	7	5	7	10
84	Ylimarkku	3	19	—	—	5	6	11	6	3	50
			3	—	—	7	2	7	2	7	10
85	Sulva	2	15	—	—	—	7	9	6	13	50
			2	—	—	—	4	2	—	2	10
91	Kalajoki	6	17	—	4	19	8	2	—	—	50
			3	—	7	5	7	—	—	—	10
92	Haapajärvi	6	4	3	6	15	15	6	1	—	50
			7	—	—	5	4	—	—	—	10
93	Halsua	5	—	7	—	30	6	4	3	—	50
			—	2	—	5	—	2	7	—	10
94	Kälviä	4	10	8	2	4	4	9	6	7	50
			7	7	—	7	7	3	2	7	10
101	Pattijoki	6	11	—	—	15	17	7	—	—	50
			3	—	—	3	2	2	—	—	10

Havainto- linja Survey line	Kunta Community	Havainto- vuosien luku Number of years of observation	Maastoluokka Terrain class								Σ
			1	2	Puuston kuutiomäärä			Growing stock (m <sup>3</sup> /ha)			
					3	4	5	6	7	8	
			Pelto Culti- vated land	Avo- suo Open bog	0	1- 29	30- 59	60- 99	100- 149	150<	
102	Kuusamo	6	10	7	—	12	13	8	—	—	50
			2	7	—	3	3	7	—	—	10
103	Hyrnsalmi	4	2	3	16	12	6	8	3	—	50
			—	7	2	3	2	7	7	—	10
111	Salla	5	—	—	6	16	17	9	2	—	50
			—	—	7	4	4	7	—	—	10
112	Sodankylä	5	—	24	—	6	17	3	—	—	50
			—	5	—	—	4	7	—	—	10
113	Rovaniemen mlk.	5	—	—	3	18	14	9	4	2	50
			—	—	7	4	3	7	7	—	10
114	Kemijärvi	5	—	7	5	14	17	7	—	—	50
			—	7	7	4	3	7	—	—	10
115	Kolari	3	1	—	7	24	13	5	—	—	50
			—	—	2	5	7	2	—	—	10
116	Savukoski	3	—	6	—	17	11	15	1	—	50
			—	7	—	5	2	2	—	—	10
	Σ		323	81	84	313	268	234	154	123	1580
			62	15	16	68	52	47	27	29	316
	%		20	5	5	20	17	15	10	8	100
			20	5	5	22	16	15	8	9	100

taiset metsiköt sisällytetty vähäpuisempiin havupuuluokkiin, koska interseptio on talvella huomattavasti pienempi lehtipuuvaltaisissa metsiköissä kuin havupuuvaltaisissa metsiköissä. Koska lehtipuuvaltaisien metsiköiden osuus kaikista metsiköistä Suomessa on vain 15 %, ei lehtipuumetsiköiden edellä esitetyllä sijoittamisella ole kuitenkaan merkittävää vaikutusta lumisuhteiden tutkimisessa. Käytännössä voitaneen yleensä suuria alueita käsiteltäessä rinnastaa lehti- ja havupuumetsiköt, jolloin luokitus tapahtuu yksinomaan puuston määrän perusteella. Käytettäessä puuston määrää maaston lumisuhteiden luokittelu- perusteena oletetaan, että metsien kehitysluokkajakautuma on suunnilleen keskimääräisiä oloja edustava. Tällöin puuston määrä kuvastaa latvuston peittävyttä ja yleensä lumisuhteisiin vaikuttavia puuston ominaisuuksia. Suurilla alueilla kehitysluokkajakautuma on yleensä melko keskimääräinen. Toisaalta puuston määrässä tulee vaikuttamaan tiheyden lisäksi myös puuston pituus, joten puuston määrä ilmaisee interseptioon vaikuttavan tekijän, oksistomassan määrän paremmin kuin esim. tiheys.

Taulukko 2. Havaintopisteiden ja hydrologisten havaintoalueiden alan luokkajakautumien (%) vertailu.

Table 2. Comparison of the class distributions (in per cent) of the observation points and of the area of research basins.

	Pelto Culti- vated land	Avo- suo Open bog	Metsä Wooded land					8	
			3	4	5	6	7		
Havaintopisteet Observation points	Lumen syvyys Snow depth	20	5	5	20	17	15	10	8
	Lumen tiheys, roudan syvyys Snow density, frost depth	20	5	5	22	16	15	8	9
Hydrologiset havaintoalueet Research basins		16 <sup>1</sup>	7	6	19	18	15	11	8

Verrattaessa 1580 havaintopisteiden jakautumista valumahavaintoalueiden alan jakautumiseen (taulukko 2) todetaan, että havaintopisteitä on hieman enemmän pellolla kuin pellon osuus valuma-alueiden alasta edellyttäisi.

Havaintolinjoja järjestettäessä pyrittiin saamaan peltopisteitä sisältäville linjoille aina enemmän kuin yksi peltopiste. Muuten peltopisteet olisivat tulleet useimmiten pellon reunaan, mikä paikka on tavallisesti runsaslumisempi kuin pelto keskimäärin. Tästä syystä peltopisteitä on suhteellisen runsaasti.

Vuosina 1951 ··· 1953 toimeenpannun valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin tuloksien (ILVESSALO 1957) mukaan metsämaata on 71.6 %, joutomaata 14.6 % ja muuta maata 13.8 %. Joutomaihin kuuluu osa (n. 1 % koko maa-alasta) korpia ja rämeitä, joten inventoinnin mukaan 73 % Suomen maa-alasta on tässä tutkimuksessa tarkoitettua metsää (taulukko 3). Metsän osuus lumen syvyyden mittauspisteistä on hieman suurempi, 75 %. Inventoinnin mukaan joutomaata ja muuta maata on yhteensä 27 %. Tässä tutkimuksessa havaintopisteistä on pellolla ja nevalle yhteensä 25 %. Lumihavaintopisteistä on nevalle 5 % ja pellolla 20 %. Vastaavat luvut inventoinnin mukaan ovat 9 % ja 9 %. Inventoinnin mukaan n. 9 % maa-alasta kuuluu avokallioihin ja -louhikoihin sekä avo- ja pensaikkotuntureihin, joiden sijoittaminen tämän tutkimuksen luokkajakoon on vaikeata.

Koko metsämaan puuston määrä on inventoinnin mukaan keskimäärin

<sup>1</sup> Taulukossa 2 on hydrologisilla havaintoalueilla laskettu peltoryhmään tiet ja lammet.  
In Table 2, roads and ponds in the research basins have been included in the cultivated land group.

Taulukko 3. Suomen maa-alan jakautuminen (%).  
Table 3. Distribution of land area (in per cent) in Finland.

	Pelto Cultivated land	Avosuo Open bog	Metsämaa Wooded land	Muu maa Other land
Valtakunnan metsien inventointi . . . . National forest inventory . . . . .	9 <sup>1</sup>	9	73	9
Tämän tutkimuksen havaintopisteet Observation points of this investigation	20	5	75	—

68.2 m<sup>3</sup>/ha. Jos metsämaahan luetaan kaikki kangasmetsät, korvet ja rämeet, on vastaava luku noin 67 m<sup>3</sup>/ha. Metsässä olevissa lumihavaintopisteissä on puuston määrä 68 m<sup>3</sup>/ha ja valumahavaintoalueella 69 m<sup>3</sup>/ha. Voidaan siis todeta, että tämän tutkimuksen havaintopisteiden jakautuminen eri maastotyyppisiin ja puuston määrän perusteella muodostettuihin luokkiin vastaa melko hyvin valumahavaintoalueiden alan jakautumista ja keskilukujen perusteella päätellen myös koko maan maa-alan jakautumista.

Havaintopisteiden maaston kaltevuussuhteita esittää taulukko 4. Luokkaan tasainen on luettu ne pisteet, joissa 20 metrin matkalla suurimman kaltevuuden suunnassa mitattu kaltevuus on 2 % tai pienempi. Lähes puolet mittauspisteistä on tasaisella maalla. Eri suuntaan kaltevien rinteiden osuudet ovat lähes yhtä suuret. Taulukossa 5 on esitetty vastaavat tiedot valumahavaintoalueiden kaltevuussuhteista.

<sup>1</sup> V. 1959 maatalouslaskennan ja raivaustilastojen mukaan.  
According to the agricultural census 1959 and the land clearing statistics.

Taulukko 4. Lumen syvyyden havaintopisteiden jakautuminen (%) maaston kaltevuuden perusteella sekä prosentteina määritetyn kaltevuuden keskiarvot (kursiivi).

Table 4. Distribution of the snow depth observation points (in per cent) according to slope of the land and mean values of the slope (in per cent, italicized).

Havainto- linja Survey line	Kunta Community	Tasainen Level (0...2 %)	N	E	S	W				
15	Vihti	26	30	<i>16.7</i>	13	<i>11.3</i>	16	<i>15.1</i>	15	<i>14.3</i>
21	Kokemäki	90	6	<i>5.7</i>	2	<i>4.0</i>	0	.	2	<i>4.0</i>
31	Orivesi	0	34	<i>10.5</i>	40	<i>9.6</i>	8	<i>13.0</i>	18	<i>7.1</i>
33	Ikaalinen	62	4	<i>12.5</i>	6	<i>7.0</i>	6	<i>10.7</i>	22	<i>9.1</i>
41	Valkeala	12	20	<i>3.7</i>	28	<i>5.6</i>	14	<i>5.6</i>	26	<i>6.7</i>
42	Virolahti	38	28	<i>11.0</i>	8	<i>5.0</i>	20	<i>4.5</i>	6	<i>8.3</i>
43 + 44	Ruokolahti	33	19	<i>5.8</i>	11	<i>6.5</i>	19	<i>9.4</i>	18	<i>4.9</i>
51 + 53	Kuusjärvi	59	12	<i>6.5</i>	13	<i>4.7</i>	12	<i>5.2</i>	4	<i>6.3</i>
61	Kiuruvesi	56	32	<i>3.6</i>	2	<i>6.0</i>	2	<i>3.0</i>	8	<i>4.0</i>
71	Laukaa	26	10	<i>3.8</i>	52	<i>8.3</i>	8	<i>7.0</i>	4	<i>17.5</i>
72	Korpilahti	14	24	<i>9.8</i>	18	<i>6.7</i>	8	<i>7.3</i>	36	<i>10.7</i>
81 + 82	Ylistaro	86	3	<i>3.5</i>	2	<i>3.5</i>	3	<i>5.8</i>	6	<i>11.9</i>
83	Alavus	20	0	.	8	<i>4.8</i>	46	<i>4.3</i>	26	<i>4.3</i>
84	Ylimarkku	72	0	.	16	<i>4.1</i>	6	<i>3.3</i>	6	<i>3.3</i>
85	Sulva	42	8	<i>3.5</i>	38	<i>3.7</i>	12	<i>4.7</i>	0	.
91	Kalajoki	68	8	<i>3.0</i>	0	.	8	<i>3.0</i>	16	<i>3.1</i>
92	Haapajärvi	76	12	<i>3.8</i>	4	<i>4.0</i>	2	<i>3.0</i>	6	<i>3.0</i>
93	Halsua	54	14	<i>7.3</i>	10	<i>4.6</i>	6	<i>9.0</i>	16	<i>4.3</i>
94	Kälviä	38	26	<i>6.2</i>	22	<i>3.8</i>	6	<i>6.7</i>	8	<i>5.5</i>
101	Pattijoki	60	10	<i>7.2</i>	2	<i>8.0</i>	10	<i>5.2</i>	18	<i>5.8</i>
102	Kuusamo	48	20	<i>5.1</i>	14	<i>3.9</i>	16	<i>3.8</i>	2	<i>5.0</i>
103	Hyrnsalmi	12	64	<i>6.7</i>	14	<i>7.6</i>	4	<i>6.0</i>	6	<i>5.3</i>
111	Salla	44	6	<i>4.0</i>	14	<i>6.7</i>	14	<i>6.0</i>	22	<i>7.3</i>
112	Sodankylä	80	4	<i>3.0</i>	16	<i>3.6</i>	0	.	0	.
113	Rovaniemen mlk.	20	14	<i>12.6</i>	36	<i>11.1</i>	30	<i>7.9</i>	0	.
114	Kemijärvi	32	26	<i>12.0</i>	10	<i>4.2</i>	20	<i>5.3</i>	12	<i>7.8</i>
115	Kolari	12	2	<i>3.0</i>	46	<i>14.6</i>	34	<i>8.9</i>	6	<i>11.0</i>
116	Savukoski	30	20	<i>5.5</i>	10	<i>8.4</i>	22	<i>4.8</i>	18	<i>4.7</i>
Keskiarvo — Mean		44.8	15.8	<i>6.6</i>	<i>15.5</i>	<i>6.3</i>	<i>12.4</i>	<i>6.4</i>	<i>11.5</i>	<i>7.1</i>

Taulukko 5. Hydrologisten havaintoalueiden alan jakautuminen (%) kaltevuuden perusteella sekä prosentteina määritetyn kaltevuuden keskiarvot (kursiivi).

Table 5. Distribution of the area of research basins (in per cent) according to slope of the soil, and mean values of the slope (in per cent, italicized).

Hydrologinen havainto- alue Research basin	Tasainen Level (0...2 %)	N	E	S	W					
14 Teeressuonoja	18	23	<i>17.1</i>	14	<i>14.1</i>	40	<i>15.9</i>	5	<i>15.0</i>	
15 Kylmänoja	28	19	<i>11.1</i>	24	<i>10.9</i>	12	<i>10.5</i>	17	<i>11.6</i>	
21 Löytäneenoja	86	3	<i>3.0</i>	5	<i>3.9</i>	1	<i>4.0</i>	5	<i>4.4</i>	
31 Paunulanpuro	29	18	<i>7.0</i>	24	<i>5.6</i>	17	<i>7.7</i>	12	<i>7.0</i>	
32 Siukolanpuro	25	23	<i>10.4</i>	23	<i>8.0</i>	16	<i>10.3</i>	13	<i>9.9</i>	
33 Katajaluoma	67	2	<i>8.3</i>	7	<i>6.3</i>	9	<i>5.8</i>	15	<i>6.3</i>	
41 Niittyjoki	25	17	<i>6.1</i>	18	<i>6.1</i>	23	<i>6.8</i>	17	<i>4.6</i>	
42 Ravijoki	32	16	<i>8.5</i>	17	<i>8.0</i>	20	<i>7.2</i>	15	<i>12.1</i>	
43 Latosuonoja	26	16	<i>10.0</i>	17	<i>11.7</i>	22	<i>9.7</i>	19	<i>11.2</i>	
44 Huhtisuonoja	53	4	<i>10.8</i>	17	<i>8.5</i>	10	<i>7.8</i>	16	<i>10.7</i>	
51 Kesselinpuro	40	21	<i>6.3</i>	10	<i>5.2</i>	12	<i>6.4</i>	17	<i>9.7</i>	
52 Kuokkalanoja	37	13	<i>8.2</i>	16	<i>8.3</i>	23	<i>9.0</i>	11	<i>7.8</i>	
53 Mustapuro	61	5	<i>4.7</i>	17	<i>6.8</i>	6	<i>5.5</i>	11	<i>6.3</i>	
61 Korpijoki	58	10	<i>5.2</i>	14	<i>5.9</i>	8	<i>5.3</i>	10	<i>6.0</i>	
71 Ruunapuro	22	10	<i>7.9</i>	34	<i>8.0</i>	16	<i>6.2</i>	18	<i>8.3</i>	
72 Heinäjoki	23	12	<i>12.1</i>	34	<i>8.3</i>	18	<i>9.0</i>	13	<i>10.8</i>	
81 Haapajyrä	67	9	<i>7.2</i>	7	<i>6.6</i>	7	<i>3.1</i>	10	<i>8.2</i>	
82 Kainastonluoma	55	15	<i>7.7</i>	7	<i>5.2</i>	8	<i>6.2</i>	15	<i>6.8</i>	
83 Kaidesuoma	54	5	<i>5.6</i>	15	<i>5.7</i>	12	<i>4.8</i>	14	<i>5.7</i>	
84 Norrskogsdiket	90	1	<i>3.0</i>	2	<i>3.0</i>	3	<i>3.4</i>	4	<i>5.5</i>	
85 Sulvanjoki	51	14	<i>7.1</i>	12	<i>5.9</i>	9	<i>5.4</i>	14	<i>4.1</i>	
91 Tuuraoja	70	5	<i>3.5</i>	3	<i>3.8</i>	7	<i>4.1</i>	15	<i>3.6</i>	
92 Tujuoja	67	2	<i>4.0</i>	2	<i>3.0</i>	14	<i>3.9</i>	15	<i>4.0</i>	
93 Pahkaoja	67	10	<i>4.3</i>	4	<i>3.3</i>	7	<i>4.9</i>	12	<i>3.8</i>	
94 Kuikkisenoja	52	15	<i>7.3</i>	9	<i>8.1</i>	10	<i>5.8</i>	14	<i>5.8</i>	
101 Huopakinoja	68	5	<i>4.4</i>	2	<i>6.0</i>	6	<i>4.5</i>	19	<i>5.2</i>	
102 Vääräjoki	46	20	<i>7.2</i>	10	<i>7.6</i>	19	<i>8.3</i>	5	<i>8.1</i>	
103 Myllypuro	16	34	<i>9.0</i>	16	<i>7.2</i>	25	<i>8.6</i>	9	<i>8.4</i>	
111 Kuusivaaranpuro	28	22	<i>6.9</i>	9	<i>5.2</i>	26	<i>6.9</i>	15	<i>6.0</i>	
112 Lismanoja	49	6	<i>17.6</i>	5	<i>7.4</i>	24	<i>14.8</i>	16	<i>12.8</i>	
113 Korintteenoja	12	25	<i>13.6</i>	42	<i>10.3</i>	14	<i>11.2</i>	7	<i>12.3</i>	
114 Vähä-Askanjoki	7	21	<i>11.1</i>	41	<i>10.8</i>	17	<i>12.0</i>	14	<i>13.1</i>	
115 Hourukoskenoja	6	18	<i>10.6</i>	27	<i>15.0</i>	41	<i>14.4</i>	8	<i>7.7</i>	
116 Myllyoja	28	26	<i>9.0</i>	15	<i>10.4</i>	24	<i>10.5</i>	7	<i>7.5</i>	
Keskiarvo — Mean		43.0	13.7	<i>8.2</i>	<i>15.3</i>	<i>7.2</i>	<i>15.5</i>	<i>7.8</i>	<i>12.5</i>	<i>8.0</i>

### 3. Lumihavaintojen tulokset

#### 3.1 Tutkimuksen tarkoitus ja matemaattinen käsittelytapa

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kehittää menetelmä valuma-alueen aluevesiarvon määrittämiseksi lumihavaintolinjalla suoritettujen 50 syvyyshavaintojen ja 10 tiheysmäärittämisavain avulla. Vaikka lumilinjat sijoitettaisiin edustavasti, näin harvoissa pisteissä suoritetuista havainnoista ei kuitenkaan saada alueen vesi-arvoa suoraan keskiarvona, vaan tarvitaan tiettyjä korjaustekijöitä. Nämä korjaustekijät on määritetty kuutena talvena (v. 1958 . . . 1963) 31 lumihavaintolinjalla suoritettujen havaintojen avulla.

Koska eri maastoluokkien keskinäiset lumisuhteet muuttuvat talven kuluessa, on menetelmä kehitettävä tietyssä ajankohtana suoritettavaa vesi-arvon määrittämistä varten. KORHOSEN (1927) ja KAITERAN (1939) tutkimusten mukaan sattu lumen vesi-arvon maksimi keskimäärin maaliskuun loppuun tai huhtikuun alkuun. Pohjois-Suomessa maksimi sattu keskimäärin paria viikkoa myöhemmin kuin Etelä-Suomessa. Tutkimusajankohdaksi on tässä tutkimuksessa valittu maaliskuun 15. päivä, jotta voitaisiin käsitellä koko maa samassa analyysissä. Lounais-Suomessa saattaa nimittäin joinakin keväänä maaliskuun 31. päivänä kevätsulamien olla huomattavan pitkällä. Kuitenkin on huomattava, että lumen vesi-arvo on keskimäärin 10 % suurempi maaliskuun lopussa kuin keskivälissä.

Varsinaiset korjaustekijät on määritettävä siten, että lumilinjan pisteet ja valuma-alueen ala voidaan helposti ryhmittää samalla tavalla. Tässä tutkimuksessa valittiin taulukossa 1 esitetty jaottelu kahdeksaan luokkaan. Luokka 1 (pelto) on helposti määritettävissä. Tosin on eroa suuren peltoaukean ja metsän keskellä olevan pienen pellon lumisuhteiden välillä. Luokkaa 2 (avosuo) on vaikea yhdistää mihinkään toiseen ryhmään. Tämän tutkimuksen tulokset puoltavat myös aukean suon säilyttämistä omana ryhmänään. Metsästä on erotettu omaksi ryhmäkseen luokka 3, missä puuston määrä relaskoopilla määritettynä on nolla. Tämä luokka on epähomogeeninen, koska siihen kuuluvat mm. hakkuuaukot ja myös harvaa metsää kasvavat pisteet. Luokat 4 . . . 8 sisältävät muun metsän.

Koska havainnot suoritetaan siten, että lumen syvyys mitataan 50 pisteestä ja tiheys 10 pisteestä, on paikallaan käsitellä lumen syvyys ja lumen tiheys erillisinä. Valuma-alueen keskimääräinen lumen syvyys kerrotaan keskimääräisellä lumen tiheydellä ja näin saadaan aluevesiarvo.

Maastoluokkien lumisuureiden erilaisuus voidaan esittää joko suhdelukujen tai erotusten avulla. Tässä tutkimuksessa on päädytty erotusten käyttöön lähinnä valitun matemaattisen käsittelytavan takia.

Ryhdyttäessä selvittämään maastoluokan vaikutusta lumen syvyyteen ja tiheyteen eri osissa maata ja eri vuosina suoritettujen havaintojen perusteella, on pystyttävä erottamaan samanaikaisesti maantieteellisen sijainnin ja vuosien erilaisuuden aiheuttamat vaikutukset varsinaisista maastoluokan vaikutuksista. Tämä eri tekijöiden vaikutusten erottaminen on helppoa, jos aineisto on homogeeninen, siis kaikilla linjoilla on kaikkia maastoluokkia yhtä paljon ja kaikilla linjoilla on suoritettu havainnot samoina vuosina. Tällöin voidaan käyttää normaalia kolmisuuntaista varianssianalyysia. Aineiston saaminen homogeeniseksi on kuitenkin yleensä vaikeata ja tässä tutkimuksessa suorastaan mahdotonta. Aluevaikutus, vuosivaikutus ja maastoluokkavaikutus on seuraavassa laskettu prof. O. LOKIN kehittämällä iterointimenetelmällä epätasaisesti täytetyn ruudukon varianssianalyysin suorittamiseksi (LOKKI 1960). Analyysissä on käytetty kaavan (1) esittämää mallia.

$$(1) y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

$y_{ijk}$  = lumen syvyys (tai tiheys)  
 $\mu$  = lumen syvyyden (tai tiheyden) keskiarvo, estimaatti  $m$   
 $\alpha_i$  = aluevaikutus ( $i = 1, 2, \dots, 28$ , ks. taul. 6), estimaatti  $a$   
 $\beta_j$  = vuosivaikutus ( $j = 1, 2, \dots, 6$ , ks. taul. 7), estimaatti  $b$   
 $\gamma_k$  = maastoluokkavaikutus ( $k = 1, 2, \dots, 8$ , ks. taul. 8), estimaatti  $c$   
 $\varepsilon_{ijk}$  = satunnaisvaikutus, jonka oletetaan olevan normaalista jakautunut nollakeskiarvoisen satunnaissuure.

Mallissa (1) oletetaan, että kaikki kolme vaikutusta ovat additiivisia, jolloin siis tulos (lumen syvyys tai tiheys) muodostuu viiden termin summaksi. Jos tämä oletamus ei pitäisi paikkaansa, vaan vaikutuksilla olisi lisäksi yhdysvaikutuksia, olisi malliin lisättävä termejä. Tällöin menetelmä ei olisi enää käyttökelpoinen. Oletetaan kuitenkin tämä additiivisuusehto täytetyksi ja yhdysvaikutusten mahdollinen olemassaolo tutkitaan myöhemmin.

Arvosteltaessa malliin (1) otettujen vaikutustermien valintaa on todettava, että malli ei täydellisesti pysty ilmaisemaan yksityisen pisteen lumisuureiden vaihtelua. Maaston kaltevuus mm. on erittäin tärkeä lisätekijä. Jos kuitenkin tarkoituksena on saada käytännöllinen menetelmä aluevesiarvon määrittämiseksi, voidaan kaltevuustekijän vaikutus jättää huomioon ottamatta olettamalla lumilinjan ja alueen kaltevuussuhteet samanlaisiksi. Maaliskuun 15. päivänä ei lumen sulaminen vielä sanottavasti ole pystynyt muuttamaan eri suuntiin kaltevien rinteiden lumisuhteita. Varianssianalyysin suorittaminen käytetyllä iterointimenetelmällä on verraten työläs jo kolmisuuntaisena, joten neljännen vaikutustermien mukaan ottaminen johtaisi varsin pitkiin laskutoimituksiin. Malliin on ollut pakko ottaa aluevaikutus ja vuosivaikutus, koska niillä on ylivoimaisesti suurin merkitys. Näin ollen suoritettaessa analyysi kolmisuuntaisena on malli (1) ilmeisesti käytännöllisin.

Epätasaisesti täytetyn ruudukon varianssianalyysia on sovellettu aineistoon, jonka määrä ja jakautuminen ilmenevät taulukosta 1. Lumen syvyyden havaintopisteitä on yhteensä 1580 ja tiheyden havaintopisteitä 316. Havainnot on eri linjoilla 2...6 vuodelta. 10 linjalta on havainnot kaikilta kuudelta havaintovuodelta. Keskimäärin on havaintojakson pituus 5 vuotta. Havaintoaineisto käsittää 7730 syvyyshavaintoa ja 1542 tiheyshavaintoa. Aineisto jakautuu siten, että peltopisteitä ja runsaspuustoisia metsäpisteitä on Etelä-Suomen linjoilla enemmän kuin Pohjois-Suomen linjoilla. Avosuopisteitä on Pohjois-Suomessa runsaasti. Metsämaan luokkia 4...6 ( $1 \dots 99 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) on lähes kaikilla linjoilla melko tasaisesti. Nämä kolme luokkaa edustavat puolta koko Suomen maa-alasta. Varianssianalyysin ruudukko on näin ollen suhteellisen homogeenisesti täytetty. LOKIN (1959) mukaan on tässä käytetyllä tasoitusmenettelyllä saatu eri tekijöiden vaikutukset erotetuksi luotettavalla tavalla vielä silloinkin, kun kuuden argumentin tapauksessa vain 1/5 ruuduista on saanut havainnot, mikäli havainnot eivät ole keskittyneet aivan muutamiin ruutuihin. Tässä tutkimuksessa 2/3 kaikista kolmisuuntaisen ruudukon ruuduista on saanut havainnot. Havainnot ovat jakautuneet melko tasaisesti näihin ruutuihin.

### 3.2 Varianssianalyysin tulokset ja tulosten tarkastelu

Kaikkien havaintojen keskiarvon estimaatiksi  $m$  on kaavan (1) mukaisesti saatu lumen syvyydessä 51.9 cm ja tiheydessä 0.235 g/cm<sup>3</sup>. Näiden lukujen tulona saadaan vesiarvoksi 122 mm. Taulukoista 6, 7 ja 8 ilmenevät aluevaikutus, vuosivaikutus ja maastoluokkavaikutus lumen syvyyteen, tiheyteen ja näiden perusteella laskettuun vesiarvoon. Kaavan (1) avulla voidaan laskea lumen syvyys ja tiheys laskemalla yhteen keskiarvo ja taulukoissa 6, 7 ja 8 esitetyt eri tekijöiden aiheuttamat poikkeamat keskiarvosta. Taulukosta ilmenee, että esimerkiksi Vihdissä saadaan v. 1962 lumen keskimääräiseksi syvyydeksi pellolla  $51.9 - 2.9 + 10.2 - 6.7 = 52.9 = 53 \text{ cm}$ . Normaalissa varianssianalyysissa saatujen vaikutusten matemaattista merkitsevyyttä voidaan arvioida  $F$ -testin avulla. Epätasaisesti täytetyn ruudukon varianssianalyysissa voidaan tasoitus-ten vuoksi  $F$ -testiä käyttää vain arvioinnin tukena, kun halutaan välttää kovin työläitä laskuja. Merkitsevyyden mittana käytetään varianssisuhdetta (LOKKI 1960, s. 5) jonka suuruudesta voidaan tehdä johtopäätöksiä vaikutuksen merkitsevyydestä. Lasketut varianssisuhteen arvot on esitetty taulukossa 9.

Perushajonta on lumen syvyydessä 8.8 cm ja lumen tiheydessä 0.023 g/cm<sup>3</sup>. Perushajonnat on määritetty vaihteluvälin perusteella pitämällä samaan havaintoruuutuun kuuluvia havainnot normaalisti jakautuneina. Tarkistuksen vuoksi perushajonnat on laskettu myös 150 havainnon suuruudesta otoksesta normaalilla tavalla. Saatu tulos on poikennut alle 5 % vaihteluvälin perusteella määritetystä perushajonnasta.

Lumen syvyydessä on vuosivaikutus merkitsevin, mutta aluevaikutus ja maastoluokkavaikutus ovat nekin oleellisesti merkitsevempiä kuin yhdysvaikutuk-

Taulukko 6. Aluevaikutus lumen syvyydessä ( $a_h$ ), tiheydessä ( $a_d$ ) ja vesiarvossa ( $a_w$ ).  
Koko aineiston keskiarvot:  $m_h = 51.9 \text{ cm}$ ,  $m_d = 0.235 \text{ g/cm}^3$ ,  $m_w = 122 \text{ mm}$ .

Table 6. The regional effect in snow depth ( $a_h$ ), snow density ( $a_d$ ) and water equivalent of snow ( $a_w$ ). The averages:  $m_h = 51.9 \text{ cm}$ ,  $m_d = 0.235 \text{ g/cm}^3$ ,  $m_w = 122 \text{ mm}$ .

Havainto- linja Survey line	Kunta Community	$a_h$		$a_d$		$a_w$	
		cm	%	g/cm <sup>3</sup>	%	mm	%
15	Vihti	- 2.9	- 6	0.006	3	- 4	- 4
21	Kokemäki	- 23.8	- 46	0.023	10	- 50	- 41
31	Orivesi	0.9	2	0.005	2	5	4
33	Ikaalinen	- 13.8	- 27	- 0.008	- 3	- 36	- 30
41	Valkeala	1.0	2	0.007	3	6	5
42	Virolahti	0.8	2	0.022	9	13	11
43 + 44	Ruokolahti	11.5	22	0.005	2	30	25
51 + 53	Kuusjärvi	8.9	17	0.000	0	21	17
61	Kiuruvesi	1.6	3	0.006	3	7	6
71	Laukaa	- 0.7	- 1	- 0.011	- 5	- 7	- 6
72	Korpilahti	5.5	11	0.013	6	20	16
81 + 82	Ylistaro	- 25.3	- 49	0.006	3	- 58	- 48
83	Alavus	- 13.7	- 26	- 0.002	- 9	- 33	- 27
84	Ylimarkku	- 8.8	- 17	0.012	5	- 16	- 13
85	Sulva	- 2.1	- 4	- 0.005	- 2	- 7	- 6
91	Kalajoki	- 15.0	- 29	- 0.003	- 1	- 36	- 30
92	Haapajärvi	- 4.5	- 9	0.018	8	- 2	- 2
93	Halsua	- 6.4	- 12	- 0.015	6	- 8	- 7
94	Kälviä	- 18.5	- 36	- 0.018	- 8	- 50	- 41
101	Pattijoki	- 13.1	- 25	- 0.022	- 9	- 39	- 32
102	Kuusamo	21.5	41	- 0.022	- 9	34	28
103	Hyrnsalmi	20.0	39	0.008	3	53	43
111	Salla	7.9	15	- 0.010	- 4	13	11
112	Sodankylä	15.4	30	- 0.014	- 6	27	22
113	Rovaniemen mlk.	13.7	26	0.018	8	44	36
114	Kemijärvi	23.3	45	- 0.007	- 3	49	40
115	Kolari	12.0	23	- 0.031	- 13	8	7
116	Savukoski	15.4	30	- 0.018	- 8	24	20

set. Lumen tiheydessä on vuosivaikutus kertaluvultaan huomattavasti merkitsevempi kuin muut vaikutukset. Yhdysvaikutuksista vuosi-alue ja vuosi-maastoluokka ovat voimakkaampia kuin alue- maastoluokka-yhdysvaikutus. Vuosi-vaikutus ilmeisesti vaikuttaa myös näihin yhdysvaikutuksiin. Taulukon 9 perusteella voidaan päävaikutuksia pitää oleellisesti merkitsevimpinä kuin yhdysvaikutuksia, joten kaavan (1) käyttö on mahdollista.

Taulukko 7. Vuosivaikutus lumen syvyydessä ( $b_h$ ), tiheydessä ( $b_d$ ) ja vesiarvossa ( $b_w$ ).

Koko aineiston keskiarvot:  $m_h = 51.9$  cm,  $m_d = 0.235$  g/cm<sup>3</sup>,  $m_w = 122$  mm.

Table 7. The annual effect in snow depth ( $b_h$ ), snow density ( $b_d$ ) and water equivalent of snow ( $b_w$ ).  
The averages:  $m_h = 51.9$  cm,  $m_d = 0.235$  g/cm<sup>3</sup>,  $m_w = 122$  mm.

Vuosi Year	$b_h$		$b_d$		$b_w$	
	cm	%	g/cm <sup>3</sup>	%	mm	%
1958	5.1	10	-0.025	-11	-2	-2
1959	2.7	5	0.040	17	28	23
1960	-0.3	-1	-0.011	-5	-6	-5
1961	-13.9	-27	0.035	15	-19	-16
1962	10.2	20	-0.006	-3	20	16
1963	-1.4	-3	-0.031	-13	-19	-16

Taulukko 8. Maastoluokkavaikutus lumen syvyydessä ( $c_h$ ), tiheydessä ( $c_d$ ) ja vesiarvossa ( $c_w$ ).

Koko aineiston keskiarvot:  $m_h = 51.9$  cm,  $m_d = 0.235$  g/cm<sup>3</sup>,  $m_w = 122$  mm.

Table 8. The terrain class effect in snow depth ( $c_h$ ), snow density ( $c_d$ ) and water equivalent of snow ( $c_w$ ). The averages:  $m_h = 51.9$  cm,  $m_d = 0.235$  g/cm<sup>3</sup>,  $m_w = 122$  mm.

Maastoluokka Terrain class	$c_h$		$c_d$		$c_w$	
	cm	%	g/cm <sup>3</sup>	%	mm	%
1 Pelto — Cultivated land	-6.7	-13	0.010	4	-11	-9
2 Avosuo — Open bog	0.3	1	0.006	3	4	3
3 0	4.0	8	-0.003	-1	8	7
4 1... 29	5.6	11			11	9
5 30... 59	4.8	9	-0.005	-2	8	7
6 60... 99	-1.6	3			1	1
7 100... 149	-3.1	-6	-0.002	-1	-8	-7
8 150 <	7.9	-15			-19	-16

Tarkasteltaessa lähemmin taulukkoa 6 todetaan, että lumen syvyys on melko säännönmukaisesti pienin Lounais-Suomessa ja Pohjanmaalla. Suurimmat lumen syvyysarvot ovat Hyrynsalmen-Kuusamon-Kemijärven alueella. Tiheydessä on aluevaikutus positiivinen maan lounais- ja länsiosissa ja vastaavasti negatiivinen pohjoisosissa, mikä lähinnä johtuu runsaista suojaosista Etelä-Suomessa. Vesiarvo seuraa lähinnä lumen syvyyden vaihteluita, jotka ovat huo-

<sup>1</sup> Puustoluokkaa osoittavat numerot tarkoittavat havupuumetsikön puuston kuutiomäärää. lehti-puumetsiköt on sijoitettu osittain alempiin luokkiin (ks. s. 9).

<sup>1</sup> The figures indicating the growing stock class refer to the quantity of timber in coniferous tree stands; hardwood stands have partly been assigned to lower groups (see p. 9).

Taulukko 9. Varianssisuhteen (Lokki 1960, s. 5) suuruus ja vapausasteet eri vaikutuksilla lumen syvyys- ja tiheysanalyyseissa.

Table 9. Magnitude of the variance ratio (Lokki 1960, p. 5) and degrees of freedom for the different influences in the snow depth and snow density analysis.

Vaikutus Effect	Varianssisuhde Variance ratio		Vapausasteet Degrees of freedom	
	lumen syvyys snow depth	lumen tiheys snow density	lumen syvyys snow depth	lumen tiheys snow density
Aluevaikutus — Regional effect	678	19	27	27
Vuosivaikutus — Annual effect	1 244	425	5	5
Maastoluokkavaikutus — Effect of terrain class	509	20	7	5
Yhdysvaikutukset: — Interaction effects:				
alue-vuosi — regional-annual	57	14	106	106
alue-maastoluokka — regional- terrain class	16	2	118	85
vuosi-maastoluokka — annual- terrain class	130	13	35	25

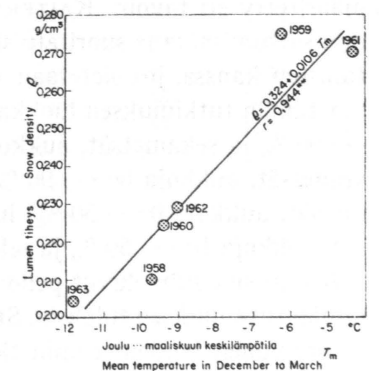
mattavasti suuremmat kuin tiheyden vaihtelut. Aluevaikutus sisältää myös suurimman osan lumen havaitsemisessa mahdollisesti syntyneistä systemaattisista virheistä. Samoin maaston kaltevuuden epätasainen jakautuminen (taulukko 4) saattaa vaikuttaa taulukon 6 arvoihin.

Kuten taulukosta 9 käy ilmi, on vuosivaikutus sekä lumen syvyydessä että tiheydessä huomattavasti merkittävämpi kuin muut vaikutukset. Vuosina 1958...1963 lumisuhteet olivat hyvin erilaiset (taulukko 7). Lumen syvyys oli v. 1962 noin 65 % suurempi kuin v. 1961 ja tiheys v. 1959 35 % suurempi kuin v. 1963. Vesiarvo oli suurin v. 1959 ja pienin vuosina 1961 ja 1963.

Kuvassa 3 on esitetty lumilinjoilla maaliskuun 15. päivänä mitatun keskimääräisen lumen tiheyden ja joulun...maaliskuun keskilämpötilan vuorosuhde v. 1958...1963. Keskilämpötila on laskettu siten, että jokaista lumelinjaa vastaamaan on otettu lähimmän ilmastoaseman lämpötila. Kuva 3 osoittaa selvää riippuvuutta lumen tiheyden

Kuva 3. Maaliskuun 15. päivänä mitatun lumen tiheyden ja joulun...maaliskuun keskilämpötilan vuorosuhde vuosina 1958...1963.

Fig. 3. Correlation of the snow density recorded on March 15th and the mean temperature of December...March in 1958...1963.



ja talven lämpötilan välillä. Regressiosuoran yhtälö on  $\rho = 0.324 + 0.0106 \cdot T_m$ . Korrelaatiokerroin  $r = 0.944$  on matemaattisesti merkitsevä 1 % riskillä.

Maastoluokan vaikutus lumen syvyyteen on selväpiirteinen. Lumen syvyys on suurimmillaan vähäpuustoisissa ja pienimmillään runsaspuustoisissa metsissä. Ero on erittäin merkittävä. Niinpä luokassa 4 on lumen syvyys keskimäärin 30 % suurempi kuin luokassa 8. Pelloilla ja avosoilla on lumen tiheys 5 % suurempi kuin metsässä. Lumen tiheydessä erot eri metsäluokkien välillä ovat pienet. Metsäpisteet onkin yhdistetty pareittain kolmeen ryhmään. Maastoluokkavaikutukset luokissa 3...8 ovat ennen yhdistelyä  $-0.008$ ,  $-0.002$ ,  $-0.005$ ,  $-0.005$ ,  $-0.002$ ,  $-0.003$ . Tässä lukusarjassa ilmenevät epäjohdonmukaisuudet johtuvat pienehkön aineiston jakamisesta moniin luokkiin. Tiheysanalyysissä käytetty aineisto on nimittäin vain 1/5 lumensyvyysaineistosta ja käsittää 316 pisteessä suoritettuja mittauksia. Vesi-arvo luokassa 4 on 30 % suurempi kuin luokassa 8. Tämä tulos viittaa siihen, että talvihaihdunta on yli 150 m<sup>3</sup>/ha puuta sisältävässä metsässä suuremman interseption takia useita kymmeniä millimetrejä suurempi kuin aivan harvassa metsässä. Ilmeisesti talviaikainen haihdunta Suomen oloissa onkin hyvin suuressa määrin puustokysymys. Erot eri puustoluokkien lumisuhteiden välillä saattavat jossain määrin johtua myös lumisateen erilaisesta keräytymisestä eri puustoluokkiin. Tunnetusti lunta laskeutuu eniten pieniin metsäaukkoihin (SEPPÄNEN 1961), mutta interseption haihdunnan vaikutus lienee merkittävästi suurin tekijä maaliskuun 15. päivän lumisuhteiden eroissa.

### 3.3 Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Taulukossa 10 on esitetty eräiden tutkimusten (KORHONEN 1936, KAITERA 1939 ja SEPPÄNEN 1961) tuloksia maastotyyppin vaikutuksesta lumen syvyyteen, tiheyteen ja vesi-arvoon. Vertailun helpottamiseksi on myös tämän tutkimuksen tulokset esitetty yhdistelmänä taulukon 3 osalta ja laskettu suureiden suhteelliset arvot asettamalla pellon arvot = 100.

Vertailujen tekemistä vaikeuttaa se, että aikaisemmat tutkimukset koskevat osittain eri aikana talvella suoritettujen mittausten tuloksia, ja metsäluokat on määritetty eri tavoin. KAITERAN esittämät suhdeluvut lumen vesi-arvon maksimin sattumisaikana suoritetuista mittauksista käyvät yksiin tämän tutkimusten tulosten kanssa, jos oletetaan, että KAITERAN tyyppiryhmä I (peltoaukeat) vastaa tämän tutkimuksen luokkaa 1, ja tyyppiryhmä III (lehtimetsät, aukkoja 60...90 % ja sekametsät, aukkoja 80...90 %) luokkaa 4, tyyppiryhmä IV (havumetsät, aukkoja 60...90 % ja sekametsät, aukkoja 40...70 % sekä lehtimetsät, aukkoja 0...50 %) luokkia 5 ja 6, tyyppiryhmät V...VI (havumetsät, aukkoja 10...50 % ja sekametsät, aukkoja 0...30 %) luokkaa 8.

KORHONEN suhdeluvut pellon ja metsän lumisuhteista vastaavat melko hyvin tämän tutkimuksen tuloksia. SEPPÄNEN mäntymetsien tiheysarjassa on myös samantapainen tendenssi kuin tässä tutkimuksessa, vaikkakin esitetyt havainnot on tehty kuukautta aikaisemmin.

Taulukko 10. Maastotyyppin vaikutus lumisuhteisiin eri tutkimusten mukaan.  
Table 10. The effect of terrain class on the snow conditions according to various studies.

	Lumen syvyys Snow depth		Lumen tiheys Snow density		Lumen vesi-arvo Water equivalent of snow	
	cm	%	g/cm <sup>3</sup>	%	mm	%
<b>Maastoluokka: Terrain class:</b>						
Tämä tutkimus (1958...1963), maaliskuun 15. pnä This investigation (1958...1963), March 15th						
Pelto — Cultivated land	45	100	0.245	100	110	100
Metsä <sup>1</sup> — Forest land <sup>1</sup>	54	120	0.231	94	125	114
3      0	56	124	0.232	95	130	118
4      1...29	58	129			135	123
5      30...59	57	127	0.230	94	131	119
6      60...99	54	120			124	113
7      100...149	49	109	0.233	95	114	104
8      150 <	44	98			102	93
KAITERA (1934...1937), maaliskuun 15. pnä March 15th						
<b>Maastotyyppi: Terrain type:</b>						
I .....			0.238	100		
IV .....			0.219	92		
V .....			0.230	97		
KAITERA (1934...1937), vesi-arvon maksimin aikaan at the time of maximum water equivalent						
I .....	40	100	0.258	100	103	100
III .....	54	135	0.247	96	132	128
IV .....	49	122			122	118
V...VI .....	39	98			96	93
KORHONEN (1919...1934), maaliskuun 15. pnä March 15th						
<b>Vesistöalue: Drainage basin:</b>						
Kemijoki, aukea — open	53.5	100	0.246	100	131.5	100
metsä — forest	71.2	133	0.211	86	150.2	114
Oulujoki, aukea — open	57.3	100	0.236	100	135.3	100
metsä — forest	70.0	122	0.218	93	152.6	113
Kymijoki, aukea — open	40.8	100	0.252	100	102.8	100
metsä — forest	48.1	118	0.233	93	112.1	109
Vuoksi, aukea — open	50.2	100	0.248	100	124.5	100
metsä — forest	58.2	116	0.230	93	133.3	107
Uusimaa, aukea — open	30.9	100	0.268	100	82.8	100
metsä — forest	35.6	115	0.243	91	88.6	107

<sup>1</sup> Lumisuureet on laskettu painollisina keskiarvoina käyttäen painoina puustoluokkien osuutta metsäalasta hydrologisilla havaintoalueilla.

<sup>2</sup> The snow characteristics have been calculated as weighted means, using for weights the contribution of the growing stock classes to the wooded area in research basins.

	Lumen syvyys Snow depth		Lumen tiheys Snow density		Lumen vesiarvo Water equivalent of snow	
	cm	%	g/cm <sup>3</sup>	%	mm	%
SEPPÄNEN (1952 ··· 1960), helmikuun 16. pnä February 16th						
Maastotyyppi: <i>Terrain type:</i>						
aukea — <i>open area</i> .....	53	100	0.206	100	110	100
metsäaukko — <i>forest opening</i> ....	58	109	0.205	99	118	108
mäntymetsä — <i>pine dominated forest:</i>						
harva — <i>thin</i> .....	55	103	0.203	98	111	101
aika harva — <i>rather thin</i> ..	54	101	0.202	98	108	99
normaali — <i>normal</i> .....	52	98	0.201	97	104	95
aika tiheä — <i>rather dense</i> ..	50	94	0.202	98	100	92
tiheä — <i>dense</i> .....	46	86	0.212	101	95	86

Ulkomaisista tutkimuksista voidaan mainita Coloradossa (GOODELL 1959) suoritettu tutkimus, jossa todettiin 168 m<sup>3</sup>/ha sisältävän tasaikäisen 22 m korkean Murrayn mäntyä kasvavan metsikön koko tukkipuuston hakkaamisen lisäävän 29 % maahan kerrostuvan lumen määrää. Ero on sama kuin luokkien 4 ja 8 välillä (vrt. taulukko 8). RAKHMANOV (1957) on todennut Euroopan puoleisen Neuvostoliiton länsiosissa lumen vesiarvon maksimin olevan havumetsässä 112 % aukeiden maiden vesiarvon maksimista (vrt. taulukko 10, pelto ja metsä).

### 3.4 Lumen aluevesiarvon laskeminen

Edellä taulukossa 8 esitettyjä korjaustekijöitä käyttäen voidaan valuma-alueen aluevesiarvo laskea, jos on käytettävissä lumilinjahavainnot ja tiedot lumilinjan pisteiden ja valuma-alueen alan jakautumisesta eri luokkiin. Menettelyn valaistamiseksi oletetaan, että lumilinjan havaintojen lumen syvyyden keskiarvo on esim. 59.2 cm sekä linjan ja valuma-alueen luokkajakautuma seuraava:

	Maastoluokan osuus (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
valumahavaintoalue .....	8	—	15	27	14	16	12	8
havaintolinja .....	5	2	10	25	20	18	16	4
erotus .....	3	—2	5	2	—6	—2	—4	4
maastoluokkavaikutus (cm)	—6.7	0.3	4.0	5.6	4.8	1.6	—3.1	—7.9
erotus × m. l. vaikutus ....	—20.1	—0.6	20.0	11.2	—28.8	—3.2	12.4	—31.6

Korjausten summaksi saadaan  $\frac{-40.7}{100} = -0.4$  cm. Korjattu lumen syvyys

on siis 59.2 — 0.4 = 58.8 cm.

Tiheys korjataan vastaavalla tavalla.

## 4. Routahavaintojen tulokset

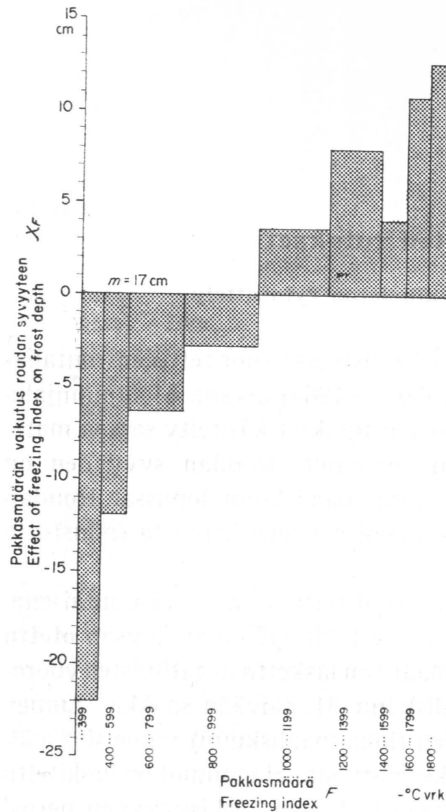
### 4.1 Tutkimusmenetelmä ja aineiston ryhmittely

Roudan syvyyden aluearvon laskemiseksi 10 pisteessä suoritettujen routahavaintojen perusteella on kuuden vuoden (1959 ··· 1964) aikana 31 lumilinjalla maaliskuun 31. päivänä suoritettujen mittausten tulokset käsitelty samaa matemaattista menetelmää käyttäen kuin lumihavainnot. Roudan syvyyden useimmin todettu saavuttavan maksimiarvonsa maaliskuun lopussa. Roudan syvyys riippuu lähinnä pakkasen määrästä, maan peitteen laadusta (puusto ja lumi), maan kosteudesta ja maalajista.

Käytännöllisistä syistä on varianssianalyysi suoritettu vain kolmisuuntaisena. Roudan syvyyteen vaikuttavina meteorologisina tekijöinä on analyysiin otettu pakkasmäärä ja lumen keskisyvyys. Pakkasmäärä on laskettu negatiivisten vuorokausilämpötilojen summana syksystä maaliskuun 31. päivään saakka. Lumen keskisyvyys on laskettu kuuden kuukauden (loka-maaliskuun) viimeisinä päivinä suoritettujen lumen syvyyssmittausten keskiarvona. Havainnot on luokiteltu pakkasmäärän perusteella yhdeksään luokkaan ja lumen keskisyvyyden perusteella kuuteen luokkaan kuvien 4 ja 5 mukaisesti. Sellaisina vuosina, jolloin varhain syksyllä on kovia pakkasia maan ollessa ilman lumipeitettä, mutta myöhemmin talvella lumipeite muodostuu paksuksi, eivät näin lasketut pakkasmäärä ja lumen keskisyvyys pysty ilmaisemaan ilmastollisten tekijöiden todellista vaikutusta roudan syvyyteen. Keskimääräiset pakkasmäärän ja lumen syvyyden arvot selvittävät kuitenkin routailmiöitä siinä määrin, että maastotekijöiden vaikutus saadaan selville. Maan kosteus vaikuttaa voimakkaasti routaantumiseen. Ilmeisesti syksyn sadesuhteet vaikuttavat näin ollen roudan syvyyteen. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ole otettu meteorologisia maan kosteuteen vaikuttavia tekijöitä tarkasteltaviksi. Maan kosteusolosuhteet on oletettu keskimääräisiksi. Tämä oletamus pitää paikkansa melko hyvin jo kuuden vuoden havaintosarjaa käytettäessä.

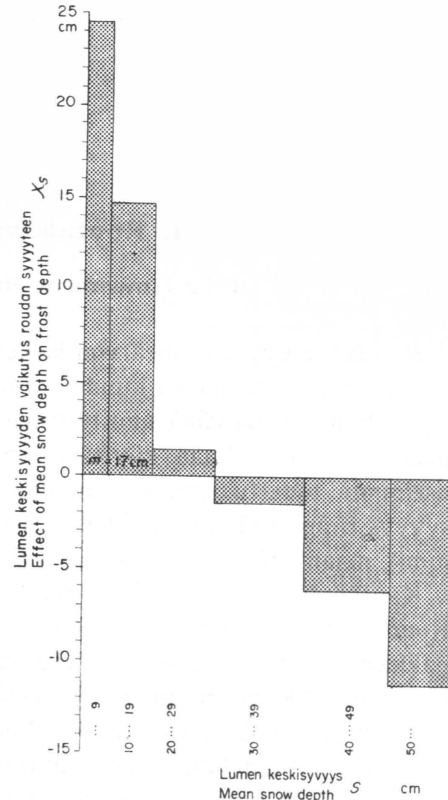
Varsinaisina aluetekijöinä tulevat kysymykseen maalajin tai puuston perusteella määritetyt maastoluokat. Varianssianalyysi on suoritettu kolmisuuntaisena siten, että pakkasmäärä ja lumen keskisyvyys ovat aina olleet mukana. Kolmantena tekijänä on ollut vuorotellen maalaji tai kahdella eri tavalla määritetty puustoluokitus. Koska aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että roudan syvyys on pellolla huomattavasti suurempi kuin metsässä, maalajiluokitusakin käytettäessä aineisto on ensin jaettu pelto- ja metsäaineistoon.





Kuva 4. Pakkasmäärän vaikutus roudan syvyyteen.

Fig. 4. The effect of the freezing index on frost depth.



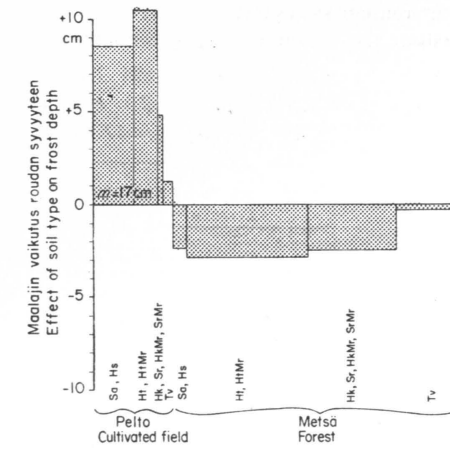
Kuva 5. Talvenaikaisen lumen keskisyvyyden vaikutus roudan syvyyteen.

Fig. 5. The effect of the mean wintertime snow depth on frost depth.

Kumpikin aineisto on edelleen jaettu kuvan 6 osoittamalla tavalla neljään maalajiryhmään: savi- ja hiesumaat, hietamaat, hiekka- ja soramaat sekä turvemaat.

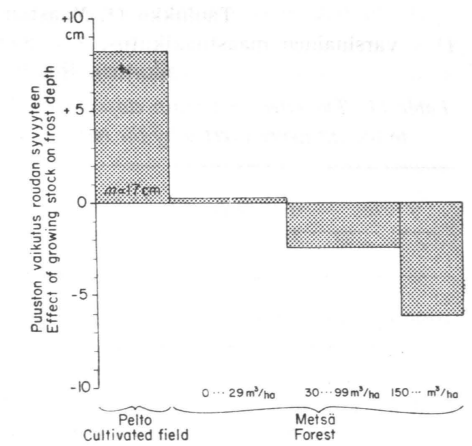
Puuston perusteella on aluetekijäryhmitys (kuva 7) suoritettu siten, että ensimmäisen ryhmän muodostaa pelto (lumentutkimuksen maastoluokka 1), toisen ryhmän ne pisteet, jotka sijaitsevat muualla kuin pellolla ja missä puuston määrä on 0...29 m<sup>3</sup>/ha (maastoluokat 2, 3 ja 4). Vastaavasti kolmannessa ryhmässä ovat lumentutkimuksessa käytetyt maastoluokat 5 ja 6 sekä neljännessä ryhmässä maastoluokat 7 ja 8.

Eräissä aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu roudan tunkeutuvan syvemälle kuusimetsissä kuin mänty- ja lehtimetsissä (YLI-VAKKURI 1960). Tästä syystä on suoritettu varianssianalyysi myös siten, että puustoluokat on jaettu kahteen osaan: kuusivaltaisiin ja mänty- ja lehtipuuvaltaisiin. Näin ollen tässä toisessa maastoluokituksessa on seitsemän luokkaa.



Kuva 6. Maalajin vaikutus roudan syvyyteen.

Fig. 6. The effect of soil type on frost depth (Sa = Clay, Hs = Silt, Ht = Fine sand, Hk = Coarse sand, Sr = Gravel, Mr = Moraine, Tv = Peat).



Kuva 7. Puuston vaikutus roudan syvyyteen.

Fig. 7. The effect of growing stock on frost depth.

#### 4.2 Varianssianalyysin tulokset ja tulosten tarkastelu

Pakkasmäärän ja lumen keskisyvyyden vaikutus roudan syvyyteen ilmenee kuvista 4 ja 5. Kuvissa 4...7 pilarin leveys ilmaisee luokan osuuden koko havaintoaineistosta. Pakkasmäärällä todetaan olevan saman tapainen, mutta vastakkaismerkkinen vaikutus kuin lumen syvyydellä. Lisäksi todetaan, että pakkasmäärän ja lumen syvyyden kasvaessa niiden suhteellinen vaikutus roudan syvyyteen pienenee. Keskimääräinen roudan syvyys vuosina 1959...1964 on havaintolinjoilla ollut 17 cm.

Käytettäessä varianssianalyysissä aluetekijänä maalajiluokkaa saadaan kuvan 6 osoittamat vaikutukset. Pellolla on roudan syvyys selvästi suurempi kuin metsässä, mutta maalajien vaikutukset eivät ole selväpiirteisiä eivätkä merkitseviä. Ilmeisesti näin pienissä roudan syvyyksissä eivät maalajierot vielä pääse vaikuttamaan. Varsinkin maan lämmönjohtokyvyn merkitys jää vähäiseksi. Sen sijaan kuvassa 7 esitetyt maastoluokan vaikutukset ovat selviä. Puuston kuutiomäärän lisäytyessä pienenee roudan syvyys. Tämä vaikutus johtuu ilmeisesti puuston suojaavista ominaisuuksista, jotka pienentävät olosuhteita ja tuulen vaikutusta. Puuston kuutiomäärä vaikuttaa roudan syvyyteen tämän lisäksi myös lumen syvyyden välityksellä, sillä taulukon 7 mukaisesti on lumen syvyys eri maastoluokissa erilainen. Taulukossa 11 on esitetty sekä kuvan 7 mukainen maastoluokkavaikutus 1 että lumen syvyyden aiheuttama maastoluokkavaikutus 2 keskimääräisissä olosuhteissa.

Taulukko 11. Maaston vaikutus roudan syvyyteen

(1 = varsinainen maastovaikutus, 2 = maaston vaikutuksesta lumen syvyyteen aiheutuva vaikutus). Roudan keskisyvyys = 17 cm.

Table 11. The effect of terrain class on the frost depth (1 = terrain effect proper, 2 = effect due to the influence exerted by the terrain on the snow depth). Average frost depth = 17 cm.

Maastoluokka Terrain class	Maastoluokan vaikutus (cm) Terrain class effect		
	1	2	1 + 2
1 pelto — cultivated land	+ 8.2	+ 2.5	+ 11
2, 3 ja 4 vähäpuustoinen metsä (0 ··· 29 m <sup>3</sup> /ha) forest land with small growing stock	+ 0.3	- 1.5	- 1
5 ja 6 keskinkertainen metsä (30 ··· 99 m <sup>3</sup> /ha) forest land with ordinary growing stock	- 2.4	- 1.5	- 4
7 ja 8 runsaspuustoinen metsä (100 < m <sup>3</sup> /ha) forest land with high growing stock	- 6.1	+ 2.0	- 4

Taulukko 12. Varsinainen maaston vaikutus roudan syvyyteen kuusivaltaisissa ja muissa metsiköissä. Roudan keskisyvyys = 17 cm.

Table 12. The effect proper of terrain class on the frost depth in spruce-dominated and other tree stands. Average frost depth = 17 cm.

Maastoluokka Terrain class	Maastoluokan vaikutus (cm) Terrain class effect		
	kuusivaltaiset metsiköt spruce- dominated tree stands	muut metsiköt other tree stands	kaikki metsiköt all tree stands
2, 3 ja 4 (metsä — forest land, 0 ··· 29 m <sup>3</sup> /ha)	- 1.3	0.5	0.3
5 ja 6 (metsä — forest land, 30 ··· 99 m <sup>3</sup> /ha)	- 2.1	- 3.2	- 2.4
7 ja 8 (metsä — forest land, 100 < m <sup>3</sup> /ha)	- 3.2	- 6.4	- 6.1

Pellolla maastoluokan vaikutus 1 on + 8.2 cm ja vaikutus 2 on + 2.5 cm, yhteensä vaikutukset + 11 cm.

Kaikkien metsäluokkien keskimääräinen vaikutus 1 roudan syvyyteen on -2 cm ja vaikutus 2 keskimäärin -1 ja yhteensä -3 cm. Siis pellolla on normaalisti 14 cm paksumpi routa kuin metsässä. Vuosina 1959 ··· 1964 on roudan keskisyvyys pellolla ollut 28 cm ja metsässä 14 cm.

Koska käytetty maastoluokitus on tarkoitettu lähinnä lumisuhteiden vaihteluiden selvittämiseen, on mahdollista, että toisentyypinen jaottelu saattaisi olla sopivampi roudan syvyyden vaihteluiden selvittelyyn. Taulukossa 12 on edellä esitetystä jaottelusta muunnettu jaottelu, jossa kuusivaltaiset metsiköt on erotettu eri ryhmäksi.

Taulukon 12 mukaan varsinainen maaston vaikutus roudan syvyyteen ei merkittävästi riipu siitä, onko metsä kuusivaltainen vai ei, runsaspuustoisinta ryh-

Taulukko 13. Varianssisuhteen suuruus ja vapausasteet eri vaikutuksilla roudan syvyyden analyysissa.

Table 13. Magnitude of the variance ratio and degrees of freedom for the different effects in the frost depth analysis.

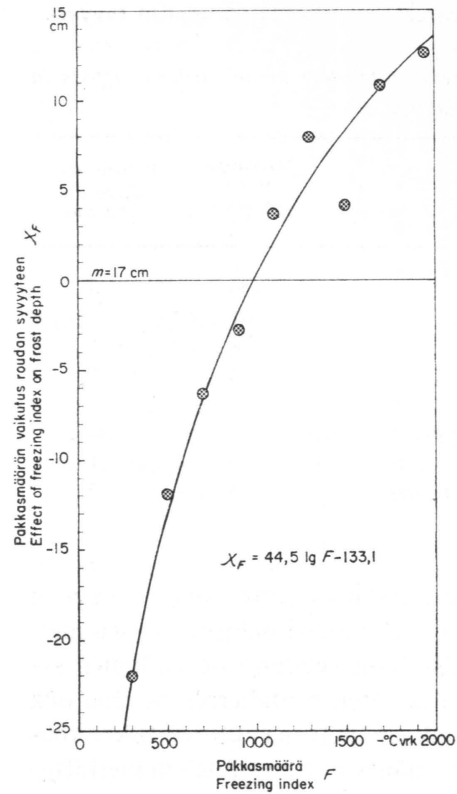
Vaikutus Effect	Varianssi- suhde Variance ratio	Vapausasteet Degrees of freedom
Pakkasmäärän vaikutus — Effect of freezing index	120	8
Lumen syvyyden vaikutus — Effect of snow depth	267	5
Maalajin vaikutus — Effect of soil type	38	7
Maastoluokan vaikutus — Effect of terrain class	43	7
Yhdysvaikutukset: — Interaction effects:		
pakkasmäärä-lumen syvyys — freezing index-snow depth	7	35
pakkasmäärä-maastoluokka — freezing index-terrain class	2	51
lumen syvyys-maastoluokka — snow depth-terrain class	5	35

mää kenties lukuunottamatta. Kuusivaltaisen metsän vaikutus lumen syvyyden välityksellä ei myöskään eronne keskimäärin merkittävästi mäntyvaltaisen metsän vaikutuksesta. Kuusen rungon välittömässä läheisyydessä lienee lumen syvyys pienempi kuin vastaavasti männyn alla ja täten routakerros saattaa olla tätä kautta paksumpi. Puiden väliset aukot mukaan luettuna kuusimetsikön routasuhteet eivät kuitenkaan eronne vastaavista mäntymetsän suhteista merkittävästi.

Roudan syvyyden aluearvojen laskemisessa on käytetty taulukon 11 arvoja.

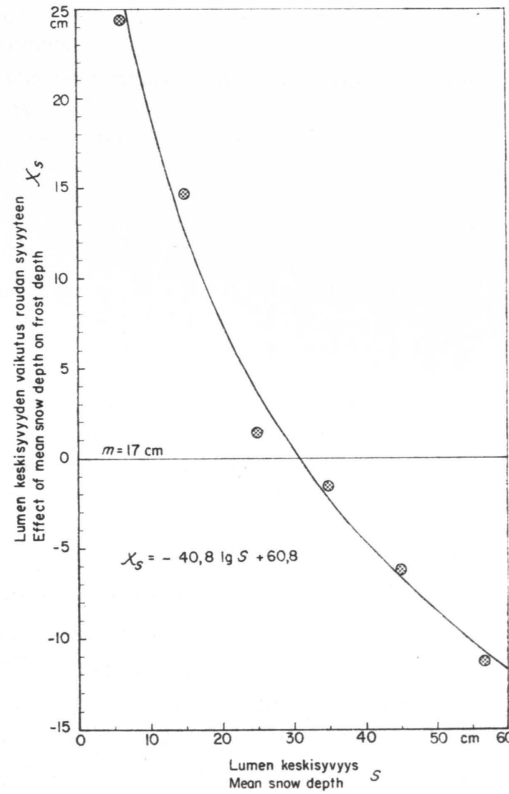
Testattaessa saatujen vaikutusten merkitsevyyttä on saatu taulukossa 13 esitetyt varianssisuhteen arvot. Perushajonta on 11.3 cm. Perushajonta on määritetty vaihteluvälin perusteella. Tarkistettaessa menetelmää 120 havainnon otoksen avulla on saatu perushajonnaksi vain 4 % suurempi arvo. Pakkasmäärän ja lumen syvyyden vaikutukset ovat ylivoimaisesti merkitsevimmät. Puuston perusteella määritetyn maastoluokan vaikutus on hieman merkitsevempi kuin maalajin vaikutus. Näiden kahden vaikutuksen merkitsevyys on samaa luokkaa, koska molemmissa tapauksissa tärkein vaikutus aiheutuu pellon ja metsän erottamisesta eri ryhmiksi. Yhdysvaikutukset ovat merkityksettömiä erillisvaikutuksiin verrattuna. Pakkasmäärän, lumen syvyyden ja maastoluokan päävaikutukset sisältävä malli sopii siis roudan syvyyden aluearvon laskemiseen.

Kuvissa 4 ja 5 esitetyt pakkasmäärän ja lumen keskisyvyyden vaikutukset on kuvissa 8 ja 9 esitetty uudelleen siten, että vaaka-akselilla on pakkasmäärä ja vastaavasti lumen syvyys. Pisteiden kautta mahdollisimman tarkasti kulkevat käyrät on määritetty. Likiarvokäyrät ovat logaritmikäyriä ja ne sopivat erittäin hyvin kuvaamaan sekä pakkasmäärän että lumen syvyyden vaikutusta roudan syvyyteen. Kun yhdistetään molempien tekijöiden vaikutukset, saadaan yhtälö (2).



Kuva 8. Pakkasmäärän ja sen aiheuttaman roudan syvyyden poikkeaman vuorosuhde.

Fig. 8. Correlation between the freezing index and the frost depth deviation caused by it.



Kuva 9. Lumen keskisyvyyden ja sen aiheuttaman roudan syvyyden poikkeaman vuorosuhde.

Fig. 9. Correlation between the mean snow depth and the frost depth deviation caused by it.

$$(2) X = 45 \lg F - 41 \lg S - 55$$

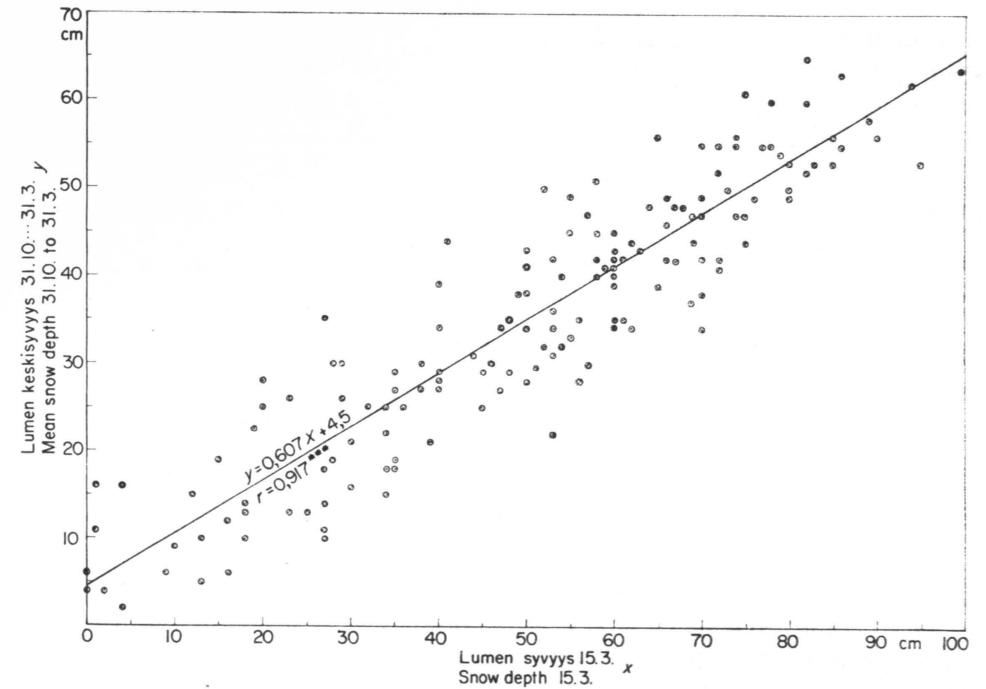
$X$  = roudan syvyys maaliskuun 31. päivänä [cm]

$F$  = pakkasmäärä maaliskuun 31. päivään mennessä [ $^{\circ}\text{C}$  vrk]

$S$  = lumen keskisyvyys 31. 10. . . . 31. 3. [cm]

Logaritmit ovat Briggsin logaritmejä.

Jos kyseessä on pelto, on roudan syvyyteen lisättävä 8 cm, vastaavasti metsässä vähennettävä 2 cm. Jos lumen keskisyvyys  $S$  tarkoittaa alueen keskimääräistä lumen syvyyttä sekä pellolla että metsässä, on roudan syvyyteen lisättävä pellolla 11 cm ja metsässä roudan syvyydestä vähennettävä 3 cm. Lumen keskisyvyys ajanjaksolla 31. 10. . . . 31. 3. voidaan määrittää kuvaa 10 käyttäen maaliskuun 15. päivän lumen syvyyden avulla. Kuvassa on esitetty kuuden vuoden ajalta jokaisen havaintolinjan 25. mittauspisteen keskimääräisen lumensyvyyden ja maaliskuun 15. päivän lumensyvyyden välinen vuorosuhde.



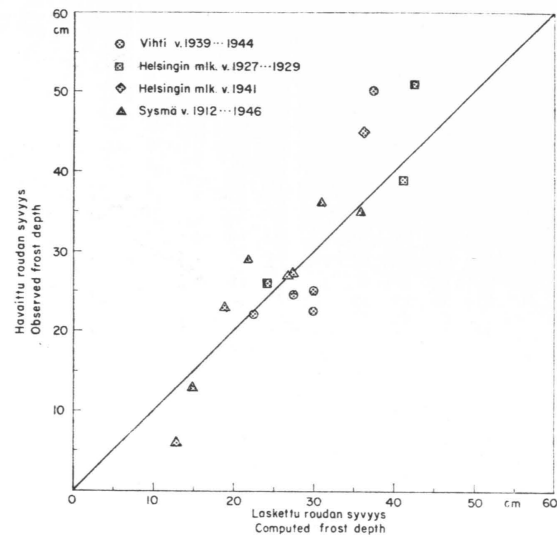
Kuva 10. Talvenaikaisen lumen keskisyvyyden ja maaliskuun 15. päivänä mitatun lumen syvyyden vuorosuhde.

Fig. 10. Correlation between the mean wintertime snow depth and the snow depth recorded on March 15th.

#### 4.3 Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan verrata vain niihin aikaisempiin tutkimuksiin, joissa on esitetty roudan syvyyden ohella myös tiedot lumen syvyydestä talven aikana. Pakkasmäärä on laskettu Ilmatieteellisen keskuslaitoksen lähimmän ilmastoaseman lämpötilahavainnoja käyttäen.

Kuvassa 11 on esitetty kaikkia WÄREEN (1947) Vihdissä v. 1939 . . . 1944 suorittamien roudan syvyysmittausten vuosittaisten keskiarvojen ja kaavalla (2) laskettujen roudan syvyyksien vuorosuhde. Kuvassa 11 on esitetty myös kaikkien JUUSELAN (1945) v. 1941 Helsingin maalaiskunnassa Backaksen tilalla suorittamien routamittausten keskiarvon ja vastaavan lasketun arvon vuorosuhde, sekä SIMOLAN (1930) Helsingin maalaiskunnassa Tikkurilassa vuosina 1927 . . . 1929 suorittamien routamittausten ja laskettujen arvojen vuorosuhde. KAITERAN ja HELENELUNDIN (1948) tutkimuksessa esitetyt, Hydrologisen toimiston Sysmässä v. 1912 . . . 1946 suorittamien routamittausten ryhmäkeskiarvot on myös esitetty kuvassa 11. Koska kaikki luetellut routa- ja lumihavainnot ovat pellolla suoritettuja, on kaavalla (2) saatuun roudan syvyyteen lisätty maasto-



Kuva 11. Roudan syvyys SIMOLAN (1930), JUUSELAN (1945), WÄREEN (1947) sekä KAITERAN ja HELENELUNDIN (1948) tutkimusten mukaan mitattuna sekä kaavan (2) mukaan laskettuna.

Fig. 11. Frost depth determined by measurement, according to studies by SIMOLA (1930), JUUSELA (1945), WÄRE (1947) and KAITERA and HELENELUND (1948), and calculated according to the formula (2).

luokkavaikutus 8 cm. Kuvassa 11 on esitetty kaikkien routamittausten keskiarvot maalajista riippumatta. Kaava (2) ilmaisee suhteellisen hyvin roudan keskisyvyyden tutkituissa tapauksissa. Kuvasta 11 voidaan kuitenkin päätellä, että kaava (2) antaa liian pieniä arvoja suurten roudan syvyyksien ollessa kyseessä ja vastaavasti liian suuria arvoja pienille roudan syvyyksille.

Tämä kaavan (2) ominaisuus on ymmärrettävissä, kun otetaan huomioon menetelmä, jolla kaava on kehitetty. Kaava (2) on tasoitusmenettelyn tulos, jolloin vaikutuksilla on taipumus laimentua. Vuosina 1959 ja 1961 noin neljäsosalla linjoista ei ollut routaa ollenkaan. Tämä vaikuttaa voimakkaasti vaikutuksia taasoittavaan suuntaan. Pakkasmäärän ja lumen syvyyden vaikutusten laimenemiseen vaikuttaa myös se, että lumen syvyys on laskettu talviaikaisena keskiarvona, eikä lumen syvyyttä ole esim. painotettu pakkasmäärän talviaikaisella jakautumisella. Samoin kaikki huomioon ottamatta jääneet tekijät, kuten maan kosteus, vaikuttavat siihen suuntaan, että kaava antaa enemmän keskiarvoa lähellä olevia arvoja kuin suuria tai pieniä arvoja. Kaavaa (2) ei ilmeisesti voitane käyttää yksityisen vuoden roudansyvyyden määrittämisessä niin hyvällä menestyksellä kuin usean vuoden pituisen jakson roudan keskisyvyyden määrittämisessä.

Kaavaa kehitettäessä käytetyssä aineistossa ei ollut havaintoja, joissa lumen keskisyvyys oli lähes nolla, joten kaavaa (2) voidaan soveltaa vain tapauksiin, jolloin lumen keskisyvyys talven aikana on suurempi kuin 5 cm.

KAITERA ja HELENELUND (1948, taulukko 7) ovat esittäneet maataloushallituksen vesistötutkimusten yhteydessä v. 1938...1942 tehtyjä havaintoja Vehmaalla, Rantasalmella, Alavieskassa ja Ruokolahdella. Näissä tutkimuksissa on saatu pellon ja metsän roudan syvyyden eroksi keskimäärin 13 cm, joka on lähes sama kuin tässä tutkimuksessa saatu tulos (14 cm).

Kaavan (2) tapaisista pakkasmäärän ja lumen syvyyden huomioon ottavista routakaavoista on syytä mainita DEBSKIN (1938) esittämä, Puolan olosuhteissa kehitetty kaava (3).

$$(3) H = (126 - 0.9 \cdot S) \cdot G \cdot W \cdot T$$

$H$  = roudan syvyys [cm]

$S$  = lumipeitteen paksuus [cm]

$G$  = maalajikerroin

$W$  = maastokerroin

$T = 0.001 \cdot \Sigma t$ , jossa  $\Sigma t$  on klo 7 mitattujen negatiivisten lämpötilojen summa mitaushetken mennessä [— °C]

Kaavan (3) mukaan on lumen syvyyden ja pakkasmäärän vaikutus roudansyvyyteen lineaarinen. Kaavan 2 mukaan on roudan syvyys riippuvainen pakkasmäärän ja lumen syvyyden logaritmisista, jolloin tekijöiden vaikutus pienenee voimakkaasti pakkasmäärän ja lumen syvyyden kasvaessa. Tekijöiden suhteellisen vaikutuksen pieneminen on ymmärrettävissä siten, että pakkasmäärän kasvaessa roudan syvyys kasvaa. Tällöin routakerroksen kasvaessa routaantumaton maan ja ilman välinen eristys lisääntyy ja näin ollen pakkasmäärän suhteellinen vaikutus pienenee. Samoin lumipeitteen tullessa paksummaksi eristysvaikutus jatkuvasti kasvaa, eikä lumikerroksen kasvaminen enää voi vaikuttaa suhteellisesti yhtä tehokkaasti, koska lumen läpi tapahtuva lämpövirtaus pienenee. Teoreettiselta kannalta kaavan (2) mukainen logaritminen riippuvuus on siis luontevampi kuin DEBSKIN kaavan lineaarinen riippuvuus. Kun lumen syvyys ja pakkasmäärät ovat pieniä ja niiden vaihtelut vähäisiä, ei käytännössä ole kuitenkaan suurta eroa, käytetäänkö lineaarista vai logaritmisista riippuvuutta.

## 5. Johtopäätökset

1. Lumi- ja routalinjahavaintoja järjestettäessä on pyrittävä sijoittamaan linja maastoon valuma-aluetta edustavasti, mutta itse pisteet on määritettävä tarkasti otantaperiaatteen mukaisesti. Tällöin vältetään tulosten vääristyminen sellaisten tekijöiden vaikutuksesta, joita ei voida kontrolloida (esim. pisteen sijainti puuhun nähden). Mittauspisteet on ehdottomasti merkittävä, jotta edellä mainittua valinnasta johtuvaa vääristymistä ei tapahdu ja eri aikoina suoritettuja havaintoja voidaan verrata toisiinsa. Tämä tutkimus on järjestetty näiden periaatteiden mukaisesti.

2. Eri tyyppisten metsiköiden lumisuhteiden vertailussa on käytettävä selkeästä luokkajakoa, joka perustuu metsikkötunnusten mittaamiseen, jotta silmävaraisen luokittelun haitat vältetään. Tällaisena metsikkötunnuksena on tässä tutkimuksessa käytetty puuston kuutiomäärää ( $m^3/ha$ ), koska se on verraten helposti mitattavissa ja siitä on runsaasti tietoja (esim. valtakunnan metsien inventoinnit). Jos puuston kehitysluokka- ja puulajijakautumat ovat keskimääräiset, ilmaisee puuston määrä lumisuhteiden vaihtelut riittävän tarkasti. Toisaalta puuston kuutiomäärä ottaa huomioon myös puuston pituuden, joka vaikuttaa oksistomassan määrään ja siten interseptioon.

3. Epätasaisesti täytetyn ruudukon varianssianalyysillä on voitu selvittää maastoluokan vaikutus lumisuhteisiin, vaikka aineisto on maastoluokkien alueellisen esiintymisen vaihteluista johtuen epähomogeeninen ja eri vuosijaksoja käsittävä.

4. Lumen tiheyden vuosivaihtelussa on todettu selvä riippuvuus talven lämpötilasta. Regressioyhtälö on  $\rho = 0.324 + 0.0106 \cdot T_m$  ( $r = 0.944$  \* \*).

5. Maastoluokan vaikutus lumen syvyyteen maaliskuun puolivälissä on merkittävä. Sen sijaan lumen tiheydessä vaihtelut ovat pieniä. Vesiarvo on esim. hyvin vähäpuustoisessa metsässä (luokka 4) 30 % suurempi kuin erittäin runsaspuustoisessa metsässä (luokka 8). Lumen pidäytyminen puihin lisää täten runsaspuustoisissa metsissä talvihaihtumista merkittävästi. Maastoluokan vaikutus lumisuhteisiin on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu saman suuntaiseksi.

6. Roudan syvyyttä koskeissa tutkimuksissa on tehtävä ero luonnontilaisissa lumioiloissa muodostuneen roudan (hydrologiassa sekä maa- ja metsätaloudessa käytetty routakäsite) ja rakennustekniikassa tarkoitettun roudan välillä. Luonnontilaisissa oloissa lumipeitteellä on tärkeä merkitys roudan syvyydelle, mutta rakennustekniikassa lumen vaikutusta ei tavallisesti voida ottaa huomioon.

Tässä tutkimuksessa on käsitelty aineistoa, joka on saatu eri puolilla maata eri maastotyypeillä edustavasti sijaitsevista pisteistä häiriintymättömissä lumioiloissa suoritetuissa mittauksissa.

7. Pakkasmäärän, lumen keskisyvyyden ja puuston perusteella määritetyn maastoluokan vaikutus maaliskuun lopussa mitattuun roudan syvyyteen on selvitetty epätasaisesti täytetyn ruudukon varianssianalyysiä käyttäen. Pakkasmäärä vaikuttaa roudan syvyyttä lisäävästi ja lumen syvyys sitä vähentävästi. Vaikutukset pienenevät suhteellisesti pakkasmäärän ja lumen syvyyden kasvussa (kaava (2) sivulla 30).

8. Maalajilla ei ole todettu olevan tässä aineistossa selvää vaikutusta roudan syvyyteen. Puuston määrään perustuvilla maastoluokilla sen sijaan on todettu olevan selvä vaikutus. Runsa puusto pienentää roudan syvyyttä. Roudan syvyyden keskiarvoksi on saatu koko aineistossa 17 cm. Roudan syvyys on samankaltaisen lumipeitteen alla pellolla 8 cm keskiarvoa suurempi ja metsissä 2 cm keskiarvoa pienempi. Kun otetaan huomioon, että lumen syvyys on metsissä suurempi kuin pellolla, roudan syvyys saadaan pellolla 11 cm keskiarvoa suuremmaksi ja metsässä 3 cm keskiarvoa pienemmäksi. Näin ollen roudan syvyys on tämän tutkimuksen mukaan ollut pellolla 28 cm ja metsässä puolet siitä, eli 14 cm. Kuusimetsikön routasuhteissa ei ole todettu oleellista eroa verrattuna muihin metsiköihin.

9. Sovellettaessa routakaavaa (2) kaikkiin niihin aikaisempiin kotimaisiin tutkimuksiin, joista on lumen syvyytiedot koko talven ajalta, on kaavan todettu antavan keskimäärin mitatun suuruisia roudan syvyyksiä. Kaavalla (2) on kuitenkin ilmeisesti taipumus tasoittaa tuloksia, siis antaa suuret roudan syvyydet todellista pienempinä ja pienet roudan syvyydet todellista suurempina.

### Kirjallisuutta

- DEBSKI, K. 1938. Einleitende Untersuchungen über Bodenfrosttiefe in Polen, VI Baltische Hydr. Konf. Bericht 6 D. Berlin.
- GOODELL, B. C. 1959. Management of forest stands in western United States to influence the flow of snow-fed streams. Symposium of Hannoversch-Münden 8—14 Sept. 1959 Vol. I.
- HUIKARI, O. 1961. Roudasta puiden kasvutekijänä. Terra 73, 4.
- ILVESSALO, Y. 1957. Suomen metsät päävesistöalueittain. Valtakunnan metsien investoinnin tuloksia, Metsäntutk.lait. julk. 47. 4.
- JUUSELA, T. 1945. Untersuchungen über den Einfluss des Entwässerungsverfahrens und den Wassergehalt des Bodens, den Bodenfrost und die Bodentemperatur, Acta agr. fenn. 59, Helsinki.
- KAITERA, P. 1939. Lumen kevätsumamisesta ja sen vaikutuksesta vesiväylien purkautumisuhteisiin Suomessa. Maatal.hall. kultt.tekn. tutk. 2.
- »— HELENELUND, K. 1948. Roudan syvyydestä ja sen vaikutuksesta rakennusperustusten sekä vesi- ja likavesijohtojen syvyyteen, Tekn. Aikak. 38.
- KEINONEN, L. 1955. Routaantumisolosuhteita valaisevia tietoja maamme ilmastosta, Rak. ins. 10.
- Komiteamietintö, 14—1939. Helsinki.
- KORHONEN, V. V. 1915. Die Ausdehnung und Höhe der Schneedecke, Untersuchungen über die Schnee- und Eisverhältnisse in Finnland. I. Helsinki.
- »— 1923. Beobachtungen über die Dichte der Schneedecke in verschiedenartigem Gelände und in verschiedenen Tiefen, Mitteilungen der Meteorologischen Zentralanstalt des Finnischen Staates, 11.
- »— 1927. Liniemessungen der Höhe und Dichte der Schneedecke in Finnland. Ann. Acad. Scient. Fenn. A, Tom. XXVI.
- »— 1936. Der mittlere Wassergehalt der Schneedecke in Finnland am 15. März in der Jahren 1919—1934. V Hydr. Konf. der Baltischen Staaten, Bericht 18 A, Helsinki.
- LOKKI, O. 1959. Valmistusprosessin tilastomatematisesta analysointimahdollisuuksista (alustava selostus, moniste).
- »— 1960. On the analysis of variance with unequal group size. Soc. Scient. Fenn. Comment. XXIV 12.
- MAASILTA, A. 1959. Roudan syvyydestä peltomailla Suomessa (moniste).
- RAKHMANOV, V. V. 1957. Forest effects on snowpack accumulation and snow melting in relation to meteorological conditions, International association of scientific hydrology, General assembly of Toronto Vol. IV.
- SEPPÄNEN, M. 1961. An the accumulation and the decrease of snow in pine dominated forest in Finland, Fennia 86, 1.
- SIMOLA, E. 1930. Kirsi- ja vajovesisuhteiden tutkimuksia Maatalouskoelaitoksella ja osittain myös muualla Suomessa vuosina 1926—1929. Valt. maatalouskoet. julk. 30. Helsinki.
- SIREN, A. 1936. Bestimmung des Wasserwertes der Schneedecke, V Hydr. Konf. der Baltischen Staaten, Bericht 18 B.
- WÄRE, M. 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939—1944, Maa- ja vesitekn. tutk. 5, Helsinki.
- YLI-VAKKURI, P. 1960. Metsiköiden routa- ja lumisuhteista, Acta for. fenn. 71, Helsinki.

### SUMMARY:

#### *EFFECT OF METEOROLOGIC AND TERRAIN FACTORS ON WATER EQUIVALENT OF SNOW COVER AND ON FROST DEPTH*

In association with the rearrangement in 1957 of the research basin network of the Hydrotechnical Research Bureau of the Engineering Department of the Board of Agriculture, provision was made for carrying out snow and soil frost observations in the basins in question (Fig. 1). It was desired to obtain, with the aid of said snow and soil frost observations, sufficient material for determination of regional springtime snow and soil frost values because it was understood that the water equivalent of snow and the frost depth affect the runoff in significant degree. The principal purpose of the present study is to elaborate a method by which the observations recorded along a survey line can be corrected to be valid for a given basin.

The survey lines were chosen to be as representative of the basins as possible. However, the measuring points proper (Fig. 2) were staked out with measuring tape and compass according to the random sampling principle, at exactly specified intervals along the survey line.

At each one of the 50 points on survey line the snow depth is measured; furthermore, at every fifth point also the snow density is recorded at the end of each month in the early part of the winter, and from March onwards also at the middle of each month. Frost depth measurements are made at the end of January and March at the snow density measuring points.

On each line a terrain study was carried out comprising, among other things, clarification at the observation points of existing tree stands, of the soil type by laboratory determinations, and of the slope with the aid of an inclinometer. The results have been stated in Tables 1 to 5. The same studies were also performed on the research basins.

In Table 1, class 1 comprises the cultivated lands, class 2 the open bogs and class 3 the points in wooded areas at which the growing stock is zero. To class 4 the points have been referred where the growing stock is  $1 \dots 29 \text{ m}^3$  per hectare. Class 5 contains the points at which coniferous trees account for 50 % of the growing stock or more (coniferous dominance) and the growing stock is  $30 \dots 59 \text{ m}^3$  per hectare; as well as the points with coniferous trees at less than 50 % of the growing stock and a growing stock of  $30 \dots 99 \text{ m}^3$  per hectare. Class 6 includes

the conifer-dominated points with  $60 \dots 99 \text{ m}^3$  per hectare and all hardwood-dominated points having a growing stock of  $100 \text{ m}^3$  per hectare or higher. Class 7 comprises the conifer-dominated points with growing stock of  $100 \dots 149 \text{ m}^3$  per hectare and class 8 those where it amounts to  $150 \text{ m}^3$  per hectare or more.

In the comparison of snow conditions between tree stands of different types a characteristic value of the tree stand determined by measurement has been used in the present study, namely, the growing stock amount in  $\text{m}^3$  per hectare. The drawbacks of visual assessment are avoided by this procedure. The growing stock is an easily determinable, generally known characteristic, on which ample data are available (e.g. in the national forest inventory). The growing stock is thought to be a better index of the effect exerted by the tree stand's properties on snow conditions than is, for instance, the mere density value of the tree stand. This seems reasonable because by using the growing stock also the height of the trees will be respected, which has its influence on the branch mass quantity and therefore also on the degree of interception. The terrain classification in this study has been based on the coniferous growing stock, referring the hardwood stands partially to classes consistent with lower growing stock quantity. This principle of accounting for the tree species has little significance in Finland, where only 15 % of the tree stands are hardwood-dominated.

The effect of terrain class on the snow depth and snow density recorded on March 15th was subjected to analysis of variance. Since the material is non-uniform in that it includes different annual groups in the case of different survey lines and the terrain classes are represented in different proportions in the data from different lines, analysis of variance with unequal group size was applied, for which LOKKI (1960) has presented a solution based on SEIDEL iteration. The analysis was carried out in three dimensions since in addition to the terrain class ( $\gamma$ ) in formula (1), which is the subject of this study, at least also the geographical location ( $\alpha$ ) and the year ( $\beta$ ) have to be taken into account as factors of influence.

The mean snow depth  $m_h = 51.9 \text{ cm}$  and the mean snow density,  $m_d = 0.235 \text{ g/cm}^3$ . The regional effect is revealed by Table 6, the annual effect by Table 7, and the effect of terrain class by Table 8.

The analysis of snow depth concerns the observations made during an average period of five winters (1958 to 1963) at about 1 500 points, i.e., 7 500 observations, while the number of observations on which the analysis of snow density is based is one-fifth of this.

The significance of the effects that have been elicited cannot be tested in normal manner with the aid of the  $F$ -test, but some inferences can be drawn all the same. In Table 8 the so-called variance ratio (LOKKI 1960) has been stated for the different effects. It can be seen that the separate effects are essentially more significant than the interaction effects, and the model represented by formula (1) is consequently suitable for clarification of the effect exerted by terrain class.

A distinct relationship exists between the snow density recorded on March 15th and the mean temperature of the winter (December to March), Fig. 3.

The effect of the terrain class on the snow depth is remarkable, whereas the variations in snow density are minimal. The water equivalent of snow in class 4 (forests with small growing stock) is about 30 % higher than in class 8 (forests with high growing stock). From this the inference can be drawn that an ample tree stand significantly increases the evaporation in wintertime and that the wintertime evaporation in the Finnish climate is primarily a question of tree stand. In some degree this difference may also be due to the different accumulation of snow in tree stands of different types. In previous Finnish studies (Table 10) largely similar results have been obtained concerning the effect of terrain class on snow depth, snow density and water equivalent of snow.

The soil frost observations reported in this study were made on soil frost that had been established in undisturbed natural conditions. This soil frost concept, which is of interest to the hydrologist as well as to those engaged in agricultural and forestry research, differs from that mostly constituting the object of investigation in civil engineering, namely, the soil frost encountered under disturbed snow cover and in other exceptional conditions.

The frost depth was determined with the soil frost auger or by digging pits and measuring the distance below soil surface of the lower solid soil frost limit. Such soil frost measurements were made at the same points of the snow survey line at which measurement of the snow density was carried out. The material comprises observations over an average period of six years (1959 . . . 1964) at about 300 points, altogether about 1 700 observations.

Analysis of variance with unequal group size was applied in elucidation of the effect exerted on the frost depth recorded on March 31st by freezing index, mean snow depth and the terrain class determined on the strength of soil type or growing stock. The freezing index was computed as the sum of the negative daily temperatures (in  $^{\circ}\text{C}$ ) up to March 31st. The mean snow depth was determined as the mean of the snow depths measured during the period October 31st to March 31st.

The effect of the freezing index on the frost depth is shown by Fig. 4 and that of the mean snow depth by Fig. 5. In Figs. 4 to 7, the width of the column indicates the relative contribution of the class in question to the entire material. In Figs. 8 and 9 the graphs representing mathematically the effect of freezing index and of snow depth have been plotted; they are logarithmic curves. On the strength of these graphs the formula (2) was obtained for the frost depth ( $X$ ) in terms of freezing index ( $F$ ) and snow depth ( $S$ ). On theoretical consideration, logarithmic dependence of the frost depth on freezing index and snow depth as suggested by formula (2) seems more plausible than, e.g., the linear relationship expressed in the formula (3) of DEBSKI, as it is obvious that the incremental effect of freezing index and snow depth must become less when the respective fac-

tor increases in strength, as a result of increasing insulating effect. The soil type was not found to have any distinct influence on the frost depth in the present material (Fig. 6). On cultivated lands the soil frost clearly penetrates to greater depth than in the forest. The growing stock of wooded areas influences the snow depth in the manner shown by Fig. 7. In Table 11 the effect proper of the terrain class on frost depth and the effect arising from its influence on snow depth has been presented. In the entire material, the frost depth is 17 cm on the average. On cultivated lands soil frost extending to a depth 8 cm in excess of the mean and in forests one 2 cm less than the mean is encountered under identical snow covers. If the circumstance is considered (Table 8) that the snow cover has greater thickness on the average in the forest, the average frost depth on cultivated fields is found to be 28 cm and that in forests, 14 cm, or less by one-half. The soil frost conditions in spruce stands were not found to be essentially different from those in pine and birch stands (Table 12).

The effects of freezing index, snow depth and terrain class were found to be essentially more significant than the interaction effects of these factors (Table 13). The terrain class effect required in calculating the regional frost depth value can therefore be determined by three-dimensional analysis of variance with the following factors: freezing index, snow depth, and in partial combination the same terrain classification which was employed in determining the correction coefficient for the regional water equivalent of snow value (Table 11).

As a check on the usability of formula (2), the frost depth was calculated by means of the formula on the basis of materials presented by certain investigators and the results were compared with the observed frost depths (Fig. 11). Formula (2) was found to yield values largely similar in order of magnitude. It seems, however, that the formula (2) minimizes great frost depth values and exaggerates the frost depth when it is small; in other words, it apparently tends to equalize the results. The formula is thought to be better suited for calculation of the mean frost depth than of the frost depth in individual years.