

METEOROLOGISTEN JA ALUE- TEKIJÖIDEN VAIKUTUKSESTA VALUNTAAN

Effects of meteorologic and basin characteristics on runoff
(English abstract)

SEPPÖ E. MUSTONEN

HELSINKI 1965

**METEOROLOGISTEN JA ALUE-
TEKIJÖIDEN VAIKUTUKSESTA
VALUNTAAN**

**Effects of meteorologic and basin characteristics on runoff
(English abstract)**

SEPPO E. MUSTONEN

HELSINKI 1965

Vammala 1965
Vammalan Kirjapaino Oy.

SISÄLLYS

Alkusanat	4
Johdanto	5
1. Tutkimusaineisto	8
1.1 Hydrologiset havaintoalueet	8
1.2 Valuntahavainnot	11
1.3 Sadantahavainnot	24
1.4 Lumihavainnot	34
1.5 Routahavainnot	38
1.6 Haihduntahavainnot	40
1.7 Muut meteorologiset havainnot	45
1.8 Maan kosteusvajauksen laskeminen	45
1.9 Vuosien 1958...1964 meteorologinen ja hydrologinen luonne	51
2. Valuntasuureiden analysointimenetelmä	59
3. Valuntasuureiden analyysit	63
3.1 Vuosivalunta	63
3.2 Talvivalunta	68
3.3 Kevätvalunta	72
3.4 Kesä- ja syksyvalunta	74
3.5 Kevätylivaluma	76
3.6 Talvialivaluma	79
3.7 Kesäalivaluma	82
3.8 Alivalumien suhdelukuja	84
3.81 Talviajan keskialivaluman pysyvyysluku	84
3.82 Kesäajan keskialivaluman pysyvyysluku	87
3.83 Kesäajan ja talviajan 30 vuorokauden keskialivalumien suhdeluku	88
4. Tiivistelmä	89
5. English abstract	97
Merkinnät	104
Kirjallisuutta	107

ALKUSANAT

Tämä tutkimus liittyy osana Maataloushallituksen insinööriosaston maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston vuonna 1957 uudelleen järjestetyillä hydrologisilla havaintoalueilla suoritettujen havaintojen käsittelyyn.

Professori Matti Wäre on ohjannut työtäni tutkimuksen alkuvaiheissa. Professori Olli Lokki on antanut arvokkaita neuvoja tutkimusaineiston tilastomatematisessa käsittelyssä, tutustunut käsikirjoitukseen ja tehnyt tärkeitä korjausehdotuksia. Filosofian tohtori Heikki Simojoki on tutustunut käsikirjoitukseen sekä tehnyt eräitä varteenotettuja huomautuksia. Luonnontieteiden kandidaatti Matti Kunnas on suorittanut aineiston tilastomatematisen laskentatyön Teknillisen korkeakoulun laskentakeskuksessa. Mr. Raymond Kiernan on korjannut englanninkielisen osan kieliasun. Kiitän saamastani avusta.

Haluan myös kiittää esimiestäni yli-insinööri Eino Raustetta tuesta, minkä hän on antanut tutkimuksilleni.

Kiitän maa- ja vesiteknillistä tutkimussäätiötä, joka on myöntänyt tämän tutkimuksen julkaisemista varten apurahan.

Helsingissä, maaliskuussa 1965

Seppo E. Mustonen

JOHDANTO

Veden käyttö kasvaa kaikkialla maailmassa nopeasti. Sitä mukaa, kun siirrytään vesivarojen laajaperäisestä, suunnitelmattomasta käytöstä vesistöjen käytön alueelliseen kokonaisratkaisuun, tulee hydrologisen tutkimuksen merkitys yhä ilmeisemmäksi. Alueellisen vesien käyttösuunnitelman pohjana on alueen hydrologisten olojen mahdollisimman tarkka tunteminen. Vesistöjen virtaaman ja sen vaihteluiden tunteminen on tärkeä lähtökohta talouselämän kehittämisessä.

Hydrologisen perustutkimuksen merkityksen yleisestä tunnustamisesta on osoituksena vuonna 1965 alkanut UNESCO:n järjestämä kansainvälinen hydrologian vuosikymmen.

Vesirakennustekniikassa tarvitaan tietoja lähinnä kolmeen ryhmään kuuluvista valuntasuureista, nimittäin tiettyjen ajanjaksojen todellisista tai todennäköisistä keskivalumista, todennäköisistä ylivalumista ja todennäköisistä alivalumista.

Vuoden kokonaisvalunta ja sen jakautuminen lyhyihin ajanjaksoihin on tunnettava vesistön säännöstelysuunnitelmien laatimista varten. Näihin aikoihin saakka ovat voimataloudelliset näkökohdat olleet tavallisesti säännöstelyn päätavoitteena. Maamme energiataloudessa tapahtuvat voimakkaat muutokset toisaalta ja vesihuoltokysymysten merkityksen kasvu toisaalta ovat muuttamassa tulevaisuudessa tapahtuvien säännöstelyjen painopistettä vesihuollon ja maatalouden tarpeiden puolelle. Vaikkakin vesivoiman osuus voimataloudessa tulee pienenemään, on virtaamaolosuhteiden tuntemisella tärkeä merkitys myös vastaisuudessa säännösteltäessä vesivoimaa kulutuksen mukaan.

Tietyllä todennäköisyydellä odotettavissa olevien ylivalumien suuruus on tavallisena mitoituspäätteenä tulvasuojelu-, ojitus- ja viemärintisuunnitelmissa. Suomen ilmastossa ylivalumat ovat syntyvalttaan joko lumen sulamisen tai vesisateen aiheuttamia ja näin ollen merkitykseltään ja vaikutuksiltaan erityyppisiä.

Alivalumat ovat tavallisesti suunnittelun lähtökohtana vedenhankintaa, jäteveden vesistöön johtamista ja yleistä vesien suojelua koskevissa suunnitelmissa. Vuoden aikana on säännönmukaisesti todettavissa kaksi

alivalumakautta, toinen kevättalvella ja toinen syyskesällä. Nämä ilmiöt ovat synnyltään ja vaikutuksiltaan erilaisia, joten niitä on syytä käsitellä erillisinä sarjoina, samoin kuin ylivalumiakin.

Valunnan suuruutta ja vaihteluita koskevaa tutkimusta voidaan käyttää hyväksi kahdella tavalla. Suorittamalla pitkäaikaisia havaintoja eri puolilla maata sijaitsevilla erityyppisissä vesistöissä saadaan valuntatilastoja, joita voidaan käyttää hyväksi kyseisiä tai vastaavan tyyppisiä vesistöjä koskevissa suunnitelmissa ja säännöstelyjen suorituksessa. Nämä tilastot palvelevat välittömästi vesirakennustoimintaa. Sopivilta, riittävän pieniltä ja riittävän monilta alueilta kerättyjen pitkäaikaisten valuntatilastojen pohjalta voidaan myös suorittaa analyyseja meteorologisten ja alueellisten tekijöiden vaikutuksesta valuntasuureisiin.

Suomessa on systemaattisia hydrologisia havaintoja suoritettu 1800-luvun puolivälistä lähtien. Nykyinen Hydrologinen toimisto perustettiin vuonna 1908. Tämä toimisto on suorittanut tärkeimmissä vesistöissä hydrologisia havaintoja perustamisestaan lähtien. Näihin havaintoihin perustuvat Blomqvistin, Renqvistin, Simojoen ja Sirénin tutkimukset ja Hydrologisen toimiston vuosikirjoina julkaistut havaintosarjat ovat vesirakennustoiminnan hydrologisena perustana maassamme.

Hydrologinen toimisto on suorittanut tutkimuksia etupäässä alueilla, jotka ovat suurempia kuin 200 km². Maataloushallituksen toimesta aloitettiin vuonna 1929 hydrologiset havainnot, jotka 1930-luvulla prof. Pentti Kaiteran ollessa maataloushallituksen kulttuuriteknillisten tutkimusten johdossa järjestettiin yhtenäiseksi havaintoverkoksi (Kaitera 1936). Tähän verkkoon kuuluvilla alle 200 km² suuruisilla, eri puolilla maata sijaitsevilla havaintoalueilla suoritettiin havaintoja, joiden tarkoituksena oli lähinnä maankuivatustoiminnassa tarvittavien hydrologisten mitoituserusteiden selvittely (Kaitera 1949).

Pienten alueiden hydrologisten havaintojen tarpeellisuuden tullessa entistä ilmeisemmäksi järjestettiin prof. Matti Wäreeseen toimesta vuonna 1948 Vihtiin kolmelle 7...25 hehtaarin suuruiselle alueelle hydrologiset havainnot (Wäre 1957, Mustonen 1963).

Edellä mainituista havaintojärjestelyistä saadut kokemukset olivat käytettävissä vuonna 1957, kun maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston hydrologiset havainnot järjestettiin uudelleen. Tämä työ oli tullut ajankohtaiseksi vesirakennustekniikassa tapahtuneen kehityksen ansiosta. Uusilla havaintoalueilla haluttiin saada entistä tarkemmat tiedot valunnasta, myös alivalumista. Tällöin oli ainoana mahdollisuutena piirtävillä vedenkorkeusmittareilla varustettujen mittapatojen rakentaminen havaintoalueille (Mustonen 1965b). Koska haluttiin havainnot puhtaasta tulovirtauksesta, valittiin havaintoalueiksi järvetömiä alueita. Oleellinen tekijä hydrologisten havaintoalueiden valin-

nassa oli niiden koko. Käytettäessä Suomen ilmastossa pystyseinäisiä teräväsärmäisiä mittapatoja on keväisin patoja rasittavien liikkuvien jäiden takia pakko tyytyä tutkimaan alle sadan neliökilometrin suuruisia alueita. Toisaalta haluttaessa selvittää alueen ominaisuuksien vaikutusta valuntaan on alueiden oltava riittävän pieniä, jotta niillä olisi jokaisella mahdollisimman selvät omat erikoispiirteensä. Mitä suurempia alueet ovat, sitä enemmän ne ovat ominaisuuksien keskiarvoja edustavia.

Alueet valittiin eri puolilta maata siten, että ne olivat paikkakunnan hydrologisia oloja mahdollisimman hyvin edustavia. Alueille järjestettiin valumahavaintojen lisäksi sade-, lumi- ja routahavainnot ja tarvittaessa muita meteorologisia havaintoja haihtumistekijöiden selvittämiseksi, mikäli Ilmatieteellisen keskuslaitoksen ilmastoasema ei sijainnut riittävän lähellä. Alueilla suoritettiin tarkka maastotutkimus, jonka perusteella voitiin määrittää tärkeimmät hydrologiset aluetekijät.

Näiltä alueilta saatuja valumahavaintoja on ennakkotietoina esitetty tutkimustoimiston monistetuissa tiedotuksissa sekä julkaisuissa (Wäre 1961). Havaintoja on myöhemmin tarkistettu osittain vedenkorkeuksien, osittain purkautumiskäyrien ja joissain tapauksissa myös valuma-alueen alan suhteen. Tarkistetut havainnot (Mustonen 1965b) poikkeavat ennakkotuloksista joissakin tapauksissa melkoisesti.

Maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston hydrologisia havaintoalueita järjestettäessä pidettiin alunperin päämääränä, paitsi välittömästi käyttökelpoisten valumatilastojen keräämistä, myös aineiston hankkimista valutasuureisiin vaikuttavien tekijöiden analysoimista varten. Vuoden 1964 loppuun mennessä on saatu valumahavainnot 34:ltä valuma-alueelta 2...7 vuoden ajalta, joten käytettävissä on lähes 200 tapauksen aineisto. Vihdin pienten (0,07...0,25 km²) alueiden aineistoa ei käsitellä tässä yhteydessä. Aineisto on riittävän laaja valuntaan vaikuttavien Suomen oloissa keskeisten meteorologisten ja alueellisten tekijöiden, sadannan, lämpötilan, potentiaalisen haihdunnan, lumen vesiarvon, roudan syvyyden, alueen alan, maalajin, maaston kaltevuuden, puuston sekä pellon suhteellisen määrän vaikutuksen selvittelyyn.

Kokeellisessa tutkimuksessa järjestetään usein johonkin ilmiöön vaikuttavien tekijöiden tutkiminen siten, että tekijöiden suuruutta vaihdellaan säännönmukaisesti, jolloin päästään selvälle kunkin tekijän yksilöllisistä vaikutuksista. Tämä tapa on käyttökelpoinen myös joissakin suppeissa hydrologisissa tarkasteluissa. Edellä esitetyn tapaisissa, useiden meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksia selvittelevissä analyyseissä tämä menettely ei sovellu, koska säätekijöiden vaihtelua ei voida säädellä ja halutun tapaisten aluetekijäkombinaatioiden löytäminen luonnollisilta valuma-alueilta on hyvin vaikeata.

Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksia hydrologisiin suureisiin on tässä tutkimuksessa selvitelty lineaarista usean muuttujan regressioanalyysia käyttäen. Merkitsevien selittäjien selville saamiseksi on käytetty regressiokaavion ortogonalisointiin perustuvaa ratkaisumenetelmää, josta tässä yhteydessä käytetään nimitystä ortogonaaliregressioanalyysi. Selittävinä muuttujina käytetyt tekijät on kaikki ilmaistu kvantitatiivisina numerosarjoina.

Niistä aikaisemmista tutkimuksista, jotka käsittelevät valuma-alueen vesitasetta osittain samalta kannalta kuin tämä tutkimus, voidaan mainita Wallénin (1930), Wundtin (1937), Sirénin (1948), Kalweitin (1953), Turcin (1954, Kellerin mukaan), Lysheden (1955) ja Kellerin (1961) tutkimukset.

Metsän vaikutusta valuntaan on tutkittu monelta kannalta eri puolilla maapalloa. Näistä tutkimuksista on tehty laajoja yhteenvetoja (Barner 1961, Molchanov 1963). Ylivaluman riippuvuutta meteorologisista ja alueellisista tekijöistä Suomessa on tutkinut erityisesti Kaitera (1939, 1949). Alivalumatutkimuksista voidaan mainita Wäreen (1951) ja Norvatovin (1962) tutkimukset.

1. TUTKIMUSAINEISTO

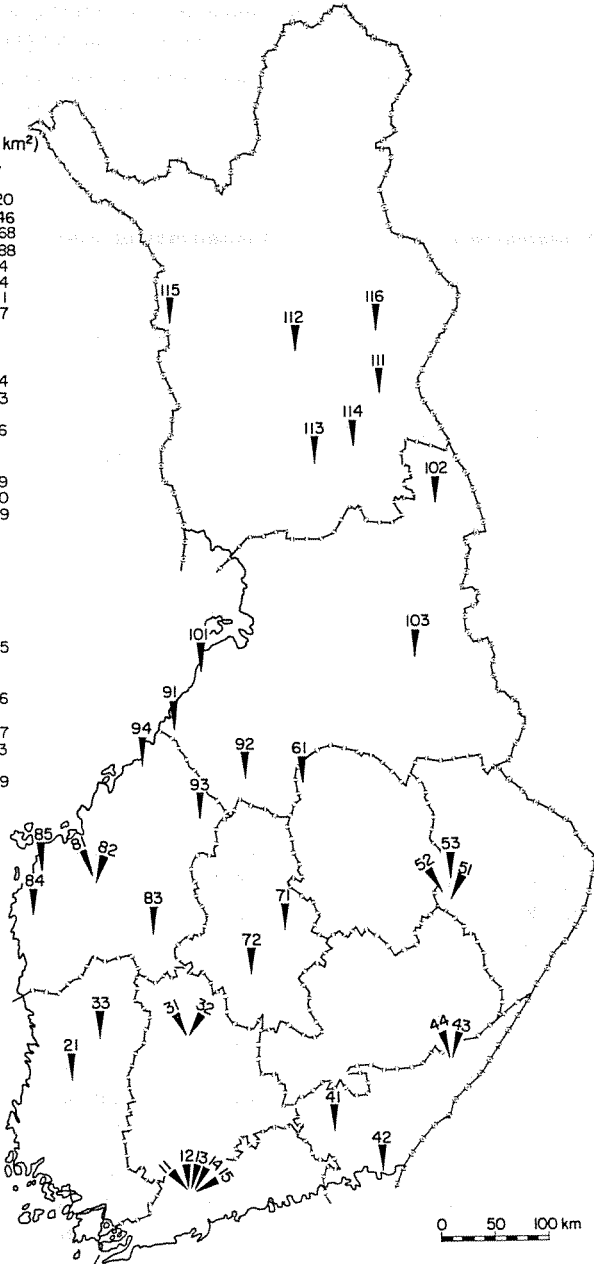
1.1 Hydrologiset havaintoalueet

Maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston hydrologisten havaintoalueiden perustamista, havaintojen suoritusta ja maastotutkimuksen tuloksia on selostettu erillisessä julkaisussa (Mustonen 1965b), joten tässä yhteydessä puututaan näihin asioihin suppeasti.

Kuvassa 1 ja taulukossa 1 on esitetty hydrologisten havaintoalueiden sijainti. Havainnot on järjestetty alueille vuosina 1957...1962. Alueet ovat pienempiä kuin 200 km², ja niiden uomat siis jokea pienempiä. Kaikki alueet ovat periaatteessa järvettömiä, muuten tyypillisiä valuma-alueita. Kaikilla alueilla suoritetaan valuman mittausta jatkuvasti piirureilla varustettujen mittapatojen avulla. Havainnot ovat läpivuotisia ja padot suojataan jäätymiseltä talvella lumen avulla.

Havaintoalueilla on vuosina 1958...1963 suoritettu maastotutkimus, jonka tarkoituksena on ollut valuntaan vaikuttavien maastotekijöiden selvittely. Tutkimukseen on kuulunut alueiden kartoitus ilmakuvia apuna käyttäen. Kartoituksessa on selvitetty pellon, suon ym. maastotyyppien rajat. Useilla alueilla on ollut käytettävissä myös peruskartta-aineisto. Vedenjakaja on selvitetty mahdollisimman tarkasti, tarvittaessa

Nimi Name	Kunta Community	Ala (km ²) Area	
11	Hovin alue	Vihti	0,120
12	Ali-Knuutilan alue	"	0,246
13	Yli-Knuutilan alue	"	0,068
14	Teeressuonoja	"	0,688
15	Kylmänoja	"	4,04
21	Läytäneenoja	Kokemäki	5,64
31	Puumulanpuro	Orivesi	3,01
32	Siukolanpuro	"	3,37
33	Katajaluoma	Ikaalinen	11,2
41	Niittyjoki	Valkeala	29,7
42	Ravijoki	Virolahti	56,9
43	Latosuonoja	Ruokolahti	5,34
44	Huhtisuonoja	"	5,33
51	Kesselinpuro	Kuusjärvi	21,7
52	Kuukkalanoja	"	2,76
53	Mustapuro	"	11,2
61	Korpijoki	Kiuruvesi	122
71	Ruunopuro	Laukaa	5,39
72	Heinäjoki	Korpilahti	9,40
81	Haapajärä	Ylistaro	6,09
82	Kainastonluoma	"	79,2
83	Kajdestuoma	Alavus	45,5
84	Norrskogsdiket	Ylimarkku	11,6
85	Sulvanjoki	Sulva	26,8
91	Tuuraaja	Kalajoki	23,5
92	Tujuoja	Haapajärvi	20,6
93	Pahkaaja	Lestijärvi	23,3
94	Kuikkisenoja	Kälviä	8,05
101	Huopakinoja	Pattijoki	19,7
102	Vääräjoki	Kuusamo	19,3
103	Myllypuro	Hyrnsalmi	9,86
111	Kuusivaaranpuro	Salla	27,6
112	Lismonoja	Sodankylä	2,77
113	Korintteenoja	Rovaniemen mk.	6,13
114	Väha-Askanjoki	Kemijärvi	16,4
115	Haurukoskenoja	Kolari	9,59
116	Myllyoja	Savukoski	28,5



Kuva 1. Maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston hydrologisten havaintoalueiden sijainti.

Fig. 1. Research basins of the Board of Agriculture.

Taulukko 1. Hydrologiset havaintoalueet, mittapatojen koordinaatit sekä alueiden matalimman ja korkeimman maastonkohdan korkeus merenpinnasta.

Table 1. Research basins, coordinates of measuring weirs, and heights of the lowest and highest points in basins. Heights are in meters above sea level.

Havaintoalue <i>Research basin</i>	Mittapadon koordinaatit <i>Coordinates of weir</i>		Alueen korkeus meren- pinnasta <i>Height of basin above sea level</i> m
	leveys <i>latitude</i>	pituus <i>longitude</i>	
14 Teeressuonoja	60° 25'	24° 24'	39...105
15 Kylmänoja	60° 25'	24° 26'	45...110
21 Löytäneenoja	61° 16'	22° 15'	35... 55
31 Paunulanpuro	61° 40'	24° 21'	118...155
32 Siukolanpuro	61° 40'	24° 21'	107...155
33 Katajaluoma	61° 41'	22° 47'	103...130
41 Niittyjoki	60° 50'	26° 45'	45...105
42 Ravijoki	60° 31'	27° 33'	7... 65
43 Latosuonoja	61° 22'	28° 42'	79...132
44 Huhtisuonoja	61° 23'	28° 40'	95...125
51 Kesselinpuro	62° 40'	29° 02'	93...130
52 Kuokkalanoja	62° 42'	28° 55'	106...135
53 Mustapuro	62° 47'	29° 11'	82...115
61 Korpijoki	63° 43'	26° 20'	103...198
71 Ruunapuro	62° 31'	26° 02'	91...175
72 Heinäjoki	62° 10'	25° 24'	117...218
81 Haapajyrä	62° 56'	22° 29'	24... 45
82 Kainastonluoma	62° 56'	22° 32'	27... 63
83 Kaidesluoma	62° 33'	23° 39'	102...178
84 Norrskogsdiket	62° 37'	21° 31'	16... 40
85 Sulvanjoki	63° 00'	21° 43'	7... 25
91 Tuuraoja	64° 14'	24° 01'	18... 50
92 Tujuoja	63° 44'	25° 21'	89...150
93 Pahkaoja	63° 26'	24° 26'	150...200
94 Kuikkisenoja	63° 55'	23° 24'	4... 25
101 Huopakinoja	64° 40'	24° 37'	14... 75
102 Vääräjoki	65° 55'	29° 14'	262...340
103 Myllypuro	64° 42'	28° 37'	173...235
111 Kuusivaaranpuro	66° 47'	28° 10'	176...295
112 Lismanoja	67° 15'	26° 31'	207...305
113 Korintteenoja	66° 20'	26° 53'	115...320
114 Vähä-Askanjoki	66° 33'	27° 40'	156...340
115 Hourukoskenoja	67° 31'	23° 51'	172...430
116 Myllyoja	67° 18'	28° 04'	169...410

vaaitusta käyttäen. Varsinaiset aluetekijät on määritetty pisteittäisenä linja-arviona. Kullakin alueella on mitattu 100...200 pisteessä relaskoopilla puusto ja kaltevuusmittarilla maaston kaltevuus 20 metrin matkalla. Pisteissä on myös otettu 30 cm syvyydestä maanäyte, jonka perusteella on laboratoriossa määritetty maalaji. Kaikki aluetekijät on siis mitattu, joten silmävaraisen arvioinnin aiheuttamat aluetekijöiden luokituksen heikkoudet on eliminoitu. Taulukossa 2 on esitetty jälempänä selostetuissa analyyseissa käytetyt aluetekijät. Valuma-alueiden ala on 0,688...122 km², keskimäärin 20,1 km². Keskikaltevuus on 1,6...13,9 %, keskimäärin 5,6 %. Pellon osuus valuma-alueen alasta on 0...77 %, keskimäärin 15 %. Suon osuus on 1...67 % alasta, keskimäärin 26 %. Puuston määrä koko valuma-alueen alaa kohti laskettuna on 14...116 m³/ha, keskimäärin 52 m³/ha. Puuston tunnusluvuksi on valittu kuutiomäärä koko valuma-alueen alaa kohti laskettuna. Mikäli metsiköiden ikäluokka- ja puulajijakautumat ovat kaikilla alueilla keskimääräiset, soveltuu kuutiomäärä evapotranspiraatioon vaikuttavien puuston ominaisuuksien mitaksi. Karkeita maalajeja, siis soraa, hiekkaa, sora- ja hiekkamoreenia on 5...77 %, keskimäärin 31 % alasta. Kun tähän karkeiden maalajien osuutta osoittavaan prosenttilukuun lisätään puolet hietamaiden ja hietamoreenimaiden osuutta osoittavasta prosenttiluvusta, saadaan tässä tutkimuksessa käytetty maalajitunnus x_6 , jonka suuruus on 16...87 %, keskimäärin 47 %. Tällä tavoin muodostettu maalajitunnus on osoittautunut selitysvoimakkuudeltaan hieman paremmaksi kuin pelkkä sora- ja hiekkamaiden osuutta osoittava prosenttiluku.

Taulukossa 2 esitetyistä luvuista voidaan päätellä aluetekijöiden vaihteluiden olevan varsin suuria. Aineisto on siis aluetekijöiden suhteen edustava.

On luonnollista, että 100...200 pisteen otanta antaa vain summittaisen likiarvon alueominaisuuksien luonteesta, merkitseehän sattumasta johtuva yhden ainoan mittauspisteen epäedustava sijainti 0,5...1,0 prosenttiyksikön muutosta tuloksissa. Toisaalta käytännöllisistä syistä ei ole syytä asettaa tarkkuusvaatimusta liian suureksi, koska aluetekijöitä (paitsi alaa) käytetään etupäässä vain eräänlaisina tunnuslukuina, indekseinä.

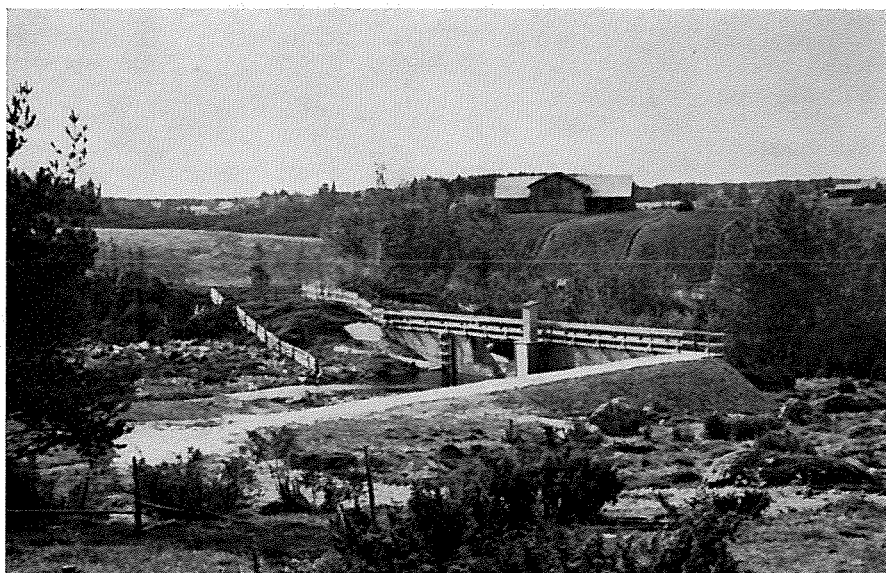
1.2 Valuntahavainnot

Valuntahavainnot on tehty piirtävillä vedenkorkeusmittareilla varustettujen mittapatojen avulla. Mittapatojen aukko (kuva 2) on suunniteltu myös alivirtaamien tarkkaa mittaamista varten. Piirtävän vedenkorkeusmittarin rekisteröimän vedenkorkeuden tarkistamista varten on luettu padolla oleva tavallinen vesiasteikko kaksi kertaa viikossa. Asteikkojen korkeus on tarkistettu kaksi kertaa vuodessa.

Taulukko 2. Hydrologisten havaintoalueiden aluetekijät.

Table 2. Basin characteristics in research basins.

Havaintoalue Research basin	Ala	Keski- kalte- vuus	Pellon osuus alasta	Suon osuus alasta	Puuston määrä	Karkeiden maalajien osuus alasta
	Drainage area	Mean land slope	Percent- age of culti- vated land	Percent- age of peat land	Volume of growing stock	Percentage of coarse soils
	km ² x ₁	% x ₂	% x ₃	% x ₄	m ³ /ha x ₅	% x ₆
14 Teeressuonoja	0,688	13,9	—	13	116	68
15 Kylmänoja	4,04	8,2	27	11	72	52
21 Löytäneenoja	5,64	1,7	77	1	24	30
31 Paunulanpuro	3,01	6,8	1	18	87	50
32 Siukolanpuro	3,37	7,5	5	16	76	50
33 Katajaluoma	11,2	2,9	3	43	52	43
41 Niittyjoki	29,7	4,9	35	2	68	44
42 Ravijoki	56,9	6,4	17	25	50	55
43 Latosuonoja	5,34	8,2	19	15	58	69
44 Huhtisuonoja	5,33	5,0	—	45	58	41
51 Kesselinpuro	21,7	4,2	4	50	62	36
52 Kuokkalanaja	2,76	5,8	21	23	41	39
53 Mustapuro	11,2	3,2	15	34	64	28
61 Korpijoki	122	3,1	8	65	44	25
71 Ruunapuro	5,39	6,4	22	10	82	53
72 Heinäjoki	9,40	7,6	8	10	75	62
81 Haapajyrä	6,09	3,0	58	26	14	16
82 Kainastonluoma	79,2	3,8	27	20	53	39
83 Kaidesuoma	45,5	3,3	13	26	46	50
84 Norrskogsdiket	11,6	1,6	34	30	45	43
85 Sulvanjoki	26,8	3,6	23	11	79	52
91 Tuuraoja	23,5	2,0	16	48	26	31
92 Tujuoja	20,6	2,3	12	58	39	33
93 Pahkaoja	23,3	2,1	2	67	30	28
94 Kuikkisenoja	8,05	3,9	31	22	34	37
101 Huopakinoja	19,7	2,6	17	26	49	51
102 Vääräjoki	19,3	5,0	—	34	34	37
103 Myllypuro	9,86	7,4	2	27	43	61
111 Kuusivaaranpuro	27,6	5,2	2	26	44	46
112 Lismanoja	2,77	7,8	2	40	26	42
113 Korintteenoja	6,13	10,2	2	5	29	68
114 Vähä-Askanjoki	16,4	10,9	—	17	61	69
115 Hourukoskenoja	9,59	12,6	—	3	32	87
116 Myllyoja	28,5	7,4	1	12	48	70
Keskiarvo Mean	20,1	5,6	15	26	52	47



Kuva 2. Kaidesluoman (83) mittapato.

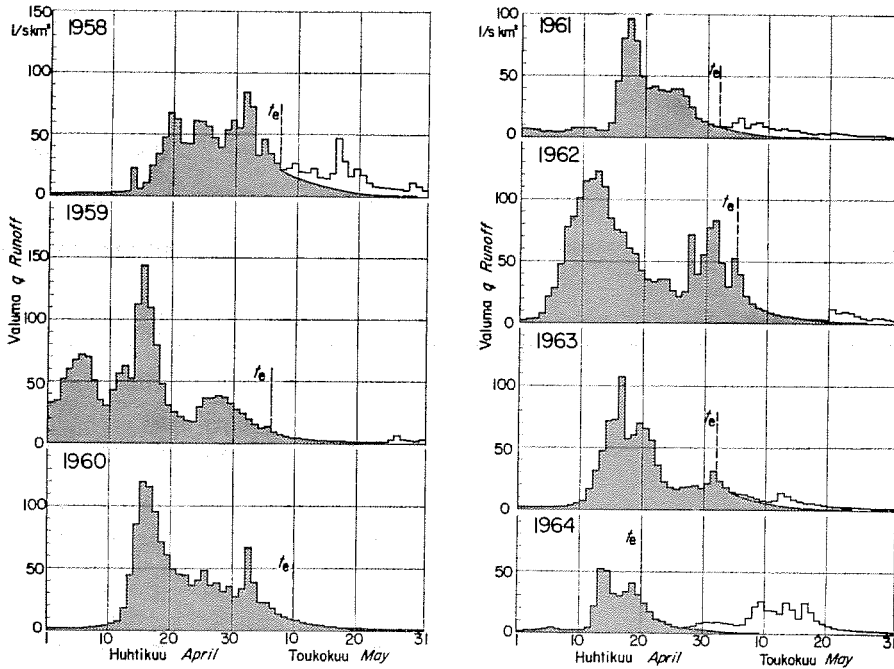
Fig. 2. Measuring weir at Kaidesluoma (83).

Suurimmat vaikeudet valumahavaintojen suorituksessa ovat aiheutuneet patoaukon jääytymisestä, jos patoa ei lumen puutteen vuoksi ole voitu syyspakkasilla suojata. Haittaa on ollut myös lietteen keräytymisestä patoaltaaseen. Liettyminen huonontaa uimuriputken ja uoman vedentointojen välistä yhteyttä ja aiheuttaa vedenkorkeuskäyrän loiventumista. Joissakin tapauksissa piirtävät mittarit eivät tilapäisesti ole toimineet. Tällöin on asteikkoa luettu useammin kuin kahdesti viikossa. Talvella valuman vaihtelut ovat vähäisiä, joten piirturit eivät tällöin ole välttämättömiä. Eräissä tapauksissa on havaintosarja tilapäisesti katkennut padon alapuolisen vedenkorkeuden noustua niin korkealle, että pato ei ole enää toiminut ylisyyksypatona. Myös padon rikkoutuminen on aiheuttanut katkeamia havainnoissa. Patojen mahdollisia vuotoja on tarkkailtu jatkuvasti. Padon ylä- tai alapuolella suoritetuilla virtaamamittauksilla on myös voitu kontrolloida mahdollisia vuotoja. Kaikista edellä mainituista syistä aiheutuneet tilapäiset katkeamat havainnoissa on korjattu käyttäen eri menetelmiä, kuten lämpötila- ja sadehavaintoja, läheisten valuma-alueiden havaintoja jne.

Vedenkorkeuden ja virtaaman välisen vuorosuhteen laskemista varten tarpeelliset purkautumiskertoimen vaihtelut mittapadoilla on määritetty siivikko- ja astiamittauksilla. Useimpien patojen aukot ovat samanmuotoisia vaikkakin eri kokoisia, joten eri padoilla suoritettujen virtaamamittauksien tuloksia on voitu käyttää hyväksi kaikkien samanmuotoisten patoaukkojen purkautumiskäyrien määrittämisessä.

Havaintoalueiden vuorokausikeskivalumat (Mustonen 1965b) on laskettu piirturipaperista neljän tunnin välein luettujen kuuden vedenkorkeuden perusteella. Kaikilla alueilla vedenkorkeuden vaihtelut ovat siksi hitaita, että kuusi havaintoa riittää antamaan tarkan keskiarvon. Vuorokausivalumien laskeminen on suoritettu tietokoneella.

Taulukossa 3 on esitetty havaintoalueiden valunta käyttäen aikajaksona hydrologista vuotta, joka alkaa marraskuun ensimmäisenä päivänä. Yksinkertaisuuden vuoksi on hydrologinen vuosi ilmaistu sillä vuosiluvulla, jonka osoittamasta kalenterivuodesta on pääasiassa kysymys. Taulukossa 3 on hydrologinen vuosi jaettu kolmeen osaan, talvijaksoon, kevätjaksoon sekä kesä- ja syysjaksoon. Talvijakso alkaa 1. 11. ja päättyy 15. 3., kevätjakso alkaa 16. 3. ja päättyy päivämääränä t_0 , jolloin lumi on kokonaisuudessaan sulanut myös metsissä (taulukko 16). Kevätvaluntaan on laskettu kuvan 3 mukaisesti myös lumen sulamisen päättymisen jälkeen tapahtunut valunta, mikä on aiheutunut lumen sulamisesta. Tämä ns. resessiovalunta on otettu huomioon siihen hetkeen saakka, jolloin valuma on pienempi kuin 1 l/s km^2 . Kuvan 3 mukainen resessiokäyrän piirtäminen on suoritettu käyttäen mallina kullakin



Kuva 3. Lumen sulamisesta aiheutuneen resessiovalunnan erottaminen Niittyjoen (41) valuma-alueella.

Fig. 3. Separation of recession runoff resulting from snowmelt in the Niittyjoki (41) drainage basin.

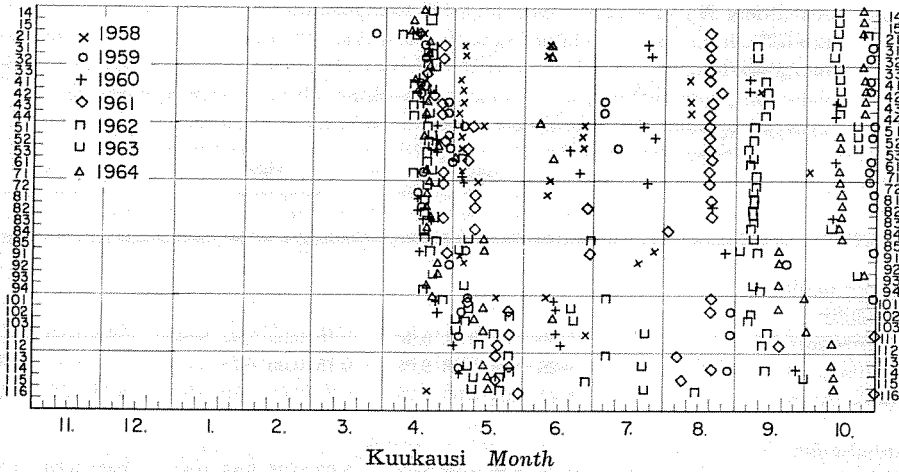
alueella niiden vuosien resessiovaluntaa, jolloin resession aikana ei ole satanut.

Koska maan pohjoisosissa lumen sulaminen tapahtuu lähes kuukautta myöhemmin kuin lounaisosissa, aiheutuu edellä esitetynlaisesta kevätvalunnan määrittämisestä kevätvaluntajakson pidentyminen ja kesä- ja syksyvaluntajakson vastaava lyhentymisen maan pohjoisosissa. Tähän menettelyyn on päädytty, koska on haluttu aloittaa kevätvaluntajakso koko maassa samana päivänä, jona on suoritettu myös lumen vesiarvon inventointi. Toisaalta ei ole mielekasta päättää kevätvaluntajaksoa tietynä kiinteänä päivämääränä, koska kevätvalunnan päättyminen sattuu eri osissa maata ja eri vuosina kovin eri aikana. Kevätvalunta tulee tällä menettelyllä muutamia millimetrejä suuremmaksi pohjoisilla alueilla kuin eteläisimmillä alueilla. Lumen sulamisen päättymispäivämäärä, siis viimeinen lumipeitepäivä, on määritetty lumihavaintojen ja valumahavaintojen avulla. Lumen sulamisen on katsottu päättyneen silloin, kun metsässä ei ole enää lunta merkityksettä pohjoisrinteiden suojaisia lumikasautumia lukuunottamatta. Koska lumihavainnot on tehty keväällä

Taulukko 4. Ylivaluma H_q (l/s km²) hydrologisilla havaintoalueilla. y_5 = kevätylivaluma, y_6 = kesäylivaluma.

Table 4. Maximum runoff H_q (l/s km²) in research basins. y_5 = daily spring maximum runoff, y_6 = daily summer maximum runoff.

Havaintoalue	1958		1959		1960		1961		1962		1963		1964	
Research basin	y_5	y_6	y_5	y_6	y_5	y_6	y_5	y_6	y_5	y_6	y_5	y_6	y_5	y_6
14 Teeressuonoja											51	60	20	6
15 Kylmänoja											125	130	51	17
21 Löytäneenoja	111	186	73	6	56	41	28	148	162	33	100	93	117	19
31 Paunulanpuro	69	5	108	7	90	14	110	102	115	33	114	45	51	13
32 Siukolanpuro	73	5	106	9	90	12	104	103	115	34	120	49	54	14
33 Katajaluoma							102	110		60	150		103	15
41 Niittyjoki	85	12	144	7	120	30	96	19	123	168	107	55	52	10
42 Ravijoki	107	11	131	7	117	39	67	4	137	125	64	51	43	26
43 Latosuonoja	115	52	124	20	80	68	137	153	92	132	80	19	67	23
44 Huhtisuonoja	127	24	134	21	74	60	191	280	201	192	117	23	89	21
51 Kesselinpuro	78	31	111	7	70	42	104	43	71	48	89	16	51	14
52 Kuokkalanaja	111	68	124	11	93	37	112	68	98	61	120	21	70	22
53 Mustapuro	88	33	96	15	115	53	128	82	96	80	123	23	78	30
61 Korpijoki			149	23	82	3	135	105	148	92	85	20	86	28
71 Ruunapuro	91	17	88	32	99	46	112	93	90	45	101	48	100	23
72 Heinäjoki	109	15	126	21	101	17	133	194	111	89	130	112	107	21
81 Haapajyrä	48	139	70	64	29	67	30	54	141	9	56	93	25	19
82 Kainastonluoma			53	11	26	38	31	56	83	10	41	75	18	16
83 Kaidesuoma					65	13	63	75	120	43	83	60	102	35
84 Norrskogsdiket							24	148	142	21	103	50	23	71
85 Sulvanjoki									130	33	79	140	21	18
91 Tuuraoja	78	7	75	34	50	24	96	37	121	38	43	28	69	39
92 Tujuoja	88	5											70	57
93 Pahkaoja			165	26	70	38	106	43	156	60	56	10	77	13
94 Kuikkisenoja									93	19	17	26	26	24
101 Huopakinoja	86	20	131	28	58	33	139	49	109	24			67	31
102 Vääräjoki			173	28	98	60	218	73	107	73	140	79	254	54
103 Myllypuro									156	159	157	35	191	42
111 Kuusivaaranpuro	192	85	154	36	61	35	133	43	97	24	55	52	209	73
112 Lismanoja					82	4	127	31	86	15			184	45
113 Korintteenoja							139	49	205	26				
114 Vähä-Askanjoki			192	31	93	141	180	86	195	63	87	85	216	78
115 Hourukoskenoja							33	29	46	29	46	20	39	21
116 Myllyoja							124	28	133	32	83	92	132	65



Kuva 4. Kevät- ja kesäylivalumien sattumisajan jakautuminen havaintoalueilla. Ylivalumien rajana 1.6.

Fig. 4. Dates of spring and summer maximum runoffs in research basins; spring/summer separation date is June 1.

vain kahden viikon välein, on lumen häviämisen ajankohtaa määritettäessä käytetty apuna valumahavaintoja, jotka erittäin tarkasti osoittavat sulamisen päättymisen päivämäärän. Niin kauan kuin lunta on vielä merkittäviä määriä, on pienten alueiden valumahavainnoissa selvä vuorokausivaihtelu. Päivämäärän t_0 määrittämiseen ovat vaikuttaneet lumen sulamisen päättymisen lisäksi myös joissakin tapauksissa sateet. Rajapäivämäärää ei ole haluttu sijoittaa keskelle usean vuorokauden pituista sadejaksoa, koska tällöin varsinkin sateen aiheuttaman valunnan erottaminen lumensulamisesta aiheutuneesta valunnasta (kuva 3) olisi vaikeaa. Päivämäärä t_0 on siirretty sateen päättymisen jälkeen.

Syksyvaluntaan ei ole laskettu mahdollista marraskuun aikana tapahtunutta, lokakuun aikana sattuneiden sateiden aiheuttamaa resessiovaluntaa. Valuma on hydrologisten vuosien vaihteessa ollut pieni.

Taulukossa 4 on esitetty vuosittain havaitut suurimmat lumen sulamisen aikana sattuneet vuorokausivalumat (kevätylivalumat) ja vastaa pelkästään sateesta aiheutuneet valumat (kesäylivalumat). Lumen sulamisen päättymispäivämäärä on näiden ylivalumien rajana. Kuvasta 4 ilmenevät ylivalumien sattumisajat eri havaintoalueilla. Kevätylivaluma on sattunut huhti-toukokuussa, pohjoisimmilla alueilla noin kuukautta myöhemmin kuin eteläisimmillä alueilla. Tavallisimmin kevätylivaluma sattuu maan etelä- ja keskiosissa huhtikuun puolen välin tienoilla. Sateen aiheuttama kesäylivaluma saattaa sattu a mihin aikaan tahansa

Table 5. Minimum runoff Nq (1/s km²) in research basins. y_7 = daily winter minimum runoff, y_8 = daily summer minimum runoff, y_9 = 30 days winter minimum runoff, y_{10} = 30 days summer minimum runoff, y_{11} = ratio between mean y_7 and y_9 , y_{12} = ratio between mean y_8 and y_{10} , y_{13} = ratio between mean y_{10} and y_9 .

1961				1962				1963				1964				y_{11}	y_{12}	y_{13}
y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_7	y_8	y_9	y_{10}			
								4,47	3,09	4,71	3,39	2,88	1,84	3,48	2,16	0,90	0,89	0,68
								1,83	0,77	2,06	1,10	1,49	1,01	1,96	1,65	0,83	0,65	0,68
0,96	0,23	4,28	0,99	0,67	0,00	0,89	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	0,18	0,00	0,31	0,21	0,19
3,48	0,42	4,02	2,15	0,91	0,89	1,14	2,33	0,11	0,00	0,41	0,06	0,00	0,00	0,01	0,04	0,79	0,30	0,68
3,30	0,49	3,89	1,97	1,20	0,98	1,57	2,66	0,37	0,05	0,56	0,18	0,00	0,01	0,02	0,12	0,79	0,33	0,68
1,23	0,25	2,79	1,72					0,00		0,02		0,14	0,00	0,33	0,11	0,44	0,14	0,59
2,38	0,86	4,82	1,12	1,63	1,49	1,87	2,21	1,92	0,79	1,95	1,09	0,86	0,73	0,86	0,90	0,72	0,71	0,48
4,85	0,43	8,31	0,87	2,57	2,25	3,29	4,18	1,04	0,31	1,25	0,59	0,22	0,43	0,35	1,17	0,64	0,52	0,45
3,54	1,22	4,80	1,95	2,19	1,87	2,78	5,57	2,08	0,21	2,08	0,51	0,86	0,30	1,17	0,70	0,80	0,42	0,87
2,08	2,32	4,08	5,20	1,80	3,63	2,80	7,22	1,18	0,73	1,37	0,91	0,73	0,44	0,74	0,79	0,63	0,57	1,80
1,70	0,67	1,91	2,17	0,37	0,98	0,57	3,89	0,12		0,20		0,17	0,15	0,29	0,21	0,79	0,35	1,56
2,52	0,72	2,56	2,92	1,24	0,85	1,40	3,44	0,72	0,00	1,02	0,67	0,72	0,06	1,16	0,16	0,80	0,32	0,91
2,67	2,33	2,94	4,38	2,00	2,85	2,24	5,64	1,01	0,77	1,22	2,85	1,18	0,49	1,49	1,18	0,90	0,54	1,39
1,04	1,15	1,06	2,41	0,75	1,90	0,87	3,49	0,25	0,03	0,37	0,20	0,15	0,08	0,48	0,35	0,79	0,48	2,13
2,34	1,29	2,78	3,35	1,68	1,11	1,71	2,94	1,14	0,04	1,44	0,49	0,80	0,17	0,84	0,65	0,77	0,42	1,00
2,46	0,96	3,13	4,18	1,44	1,04	1,74	3,26	0,77	0,17	0,92	0,46	0,49	0,26	0,66	0,69	0,83	0,34	1,12
0,79	0,57	1,43	1,36	0,26	0,02	0,62	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,55	0,29	0,96
1,65	1,21	2,14	2,18	0,90	0,27	1,09	0,80	0,20	0,00	0,25	0,09	0,06	0,06	0,20	0,16	0,75	0,43	0,94
1,59	1,78	1,85	3,28	0,77	0,91	1,29	2,76	0,29	0,00	0,39	0,02	0,48	0,00	0,52	0,13	0,76	0,40	1,56
1,27	0,41	2,58	1,78	1,10	0,13	2,19	0,64	0,53	0,00	0,67	0,05	0,12	0,00	0,35	0,21	0,52	0,28	0,46
				0,94	0,25	1,56	1,43	0,03	0,00	0,09	0,00	0,05	0,00	0,14	0,01	0,57	0,17	0,80
0,60	0,51	0,86	1,52	0,77	0,50	1,98	1,13	0,68	0,07	0,68	0,34	0,17	0,43	0,23	0,84	0,58	0,32	1,24
								0,03		0,12		0,22	0,09	0,27	1,14	0,82	0,22	1,66
1,21	1,21	1,55	2,42	1,06	1,09	1,34	2,54	0,07	0,00	0,27	0,02	0,13	0,00	0,34	0,09	0,71	0,44	1,75
1,29		1,48		0,09	0,42	1,73	1,15	0,05	0,05	0,11	0,21	0,19	0,05	0,29	0,56	0,50	0,38	1,34
0,86	0,99	0,86	2,92	0,99	0,93	1,50	2,47	0,00	0,07	0,00	0,29		0,04		0,27	0,79	0,35	1,90
1,51	2,99	2,01	7,46	2,51	6,28	2,68	8,43	2,73	0,00	2,74	4,44	1,87	3,20	2,88	6,53	0,87	0,49	2,21
1,42		1,62		1,29	7,38	1,91	11,15	0,79	0,00	0,95	1,51	1,13	0,93	1,52	3,31	0,77	0,56	3,93
0,94	1,40	1,05	3,73	1,52	2,10	2,14	3,48	0,50	1,52	0,68	2,41	1,38	1,20	1,38	3,50	0,86	0,52	2,05
0,06	1,92	0,06	3,76	0,87	1,19	1,16	2,72					0,35	1,94	0,59	2,21	0,71	0,54	4,39
0,88	4,94	1,26	7,95	1,94	3,83	2,07	6,16									0,85	0,62	4,24
2,65	5,21	2,78	11,36	2,68	5,21	2,69	8,46	1,98	3,98	2,16	6,28	2,44	2,64	2,68	6,46	0,86	0,55	2,75
	5,12	10,21		1,71	6,52	2,16	8,02	0,53	5,49	1,13	6,54	1,43	9,50	1,70	11,26	0,74	0,74	5,17
	6,41	8,55		3,77	6,02	3,93	8,22	2,84	6,43	3,32	10,81	3,03	5,39	3,20	7,99	0,92	0,68	2,59

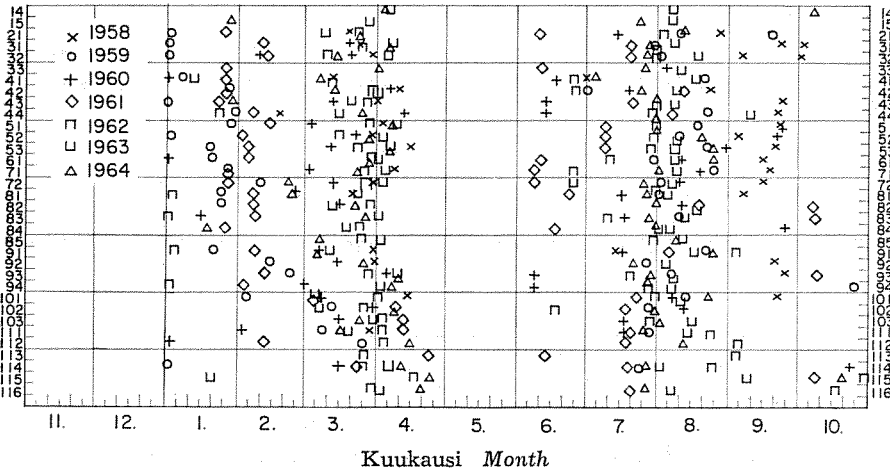
kesän ja syksyn kuluessa. Muutamassa harvassa tapauksessa kalenterivuoden aikana havaittu suurin sadeylivaluma on sattunut marras-joulukuussa, mutta näitä tapauksia ei ole otettu huomioon.

Taulukossa 5 on esitetty vuoden talvi- ja kesäpuoliskojen aikana sattuneet alivalumat. Paitsi kummankin jakson pienintä vuorokausivalumaa on esitetty myös pienin 30 vuorokauden keskivaluma. Lisäksi taulukkoon on laskettu talviaikaisen yhden vuorokauden keskialivaluman ja 30 vuorokauden keskialivaluman suhde, sama suhde kesäaikaisista alivalumista sekä 30 vuorokauden kesäaikaisen ja talviaikaisen keskialivaluman suhde.

Kuvassa 5 on esitetty yhden vuorokauden alivalumien sattumisajan jakautuminen eri havaintoalueilla. Talvialivaluma sattuu pohjoisimmilla alueilla jonkin verran myöhemmin kuin eteläisimmillä. Alivalumat voivat sattuua koko maassa hyvin eri aikoina eri vuosina. Useimmin talvialivaluma sattuu maaliskuu-huhtikuun vaihteessa ja kesäalivaluma elokuussa.

Valunnan määrittämisessä syntyvistä virheistä osa on jatkuvia systemaattisia ja osa tilapäisiä. Systemaattisista virhemahdollisuuksista tärkeimmät ovat virheellinen valuma-alueen ala ja virheellinen purkautumiskäyrä. Huolellisella, oikaistuja ilmakuvia ja vaaituskojetta apuna käyttäen suoritettulla maastotutkimuksella voidaan päästä useiden neliökilometrien suuruisilla alueilla muutamien prosenttien tarkkuuteen alan määrittämisessä. Ratkaiseva varmistus alan määrittämiselle on saatu 22 alueella peruskartoitusaineistosta tai topografisesta kartasta. Maastotutkimuksen perusteella ei yhdelläkään alueella ole aihetta epäillä, että maanalainen vedenjakaja poikkeaisi sanottavasti maanpäällisestä. Irtainten maalajikerrosten vahvuus on Suomessa yleensä pieni, ja kallio on suhteellisen varma vedenjakaja. Alueella 112 suoritettujen valumahavainnot viittaavat kuitenkin siihen, että mittapato ei mittaa kaikkia tältä alueelta valuvia vesiä.

Purkautumiskäyrän esittämä vedenkorkeuden ja virtaaman vuorosuhde on mittapadoilla määritetty laskennallisesti käyttämällä aukon tarkkoja mittoja ja suhteellisesta vedenkorkeudesta riippuvaa purkautumiskertoimen arvoa. Tällainen analyyttinen menetelmä on tarkka edellyttäen, että purkautumiskertoimen arvo onnistutaan määrittämään oikein ja purkautumisolosuhteet mittapadolla säilyvät vakioina. Vaikka purkautumiskertoimen määrittämisessä käytettyjen virtaamamittaustulosten hajonta on verraten suuri (Mustonen 1965b) ovat purkautumiskertoimen arvot suhteellisen luotettavia suuren määrän ansiosta. On tärkeää, että veden tulonopeus ylisyyksypadolla on riittävän pieni ($< 0,30$ m/s) ja ilman pääsy vesisyöksyn alle on vapaa, koska pur-



Kuva 5. Alivalumien sattumisajan jakautuminen havaintoalueilla.

Fig. 5. Dates of winter and summer minimum runoffs in research basins.

kautumiskertoimen arvot on määritetty näissä olosuhteissa. Purkautumisolosuhteiden jatkuva tarkkailu ja aukon mittojen sekä asteikkojen korkeuden tiheästi toistuvat tarkistusmittaukset oikeuttavat pitämään vedenkorkeuden ja virtaaman välistä vuorosuhdetta muutamien prosenttien tarkkuudella luotettavana. On huomattava, että maasto-olosuhteissa ei kylmässä ilmastossamme päästä ilman kohtuuttomia kustannuksia kovin suureen tarkkuuteen.

Systemaattisena virheenä voidaan pitää myös asteikon ja piirturi-paperin lukemistarkkuudesta aiheutuvaa virhettä. Vaikka asteikot luetaan millimetrin tarkkuudella, saadaan vedenkorkeus 1:5 piirtosuhteella toimivan piirturin paperilta ainoastaan viiden millimetrin tarkkuudella, ja tämän perusteella on purkautumistaulukot yleensä laskettu myös viiden millimetrin jaolle. Tästä aiheutuu varsinkin tasaisena pysyvän vedenkorkeuden aikana virhe, joka on absoluuttisesti erittäin pieni, mutta merkitsee alivaluman arvossa jopa 2-3 prosentin virhettä. Vedenkorkeuden vaihdellessa tämä lukematakkauudesta aiheutuva virhe on merkityksetön.

Tilapäisiä virheitä saattaa valumahavaintoihin tulla häiriötekijöiden vaikuttaessa vedenkorkeuteen. Tavallisin tapaus on veden padottuminen patoaukkoon tulleen esteen, kuten ajautuneiden puiden tai roskien, aukon jäätyminen tai vastaavan syyn takia. Jos aukon päälle jäätyy tiivis kansi, saattaa ylisyoöksypato toimia lappona ja alentaa luonnollista vedenkorkeutta. Kaikkien näiden virhelähteiden havaitseminen on suh-

teellisen helppoa ja myös havaintojen redusoiminen luonnontilaisiksi on mahdollista varsinkin silloin, kun valuma ei suuresti vaihtelee. Muut tässä mainitsematta jääneet virhelähteet ovat merkityksettömiä edellä esitettyihin verrattuna.

1.3 Sadantahavainnot

Hydrologisilla havaintoalueilla on suoritettu sadehavaintoja Ilmatieteellisen keskuslaitoksen hoidossa olevilla kokovuotisilla, aamuisin klo 8 havaittavilla Nipherin tuulensuojuksella varustetuilla Wildin sademittareilla. Alueilla on suoritettu sadehavaintoja muutamien kesien aikana 31 piirtävällä sademittarilla, mutta näitä havaintoja ei käytetä tässä tutkimuksessa. Käytetyt sademittarit on lueteltu taulukossa 6.

Suurimpana sadehavaintojen tarkkuutta huonontavana tekijänä Suomen ilmastossa on lumena tulevan sadannan mittauksessa tuulen vaikutuksesta syntyvä virhe. Vaikka sademittari varustetaan tuulensuojuksella, on sademittarin keräämän sadannan määrä paikan tuulisuhteista riippuen huomattavastikin pienempi kuin todellinen sadanta. V. V. Korhonen (1944, 1945) on kehittänyt menetelmän lumisadehavaintojen korjaamiseksi mittarin paikan aukeuden ja tuulen suunnan jakautumisen perusteella laskettavan kertoimen avulla. Tässä tutkimuksessa ei ole käytetty Korhosen menetelmää lumisadehavaintojen korjaamisessa, koska havaintoalueilla on suoritettu säännöllisin väliajoin lumihavaintoja (Mustonen 1965a), joita on voitu käyttää hyväksi korjauskertoimia laskettaessa. Taulukossa 6 esitetyt kunkin sademittarin korjauskertoimet on määritetty siten, että ensin on redusoitu maaliskuun 15. päivänä mitattu lumilinjän lumen vesi-arvo vastaamaan harvan havumetsän (kuutiomäärä 1...29 m³/ha) lumen vesi-arvoa. Tämä on tehty käyttäen eri puustoluokkien suhteellisia lumen vesi-arvoja (Mustonen 1965a). Tästä vesi-arvosta on vähennetty vastaavalla tavalla redusoitu joko marraskuun, joulukuun tai tammikuun lopussa mitattu lumen vesi-arvo riippuen suoja-äiden esiintymisestä alkutalven aikana. Lumisadehavaintojen korjauskerroin (taulukko 6) on määritetty näin lumilinjahavaintojen avulla saadun sadannan ja vastaavan ajanjakson sademittarihavaintojen osamääränä. Tämä menettely on periaatteessa sama kuin Korhosen käyttämä. Korhonen on tutkinut joulu...helmikuun käsittävän ajanjakson sadantaa. Suoja-äiden esiintyminen on tässä yhteydessä todettu lämpötila- ja valumahavainnoista. Havaintoja on hylätty, jos suoja-äät ovat vaikuttaneet lumipeitteeseen. Tässä, kuten Korhosenkin tutkimuksessa, on haihtuminen jätetty ottamatta huomioon. Keskitalven aikana haihtuminen hyvin harvassa metsässä on joka tapauksessa erittäin vähäistä verrattuna muihin mahdollisiin menetelmän virhelähteisiin.

Taulukko 6. Hydrologisten havaintoalueiden aluesadannan määrittämisessä käytetyt sadeasemat, niiden koordinaatit, ajanjakso, jolta havaintoja on käytetty sekä talvihavaintojen korjauskerroin.

Table 6. Precipitation stations used in research basins, coordinates of stations, periods when observations were taken, and coefficient for correcting winter precipitation.

Sadeasema <i>Precipitation station</i>	Hydrologinen havainto-alue <i>Research basin</i>	Sadeaseman koordinaatit <i>Coordinates of stations</i>		Havaintoaika <i>Period</i>	Talvisadannan korjauskerroin <i>Correction coefficient of winter precipitation</i>
		leveys <i>latitude</i>	pituus <i>longitude</i>		
Vihti, Suontaa	14, 15	60° 25'	24° 23'	11. 1961...	1,10
Kokemäki, Peipohja	21	61° 17'	22° 14'	11. 1956...	1,20
Kokemäki, Krannila	21	61° 15'	22° 17'	7. 1961...	1,00
Orivesi	31, 32	61° 40'	24° 21'	1. 1958...	1,05
Ikaalinen, Kurkela	33	61° 44'	22° 47'	9. 1960...	1,30
Ikaalinen, Vehuvarpee	33	61° 44'	22° 49'	10. 1961...	1,05
Valkeala, Kiehuva	41	60° 51'	26° 45'	6. 1961...	1,00
Valkeala, Utti	41	60° 54'	26° 54'	11. 1956...	1,15
Valkeala, Saarento	41	60° 54'	26° 43'	11. 1956...	1,15
Virolahti, Harju	42	60° 32'	27° 33'	11. 1956...	1,00
Virolahti, Nopala	42	60° 38'	27° 26'	6. 1961...	1,15
Ruokolahti, Kinni	43, 44	61° 22'	28° 40'	11. 1956...	1,05
Ruokolahti, Latosuo	43, 44	61° 22'	28° 45'	11. 1956...	1,05
Kuusjärvi, Alavi	51	62° 40'	29° 01'	11. 1956...	1,25
Kuusjärvi, Viurunieniemi	51	62° 37'	28° 55'	2. 1961...	1,50
Kuusjärvi, Outokumpu	52	62° 43'	29° 01'	11. 1956...12. 1961	1,10
Kuusjärvi, kirkonkylä	52	62° 42'	28° 55'	1. 1962...	1,20
Kuusjärvi, Makumäki	53	62° 47'	29° 06'	12. 1961...	1,00
Kuusjärvi, Perttilahti	53	62° 48'	29° 11'	4. 1958...	1,10
Kiuruvesi, Niemiskylä	61	63° 44'	26° 19'	1. 1959...11. 1961, 6. 1962...	1,25
Pyhäjärvi, Liittoperä	61	63° 45'	26° 13'	11. 1957...12. 1958, 10. 1961...	1,20
Laukaa, Äijälä	71	62° 30'	26° 01'	4. 1958...	1,15
Laukaa, Nurmijärvi	71	62° 32'	26° 01'	9. 1961...	1,00
Korpilahti, Pykälämäki	72	62° 09'	25° 24'	4. 1958...	1,10
Korpilahti, Varrasmäki	72	62° 08'	25° 23'	9. 1961...	1,10
Ylistaro, koeasema	81, 82	62° 57'	22° 30'	11. 1956...	1,15
Ylistaro, Jääskänjoki	81, 82	62° 54'	22° 32'	7. 1961...	1,00
Alavus, Jokivarsi	83	62° 32'	23° 39'	10. 1959...	1,10
Alavus, Kattelus	83	62° 29'	23° 46'	9. 1961...	1,10
Ylimarkku	84	62° 37'	21° 28'	9. 1960...	1,10

Sadeasema <i>Precipitation station</i>	Hydro- loginen havainto- alue <i>Research basin</i>	Sadeaseman koordi- naatit <i>Coordinates of stations</i>		Havaintoaika <i>Period</i>	Talvisadan- nan korjaus- kerroin <i>Correction coefficient of winter precipitation</i>
		leveys <i>latitude</i>	pituus <i>longitude</i>		
Ylimarkku, Rävsbäck	84	62° 37'	21° 28'	6. 1961...	1,30
Sulva, Ö-Solf	85	63° 00'	21° 40'	1. 1962...9. 1964	1,40
Alavieska, Kähtävä	91	64° 07'	24° 20'	11. 1956...6. 1961	1,30
Kalajoki, Pitkänen	91	64° 14'	24° 01'	5. 1958...	1,30
Kalajoki, Metsäkylä	91	64° 17'	24° 12'	7. 1961...	1,20
Haapajärvi, maatalouskoulu	92	63° 45'	25° 20'	11. 1956...10. 1961, 2. 1962...	1,20
Haapajärvi	92	63° 46'	25° 19'	1. 1957...9. 1962	1,20
Lestijärvi, Purola	93	63° 27'	24° 27'	11. 1957...	1,20
Lestijärvi, Hautakoski	93	63° 26'	24° 30'	9. 1961...	1,10
Kälviä	94	63° 54'	23° 26'	9. 1961...	1,20
Kaarlela, Vittsar	94	63° 51'	23° 12'	11. 1957...8. 1961	1,20
Pattijoki, Jokela	101	64° 40'	24° 36'	5. 1958...	1,25
Pattijoki, Ylipää	101	64° 39'	24° 40'	12. 1961...	1,00
Kuusamo, Maanselkä	102	65° 54'	29° 02'	5. 1958...	1,30
Kuusamo, Porosaari	102	65° 56'	29° 11'	12. 1961...	1,30
Hyrnsalmi, kirkonkylä	103	64° 42'	28° 37'	9. 1959...	1,30
Hyrnsalmi, Hoikka	103	64° 43'	28° 40'	1. 1962...	1,30
Salla, Kursu	111	66° 46'	28° 09'	11. 1956...	1,05
Salla, Salmivaara	111	66° 47'	28° 17'	3. 1962...	1,25
Sodankylä, observatorio	112	67° 22'	26° 39'	11. 1957...9. 1961, 6. 1963...7. 1963	1,30
Sodankylä, Torvinen	112	67° 15'	26° 32'	10. 1961...5. 1963, 8. 1963...	1,15
Rovaniemi, Juotasniemi	113	66° 19'	26° 57'	2. 1961...	1,50
Rovaniemi, Pekkala	113	66° 21'	26° 50'	11. 1958...	1,50
Kemijärvi, Jumisko	114	66° 31'	27° 47'	11. 1958...	1,55
Kemijärvi, Lehtola	114	66° 34'	27° 42'	11. 1961...	1,35
Kolari, Äkäsjoki	115	67° 31'	23° 52'	9. 1961...	1,25
Savukoski, kirkonkylä	116	67° 17'	28° 10'	9. 1961...	1,00

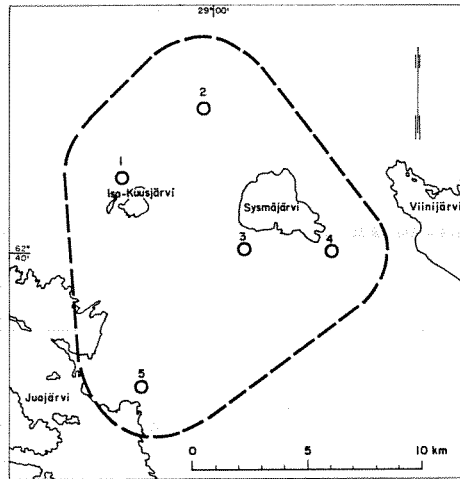
1) Lisäksi on tilapäisesti käytetty seuraavia asemia:

The following stations were used temporarily:

Juupajoki, Hyytiälä (31, 32); Ikaalinen, Isoröyhiö (33); Jyväskylä, Keljo (72); Ähtäri (83); Pirttikylä (84); Vaasa, lentokenttä (85); Raahe (101); Kuusamo kk. (102); Kolari kk. (115); Savukoski, Martti (116).

Kuva 6. Aluesadannan määrittämisen keskiarvoa tutkittaessa käytetyt sadeasemat Kuusjärvellä.

Fig. 6. Precipitation stations in Kuusjärvi used studying the standard error in basin precipitation.



Kunkin hydrologisen havaintoalueen aluesadanta on laskettu taulukossa 6 esitettyjen sadeasemien havaintojen keskiarvoina, joita on korjattu talvihavaintojen osalta kertomalla taulukossa esitetyillä kertoimilla. Koska eri osissa maata lumi- ja vesisadannan suhde on erilainen, on 1. 11...15. 3. välisen ajan sadannasta jätetty korjaamatta 20 millimetrin sadanta alueilla 14...42 ja 10 millimetrin sadanta alueilla 43...101. Samoin maaliskuun 16. päivän ja lumen sulamisen päättymisen välisen ajan sadannasta on jätetty korjaamatta puolet kaikilla alueilla. Lopulliset aluesadannan arvot on esitetty taulukoissa 7 ja 8.

Koska aluesadannan arvot ovat kolmen tai kahden sademittarin havaintojen keskiarvoja ja joissain tapauksissa yhden ainoan mittarin havaintoja, on syytä selvittää aluesadannan määrittämisen tarkkuutta. Näissä olosuhteissa saavutettavissa olevan tarkkuuden havainnollistamiseksi on tutkittu hypoteettista noin 150 km² suuruista valuma-aluetta, jolla sijaitsee viisi sadeasemaa (kuva 6). Kaikilta sadeasemilta on havainnot kolmelta vuodelta (1962...1964). On tarkasteltu ainoastaan vuoden kesäpuoliskon (touko...lokakuun) sadantaa, koska lumisadehavaintojen tarkkuudessa ratkaisevasti tärkein tekijä on mittarin paikan tuulensuojaisuus. Talviaikana sateet ovat alueellisesti tasaisempia kuin kesällä. Voidaan hyvällä syyllä väittää sadeasemien lukumäärän olevan tärkeämpi tekijä kesällä kuin talvella. Tässä tarkastelussa on aluesadanta oletettu yhtä suureksi kuin viiden sademittarin havaintojen aritmeettinen keskiarvo. Tämän oletuksen paikkansapitävyyttä on vaikea kontrolloida. Eräällä noin 600 km² suuruisella valuma-alueella Ohiossa on tutkittu sadeasemien lukumäärän vaikutusta aluesadannan keskiarvoheeseen (Linsley, Kohler ja Paulhus 1958). Tämän tutkimuksen

Taulukko 7. Aluesadanta (mm) hydrologisilla havaintoalueilla. x_7 = talvisadanta (1.11....15.3.), x_8 = kevätsadanta (16.3.... t_e), x_9 = kesäsadanta (t_{e+1} ...31.7.), x_{10} = syksysadanta (1.8....31.10). t_e = lumen sulamisen päättymispäivämäärä.

Havaintoalue <i>Research basin</i>	1957				1958				1959			
	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_7	x_8	x_9	x_{10}
14 Teeressuonoja												
15 Kylmänoja												
21 Löytäneenoja	158	17	192	259	143	4	175	104	203	27	54	116
31 Paunulanpuro	228	30	248	253	206	41	157	96	183	40	106	188
32 Siukolanpuro	228	30	248	253	206	41	157	96	183	40	106	188
33 Katajaluoma												
41 Niittyjoki	260	33	182	284	205	45	151	136	272	47	92	107
42 Ravijoki	339	51	152	369	224	67	152	138	320	55	84	109
43 Latosuonoja	260	37	187	347	201	64	142	153	276	59	129	188
44 Huhtisuonoja	260	37	187	347	201	64	142	153	276	59	129	188
51 Kesselinpuro	228	52	200	242	217	86	154	146	216	70	93	154
52 Kuokkalanaja	189	44	171	263	197	86	165	139	241	72	94	172
53 Mustapuro	189	44	171	263	194	85	157	123	231	61	107	141
61 Korpijoki					216	53	102	84	204	67	117	229
71 Ruunapuro	216	19	184	332	214	90	140	130	190	58	135	176
72 Heinäjoki	191	56	190	270	220	86	136	120	233	55	117	202
81 Haapajyrä	142	52	207	200	166	68	121	114	135	50	65	199
82 Kainastonluoma	142	52	207	200	166	68	121	114	135	50	65	199
83 Kaidesuoma					174	53	184	113	245	31	65	180
84 Norrskogsdiket									181	42	62	168
85 Sulvanjoki												
91 Tuuraaja	152	10	216	229	149	30	182	80	168	36	86	188
92 Tujuoja	141	99	169	195	143	22	155	76	135	39	100	196
93 Pahkaoja					191	20	184	148	198	69	84	217
94 Kuikkisenoja					121	32	168	99	177	32	100	178
101 Huopakinoja	210	14	170	217	235	50	167	66	167	49	90	193
102 Vääräjoki					228	75	170	115	185	73	89	158
103 Myllypuro					262	93	186	109	195	72	133	165
111 Kuusivaaranpuro	120	17	206	105	121	73	172	115	171	52	69	161
112 Lismanoja					159	90	146	94	191	41	67	143
113 Korintteenoja									285	97	71	177
114 Vähä-Askanjoki									225	67	81	195
115 Hourukoskenoja												
116 Myllyoja												

Table 7. Precipitation (mm) in research basins. x_7 = winter precipitation (1.11...15.3),
 x_8 = spring precipitation (16.3... t_e), x_9 = summer precipitation (t_{e+1} ...31.7),
 x_{10} = autumn precipitation (1.8...31.10). t_e is the date of the end of snowmelt.

1960				1961				1962				1963				1964			
x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_7	x_8	x_9	x_{10}
								322	65	195	298	240	16	124	281	150	18	124	184
								322	65	195	298	240	16	124	281	150	18	124	184
163	9	127	182	236	26	260	183	224	56	111	198	131	31	157	255	130	10	107	188
204	66	175	96	252	42	258	183	218	60	166	214	156	54	116	263	124	39	131	153
199	66	175	96	252	42	258	183	218	60	166	214	156	54	116	263	124	39	131	153
				318	25	285	212	250	60	199	224	149	46	145	284	118	40	89	185
187	42	224	185	269	44	171	150	289	75	206	322	219	16	96	219	140	19	97	177
214	86	177	219	337	58	137	145	321	127	171	351	224	8	105	266	193	22	109	201
169	59	239	202	255	68	154	240	210	83	178	337	193	5	100	187	136	32	86	228
169	59	239	202	255	68	154	240	210	83	178	337	193	5	100	187	136	32	86	228
159	63	205	114	248	90	143	157	222	91	154	279	184	64	136	181	166	56	92	149
172	57	226	115	278	82	186	175	246	79	148	267	178	62	120	200	189	51	105	174
181	55	202	102	282	74	242	181	211	79	181	281	177	64	132	170	173	46	120	164
134	64	131	129	207	63	214	192	205	92	179	180	135	37	96	201	143	52	119	159
164	77	217	110	235	58	177	191	190	52	173	210	156	51	67	241	136	44	127	186
168	67	176	118	251	61	255	199	205	70	165	238	197	52	102	302	156	46	160	203
128	20	199	180	203	18	259	152	177	59	122	173	126	14	102	273	116	14	96	185
128	20	199	180	203	18	259	152	177	59	122	173	126	14	102	273	116	14	96	185
147	17	175	140	186	17	240	175	183	52	184	210	151	22	107	267	145	16	98	199
190	20	144	190	259	11	235	210	264	72	127	192	141	25	91	297	108	16	149	237
				272	10	235	191	289	77	160	161	145	23	91	292	108	17	110	173
139	17	136	143	224	61	150	132	238	56	168	135	102	33	144	160	137	32	106	207
93	16	159	180	181	86	205	154	157	43	207	135	96	21	78	156	107	44	86	193
112	22	201	144	232	50	214	155	195	66	187	174	134	28	93	166	141	44	104	173
118	32	143	127	214	56	158	115	216	70	119	153	100	33	86	226	138	38	91	188
120	16	162	104	219	75	195	143	190	78	139	122	79	19	97	181	100	58	91	179
131	36	136	79	204	114	143	159	220	130	163	208	147	56	157	195	178	81	152	191
175	72	170	144	248	119	171	175	355	112	217	241	131	56	131	170	179	150	97	176
150	50	131	145	185	86	119	192	232	149	110	138	114	26	153	187	184	45	128	290
166	41	160	98	195	58	187	217	177	95	162	129	126	22	143	181	170	48	111	226
238	59	140	142	213	106	182	188	219	135	126	147	165	44	131	129	231	68	138	243
185	51	134	144	240	121	167	209	276	194	130	145	162	23	176	178	228	65	132	231
192	46	107	93	182	70	182	184	162	93	105	155	135	26	131	162	121	50	156	183
127	22	102	57	142	88	115	178	158	111	153	125	132	33	207	186	156	70	143	269

Table 8. Precipitation (mm) in research basins. $x_{11} = x_7 + x_8 =$ winter and spring precipitation (1. 11... t_e), $x_{12} = x_9 + x_{10} =$ summer and autumn precipitation (t_{e+1} ...31. 10.), $x_{13} = x_{11} + x_{12} =$ annual precipitation (1. 11...31.10.). t_e is the date of the end of snowmelt.

1960			1961			1962			1963			1964		
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
						387	493	880	256	405	661	168	308	476
						387	493	880	256	405	661	168	308	476
172	309	481	262	443	705	280	309	589	162	412	574	140	295	435
270	271	541	294	441	735	278	380	658	210	379	589	163	284	447
270	271	541	294	441	735	278	380	658	210	379	589	163	284	447
			343	497	840	310	423	733	195	429	624	158	274	432
229	409	638	313	321	634	364	528	892	235	315	550	159	274	433
300	396	696	395	282	677	448	522	970	232	371	603	215	310	525
228	441	669	323	394	717	293	515	808	198	287	485	168	314	482
228	441	669	323	394	717	293	515	808	198	287	485	168	314	482
222	319	541	338	300	638	313	433	746	248	317	565	222	241	463
229	341	570	360	361	721	325	415	740	240	320	560	240	279	519
236	304	540	356	423	779	290	462	752	241	302	543	219	284	503
198	260	458	270	406	676	297	359	656	172	297	469	195	278	473
241	327	568	293	368	661	242	383	625	207	308	515	180	313	493
235	294	529	312	454	766	275	403	678	249	404	653	202	362	564
148	379	527	221	411	632	236	295	531	140	375	515	130	281	411
148	379	527	221	411	632	236	295	531	140	375	515	130	281	411
164	315	479	203	415	618	235	394	629	173	374	547	161	297	458
210	334	544	270	445	715	336	319	655	166	388	554	124	386	510
			282	426	708	366	321	677	168	383	551	125	283	408
156	279	435	285	282	567	294	303	597	135	304	439	169	313	482
109	339	448	267	359	626	200	338	538	117	234	351	151	279	430
134	345	479	282	369	651	261	361	622	162	259	421	185	277	462
150	270	420	270	273	543	286	272	558	133	312	445	176	279	455
136	266	402	294	338	632	268	261	529	98	278	376	158	270	428
167	236	403	318	332	650	350	371	721	203	352	555	259	343	602
247	314	561	367	346	713	467	458	925	187	301	488	329	273	602
201	276	477	271	311	582	381	248	629	140	340	480	229	418	647
201	258	465	253	404	657	262	291	553	148	324	472	218	337	555
236	278	514	319	370	689	354	273	627	209	260	469	299	381	680
238	200	438	361	376	737	470	275	745	185	354	539	293	363	656
149	159	308	252	366	618	255	260	515	161	293	454	171	339	510
297	282	579	230	293	523	269	278	547	165	393	558	226	412	638

Taulukko 9. Aluesadannan määrityksessä syntyvä keskivirhe sadeasemien luvun ja sadantajakson pituuden vaihdellessa.

Table 9. Standard error in average rainfall in basin as a function of the number of stations and of the rainfall period duration.

Sadeasemien luku <i>Number of stations</i>	Sadantajakson pituus <i>Rainfall period duration</i>	Keskivirhe prosentteina sadannasta <i>Standard error in average rainfall (%)</i>	
		vaihtelurajat <i>ranges</i>	keskiarvo <i>mean</i>
1	1...5 vrk <i>days</i>	11...21	16
1	1 kk <i>month</i>	6...16	11
1	6 kk <i>months</i>		6
2	1...5 vrk <i>days</i>	6...13	10
2	1 kk <i>month</i>	6... 9	8
2	6 kk <i>months</i>		4

perusteella voidaan arvioida muutamien kymmenien millimetrien suuruisen yksityisen sateen sadannan määrityksen tarkkuuden paranevan noin 3 %, jos käytettäisiin kuvan 6 esittämässä tapauksessa kolminkertaista sadeasemien määrää, jolloin sadeasemia olisi siis 15. Ilmeisesti siis viiden aseman keskiarvo vastaa aluesadantaa virheen ollessa vain joidenkin prosenttien suuruinen. Olettamuksessa tehty virhe on sitä pienempi, mitä pitemmän ajan sadannasta on kysymys. Yksinkertaisuuden vuoksi on käytetty pelkkää aritmeettista keskiarvoa, koska tarkemmat menetelmät, kuten isohyeettimenetelmä, ovat tätä tarkastelua varten liian työläitä, pystymättä silti korjaamaan oleellista puutetta, sadeasemien vähälukuisuutta.

Lyhimmäksi tarkasteltavaksi sadantajaksoksi on valittu 1...5 vrk pituinen yhtenäinen sadejakso. Tarkasteluun on otettu kaikki kolmen kesän aikana sattuneet sadejaksot, joiden aiheuttama valunta jollakin kolmesta Kuusjärvellä sijaitsevasta havaintoalueesta (51...53) on ollut vähintään 5 mm tai joiden sadanta on ollut vähintään 20 mm. On myös tarkasteltu kuukausisadantaa sekä puolen vuoden sadantaa. 1...5 vrk kestäneen sadejakson sadanta on ollut keskimäärin 21,0 mm, kuukausisadanta 58,5 mm ja puolen vuoden sadanta 331 mm. On laskettu sekä yhden sadeaseman että kahden sadeaseman perusteella määritetyn sadannan keskihajonta. Keskihajonta on laskettu kaikille sadeasemille ja asemakombinaatioille. Tarkastelun tulokset on esitetty taulukossa 9. Keskihajonnan vaihtelurajat ilmaisevat yksityisen sadeaseman tai asemakombinaation havaintojen perusteella saadun pienimmän ja suurimman keskihajonnan. Puolen vuoden jaksolle on aineiston vähäisyydestä johtuen voitu laskea vain kaikkien sadeasemien tai asemakombinaatioi-

den keskimääräinen keskihajonta. Parhaimman estimaatin tämän noin 150 km² suuruisen alueen aluesadannalle on antanut keskimäinen sadeasema 3, mikä on luonnollista. Taulukosta 9 todetaan keskihajonnan pienenevän sekä sadantajakson pituuden että sadeasemien luvun kasvassa. Käytettäessä kahden aseman keskiarvoa, havaitaan keskihajonnan pienenevän noin 30 % verrattuna yhden aseman avulla määritetyn aluesadannan keskihajontaan. Teoreettisesti laskien keskiarvon keskivirhe saadaan kertomalla yksityisen havainnon keskihajonta luvulla $1:\sqrt{n}$, jossa n on havaintojen määrä. Kahden aseman ollessa kyseessä saadaan tulokseksi $1:\sqrt{2} = 0,71$ eli sama tulos kuin taulukossa 9. Vastaavasti kolmen sadeaseman havaintojen perusteella määritetyn aluesadannan keskivirhe saadaan kertomalla yhden aseman sadannan keskihajonta luvulla 0,58.

Harkittaessa taulukossa 9 esitettyjen, keskivirhettä koskevien lukujen yleistämismahdollisuuksia on tarkasteltava varsinkin maaston korkeussuhteiden merkitystä aluesadantaan. Kuvan 6 esittämä alue on varsin tasainen (vrt. taulukko 1, alueet 51...53), mikä mahdollistaa 150 km² suuruisen alueen aluesadannan määrittämisen suhteellisen tarkasti jopa yhden sademittarin havaintojen perusteella. Taulukosta 1 todetaan, että 15 havaintoalueella korkeusvaihtelut ovat alle 50 m, 13 alueella 50...100 m ja 6 alueella yli 100 m. Ainoastaan kolmella Lapissa sijaitsevalla alueella paikalliset korkeuserot ovat yli 200 m. Alle 100 metrin korkeusvaihtelut eivät vielä sanottavasti vaikuta sadesuhteisiin. Sen sijaan Lapin alueiden korkeussuhteilla on jonkin verran vaikutusta. Niinpä näillä alueilla tarvittaisiin useampia sademittareita kuin Etelä-Suomessa. Havaitsemisvaikeuksien vuoksi näin ei ole voitu menetellä (taulukko 6), joten Lapin alueiden sadannan arvot ovat tästä syystä epätarkempia kuin Etelä-Suomen alueiden arvot.

Hydrologisen toimiston (Sirén 1964) suorittamissa tutkimuksissa Tornion—Muonionjokeen laskevalla noin 100 km² suuruisella Peerajärven vesistöalueella (68° 50', 21° 10') on mitattu neljällä eri korkeudella sijaitsevalla totalisaattorityyppisellä sademittarilla taulukossa 10 esitetyt sadannan määrät. Havaintojaksoon kuuluvien seitsemän kesäkuukauden aikana ovat sademittarien 1...4 sadannat olleet 225, 229, 274 ja 260 mm. Jos merkitään mittarin 1 sadantaa 100:lla, ovat suhteelliset sadannan arvot 102, 122 ja 116. Kesäaikainen sadanta on siis ollut 200 metriä korkeammalla olevalla mittarilla noin 20 % suurempi (taulukko 10). Talviaikainen sadanta sen sijaan on ollut yli kaksinkertainen vastavassa vertailussa.

Tässä tutkimuksessa käsiteltävillä hydrologisilla havaintoalueilla ei ole järviä, jotka saattaisivat lisätä sadesuhteiden epätasaisuutta.

Taulukko 10. Sadanta eri korkeuksilla sijaitsevien sademittarien perusteella määritettyä Peerajärven alueella (Sirén 1964).

Table 10. Height effect on precipitation in Peerajärvi basin (Sirén 1964).

Sademittari n:o Rain gage No.	Mittarin korkeus merenpinnasta Height of gage above sea level m	Sadanta Precipitation (mm)							
		1962			1962...63		1963		
		7.	8.	9.	10....5.	6.	7.	8	9.
1	460	19	29	35	227	6	43	43	50
2	510	18	34	39	225	6	42	42	48
3	630	22	40	45	580	14	43	60	50
4	670	22	40	45	560	5	43	55	50

Kuvassa 6 esitetty alue on verrattain suuri. Koska hydrologiset havaintoalueet ovat huomattavasti pienempiä (keskimäärin 20 km²), on alueen keskelle sijoitetun yhden tai kahden sademittarin havaintojen perusteella lasketun sadannan aluearvon tarkkuus oleellisesti parempi kuin taulukossa 9 on esitetty.

Aluesadannan arvot, jotka perustuvat ainoastaan yhden sademittarin havaintoihin, ovat tarkkuudeltaan erityisen kyseenalaisia siinä tapauksessa, että läheisyydessä ei ole yhtään sadeasemaa, jonka havaintojen avulla voitaisiin kontrolloida karkeat havaitsemisvirheet. Kaikilla havaintoalueilla on mahdollisuus tällaiseen kontrolliin.

1.4 Lumihavainnot

Hydrologisilla havaintoalueilla suoritettuja lumihavaintoja ja niiden perusteella tapahtuvaa lumen vesiaron laskemista on selostettu toisessa julkaisussa (Mustonen 1965a), joten kysymystä käsitellään tässä ainoastaan suppeasti.

Jokaisella havaintoalueella tai sen välittömässä läheisyydessä on suoritettu talven aikana säännöllisin väliajoin lumihavaintoja havaintolinjalla, joka käsittää tavallisimmin 50 lumen syvyyden ja 10 lumen tiheyden mittauspistettä. Linja on merkitty maastoon merkkipaaluilla mittanauhaa ja kompassia käyttäen siten, että itse linjan paikka on mahdollisimman edustava valuma-aluetta ajatellen, mutta varsinaiset mittauspisteet ovat otantaperiaatteen mukaisesti tarkalleen määrävälein suorassa linjassa. Mittaus on vuodesta toiseen suoritettu samassa pisteessä, eikä paikan määrityksessä ole havaitsejan henkilökohtaisen valinnan aiheuttamaa virhemahdollisuutta. Lumilinjalla on suoritettu samanlainen maastotutkimus kuin valuma-alueilla ja selvitetty tällöin mm. puuston kuutiomäärä ja puulajijakautuma.

Taulukko 11. Maastoluokan vaikutus lumen syvyyteen, tiheyteen ja vesi-arvoon. Koko aineiston keskiarvot: syvyys = 51,9 cm, tiheys = 0,235 g/cm³, vesi-arvo = 122 mm.

Table 11. The terrain class effect on snow depth, snow density and water equivalent of snow. The averages: snow depth = 51,9 cm, snow density = 0,235 g/cm³, water equivalent = 122 mm.

Maastoluokka Terrain class	Syvyys Depth		Tiheys Density		Vesi-arvo Water equivalent	
	cm	%	g/cm ³	%	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

¹⁾ Puustoluokkaa osoittavat numerot tarkoittavat havupuumetsikön puuston määrää, lehtipuumetsiköt on sijoitettu osittain alempiin luokkiin.

¹⁾ The figures indicating the growing stock class refer to the quantity of timber in coniferous forests, hardwood forests have been partly assigned to the lower groups.

Valuntasuureiden analyyseissa käytettäväksi lumisuureeksi on valittu lumen vesi-arvo maaliskuun 15. päivänä. Tätä päivämäärää on käytetty mm. Korhonen (1915, 1927). Lumen vesi-arvon maksimi tosin sattuu yleensä maaliskuun loppuun tai huhtikuun alkuun (Kaitera 1939). Kun maksimi sattuu Etelä-Suomessa tavallisesti kaksi viikkoa aikaisemmin kuin Pohjois-Suomessa, saattaa lumen sulaminen olla maaliskuun 31. päivänä huomattavan pitkällä maan eteläisimmässä osissa. Lumen vesi-arvo on keskimäärin 10 % suurempi maaliskuun lopussa kuin kuukauden puolivälissä.

Lumilinjahavaintojen korjaamiseksi on kehitetty menetelmä, koska lumilinjaa ei yleensä ole voitu sijoittaa niin edustavasti, että lumen aluevesi-arvo saataisiin suoraan lumilinjän 50 syvyysmittauksen keskiarvon ja 10 tiheysmittauksen keskiarvon tulona (Mustonen 1965a). Vuosina 1958...1963 maaliskuun 15. päivänä suoritettujen lumenmittausten tulosten perusteella on saatu taulukossa 11 esitetyt maastoluokkien aiheuttamat poikkeamat keskiarvosta.

Maastoluokat, joita on kahdeksan, on määritetty valtapuulajin ja puuston kuutiomäärän perusteella. Luokka 1 käsittää pellot ja luokka 2 aukeat suot (nevat ja letot). Puuston kuutiomäärän ja valtapuulajin perusteella on metsäpisteet ryhmitetty siten, että luokkaan 3 kuuluvat ne pisteet, joissa puuston määrä 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. Luokkaan 4 on luettu ne pisteet, joissa puuston määrä on 1...29 m³/ha. Luokkaan 5 on luettu ne pisteet, joissa puuston määrästä on havupuita 50 % tai enemmän (havupuuvaltainen) ja puuston määrä on 30...59 m³/ha sekä kaikki ne pisteet, joissa puuston määrästä on havupuita alle 50 % (lehtipuuvaltainen) ja puuston määrä tällöin 30...99 m³/ha. Luokkaan 6 on luettu havupuuvaltaiset pisteet, joissa puuston määrä on 60...99 m³/ha sekä kaikki lehtipuuvaltaiset pisteet, joissa puuston määrä on 100 m³/ha tai suurempi. Luokka 7 sisältää havupuuvaltaiset pisteet, joissa puuston määrä on 100...149 m³/ha ja luokka 8 ne havupuuvaltaiset pisteet, joissa puuston määrä on 150 m³/ha tai suurempi. Luokituksessa on siis lehtipuuvaltaiset metsiköt sisällytetty vähäpuisempiin havupuuluokkiin, koska lehtipuut eivät lehdettöminä pysty vaikuttamaan lumisuhteisiin niin tehokkaasti kuin havupuut. Koska lehtipuuvaltaisten metsiköiden osuus kaikista metsiköistä on vain 15 %, ei lehtipuumetsiköiden edellä esitetyllä sijoittamisella ole kuitenkaan merkittävää vaikutusta.

Maastotutkimuksen perusteella tunnetaan, kuinka suuri osa lumilinjan pisteistä ja valuma-alueen alasta kuuluu kuhunkin maastoluokkaan. Lumilinjan lumen syvyyden ja tiheyden keskiarvon korjaamista varten on laskettu korjausvakiot. Korjatut lumen vesiärvot on esitetty taulukossa 12.

Yleensä lumilinjojen maasto vastaa melko hyvin valuma-alueiden maastoa. Korjausvakion itseisarvo lumen syvyydessä vaihtelee 0...4,5 cm ja tiheydessä 0...0,0053 g/cm³. Keskimäärin lumen vesiärvon korjaus on 2...3 %.

Lumihavaintojen korjausmenetelmää kehitettäessä on saatu lumen syvyyden perushajonnaksi 8,8 cm ja tiheyden perushajonnaksi 0,023 g/cm³ (Mustonen 1965a). Laskettaessa syvyyden keskiarvo 50 ja tiheyden keskiarvo 10 havainnon avulla, on saatu syvyyden keskiarvon keski-
virheeksi 8,8 cm: $\sqrt{50} = 7,07$ cm ja tiheyden keskiarvon keski-
virheeksi 0,023 g/cm³: $\sqrt{10} = 3,16$ g/cm³. Lumen syvyyden keskiarvo on ollut 51,9 cm ja tiheyden keskiarvo 0,235 g/cm³. Aluevesiärvon keski-
virheeksi on siis saatu $\sqrt{51,9^2 \cdot 0,007^2 + 0,235^2 \cdot 1,2^2}$ cm = 0,5 cm = 5 mm. Tode-
taan sekä lumen syvyys- että tiheyshavaintojen lukumäärän olevan riit-
tävä aluevesiärvon laskemista varten, vaikkakin hajonta on suhteelli-
sen suuri lähinnä maaston epähomogeenisuudesta johtuen.

Varsinaisista lumen vesiärvon määrittämisen virhelähteistä ovat tärkeimpiä mittausvirheet. Lumen syvyyden mittauksessa saattaa syntyä virheitä, mikäli mittakeppiä lumeen työnnettäessä varsinkin pehmeässä

Taulukko 12. Lumen vesiarvo x_{14} (mm) hydrologisilla havaintoalueilla 15.3.
 Table 12. Water equivalent of snow x_{14} (mm) in research basins (March 15).

Havaintoalue Research basin	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
14 Teeressuonoja	130	172	121	28	148	106	46
15 Kylmänoja	130	170	120	26	147	105	46
21 Löytäneenoja	61	47	57	7	71	59	36
31 Paunulanpuro	104	142	147	88	142	106	59
32 Siukolanpuro	104	142	147	88	142	106	59
33 Katajaluoma			95	53	102	83	78
41 Niittyjoki	110	194	124	59	153	105	34
42 Ravijoki	156	225	139	63	177	87	43
43 Latosuonoja	111	211	132	158	142	110	89
44 Huhtisuonoja	111	212	132	158	148	111	85
51 Kesselinpuro	129	170	142	132	135	117	112
52 Kuokkalanoja	128	168	141	129	134	116	111
53 Mustapuro	126	166	139	127	132	114	109
61 Korpjoki		102	136	108	156	105	110
71 Ruunapuro	114	129	119	84	109	95	68
72 Heinäjoki	129	175	133	105	148	127	91
81 Haapajyrä	67	56	39	14	82	85	24
82 Kainastonluoma		73	47	21	113	74	21
83 Kaidesluoma			109	56	93	103	69
84 Norrskogsdiket				68	130	93	52
85 Sulvanjoki					117	97	25
91 Tuuraaja	96	101	90	53	122	58	28
92 Tujuoja	104	107	95	84	140	126	65
93 Pahkaoja		130	91	90	148	121	82
94 Kuikkisenoja			67	34	116	78	26
101 Huopakinoja	82	91	92	58	118	49	35
102 Vääräjoki	160	155	139	180	194	137	152
103 Myllypuro			131	156	270	146	160
111 Kuusivaaranpuro	139	178	112	168	158	102	166
112 Lismanoja		150	151	191	156	124	177
113 Korintteenoja		180	164	198	208	135	200
114 Vähä-Askanjoki		167	153	184	225	139	219
115 Hourukoskenoja				137	118	143	121
116 Myllyoja				188	140	126	154

Taulukko 13. Maastoluokan vaikutus roudan syvyyteen. Roudan keskisyvyys = 17 cm.

Table 13. The effect of terrain class on frost depth. Mean frost depth = 17 cm.

Maastoluokka <i>Terrain class</i>	Maastoluokan vaikutus (cm) <i>Terrain class effect</i>
1 Peltö <i>Cultivated land</i>	+ 8,2
2, 3, 4 Vähäpuustoinen metsä (0...29 m ³ /ha) <i>Forest land with small growing stock</i>	+ 0,3
5, 6 Keskinertainen metsä (30...99 m ³ /ha) <i>Forest land with ordinary growing stock</i>	— 2,4
7, 8 Runsaspuustoinen metsä (100 < m ³ /ha) <i>Forest land with high growing stock</i>	— 6,1

suomaastossa tai kovia välikerroksia sisältävässä hangessa ei noudateta huolellisuutta. Samoin lumen tiheyden mittauksen yhteydessä syntyy helposti virheitä epäkunnossa olevan vaa'an tai mittauksen huolimattomuuden takia. Näiden virheiden syntymistä on mahdollisuuksien mukaan ehkäisty havaintojen ohjauksella ja havaintojen tarkkailuilla. Kun mittaukset suoritetaan jatkuvasti samasta paikasta, on havaintovirheiden toteaminen suhteellisen helppoa.

1.5 Routahavainnot

Hydrologisten havaintoalueiden roudan syvyyden aluearvot on määritetty lumenmittauslinjojen tiheyden mittauspisteissä maaliskuun 31. päivänä suoritettujen mittauksen perusteella (Mustonen 1965a). Mittaus on suoritettu terästangolla, joka lyödään maahan ja pyöräytetään kerran. Tangon sivussa olevaan uraan jäävän maan perusteella määritetään roudan syvyys.

On todettu, että roudan syvyyden maksimi sattuu useimmin maaliskuun loppuun tai huhtikuun alkuun (Maasilta 1959).

Koska routamittaukset on suoritettu kullakin linjalla ainoastaan 10 pisteessä, edustaa näin harvojen pisteiden keskiarvo alueen keskiarvoa erittäin likimääräisesti. Routahavaintojen korjaamiseksi on kehitetty samantyyppinen menetelmä kuin lumihavaintojen selostuksen yhteydessä on esitetty. Haettaessa sitä maaston ominaisuutta, mikä sopii parhaiten korjauksen laskemisperusteeksi, on todettu maalajin aiheuttamat roudan syvyyden vaihtelut vähäisiksi. Lumihavaintojen korjaamisessa käytetty puuston kuutiomäärään perustuva maastoluokitus sen sijaan soveltuu paremmin esittämään roudan syvyyteen vaikuttavia maastotekijöitä. Taulukossa 13 on esitetty routahavaintojen korjaamisessa käytetty

Taulukko 14. Roudan syvyys x_{15} (cm) hydrologisilla havaintoalueilla 31. 3.
 Table 14. Frost depth x_{15} (cm) in research basins (March 31).

Havaintoalue Research basin	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
14 Teeressuonoja		0	10	0	7	19	48
15 Kylmänoja		6	16	6	13	25	54
21 Löytäneenoja	41	9	36	9	29	67	60
31 Paunulanpuro	14	0	9	0	0	20	32
32 Siukolanpuro	15	0	10	0	0	21	33
33 Katajaluoma		8	0	1	23	20	19
41 Niittyjoki	21	5	26	3	6	14	34
42 Ravijoki	15	0	19	0	0	14	27
43 Latonsuonoja	10	0	13	0	5	18	12
44 Huhtisuonoja	10	0	14	0	2	18	8
51 Kesselinpuro	15	4	15	0	4	20	26
52 Kuokkalanoja	15	4	15	0	4	20	26
53 Mustapuro	19	8	20	0	6	27	11
61 Korpijoki	33	20	28	1	18	43	13
71 Ruunapuro	19	4	11	2	8	7	13
72 Heinäjoki	16	0	10	6	38	30	26
81 Haapajyrä	50	13	51	18	35	42	55
82 Kainastonluoma		10	35	15	15	34	40
83 Kaidesuoma			12	0	7	6	13
84 Norrskogsdiket				7	10	9	15
85 Sulvanjoki					3	3	18
91 Tuuraoja	10	9	18	9	10	49	34
92 Tujuoja	24	21	23	9	16	28	31
93 Pahkaoja		12	31	3	8	29	24
94 Kuikkisenoja			39	21	25	36	53
101 Huopakinoja	50	11	58	0	15	20	36
102 Vääräjoki	27	24	35	7	6	21	3
103 Myllypuro			13	0	0	3	3
111 Kuusivaaranpuro	32	24	26	12	7	18	12
112 Lismanoja			23	1	11	40	7
113 Korintteenoja		13	24	0	5	27	9
114 Vähä-Askanjoki		9	8	8	4	5	1
115 Hourukoskenoja				19	36	41	49
116 Myllyoja				22	5	6	0

tetyt maastoluokkien aiheuttamat poikkeamat roudan keskisyvyydestä. Aluekohtaiset korjausvakiot on laskettu samoin kuin lumen vesiaron vastaavat vakiot. Käytettävissä olleet 10 havaintopistettä edustavat melko hyvin valuma-alueita, sillä korjausvakion itseisarvo vaihtelee 0...5,8 cm ja on keskimäärin 1...2 cm eli noin 10 % roudan keskisyvyydestä. Korjatut roudan syvyyden aluearvot on esitetty taulukossa 14.

Routahavaintojen korjaamismenetelmän kehittämisen yhteydessä jaettaessa aineisto lumen syvyyden, pakkasmäärän ja puuston perusteella määritetyn maastoluokituksen mukaisesti ryhmiin on saatu roudan syvyyden perushajonnaksi 11,3 cm. Aluearvon keskivirheeksi on saatu siis 11,3 cm: $\sqrt{10} = 3,6$ cm, eli viidesosa roudan syvyyden keskiarvosta (17 cm). Tämä verraten suuri keskivirhe on osoituksena siitä, että roudan syvyyden suuren hajonnan vuoksi 10 pisteessä suoritettu mittaus on riittävä ainoastaan verraten ylimalkaisiin routatarkasteluihin. Tässä tutkimuksessa on haluttu saada vain jonkinlainen routaoloja kuvaava indeksi, koska laajat routamittaukset ovat suhteellisen paljon työtä vaativia. Tähän tarkoitukseen havaintojen tarkkuus on riittävä. Paitsi maaston epähomogeenisuudesta johtuvaa suurta hajontaa, huonontavat roudan aluearvon tarkkuutta varsinaiset mittausvirheet. Roudan mittaus varsinkin suurilla roudan syvyyksillä on työläs käytettäessä uralla varustettua terästankoa. Tottunut mittaaja pääsee tällä välineellä suhteellisen hyvään tarkkuuteen. Havaintojen jatkuvalla tarkkailulla on pyritty eliminoimaan mittausvirheet.

Ne roudan syvyydet, joita ei ole mittauksilla määritetty, on arvioitu joko läheisten alueiden routahavaintojen tai lumen syvyyden ja pakkasmäärän avulla (Mustonen 1965a, kaava 2).

1.6 Haihtumishavainnot

Edellä esitetyt hydrologiset perussuureet, sadanta ja valunta, voidaan luonnossa määrittää suoranaisilla mittauksilla. Kolmas perussuure, haihdunta, joudutaan maa-alueilla sen sijaan aina määrittämään välillisillä menetelmillä. Näistä menetelmistä tavallisimpia ovat todellisen evapotranspiraation määrittävät haihtumiskaavat, jotka kuitenkin ovat yleensä päteviä vain niissä olosuhteissa, joissa ne on kehitetty.

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää eräiden valuntasuureiden ja joidenkin tunnettujen tai helposti mitattavien tekijöiden välisiä riippuvuuksia regressiolaskennan avulla. Haihtumisilmiön vaikutuksen selvittämiseksi on tällöin analyyseissa tarkoituksenmukaista käyttää

jotakin helposti määritettävää indeksiä haihdunnan mittana. Tällaiseksi haihtumisoloja kuvaavaksi muuttujaksi soveltuu hyvin potentiaalinen evapotranspiraatio. Alunperin tällä käsitteellä on tarkoitettu tiheän, matalahkon vihreän kasvillisuuden peittämän optimaalisissa kosteussuhhteissa olevan suurehkon alueen haihduntaa. Käsitettä edelleen kehitetäessä (Fritz 1948, Penman 1948, 1956, Blaney 1956) on päädytty potentiaalisen evapotranspiraation määrittämiseen haihtumisastiahavaintojen avulla. Linsley, Kohler ja Paulhus (1958) ovat esittäneet kaavan (1).

$$(1) \quad PET \approx 0,70 \cdot E_p$$

PET = potentiaalinen evapotranspiraatio

E_p = haihdunta U.S.W.B:n astiasta

Eri tutkijat ovat esittäneet hieman erilaisia kertoimia kaavaan (1) (Penman 1948), mutta Linsley, Kohler ja Paulhus (1958) ovat valinneet kertoimen 0,70, koska tätä arvoa on käytetty useiden vuosikymmenien ajan astiahaihdunnan muuntamisessa järvestä tapahtuvaksi haihdunnaksi ja koska eri tutkijoiden saamat suhdeluvut lysimetrillä tai eräillä muilla menetelmillä määritetyn todellisen evapotranspiraation ja astiahaihdunnan välillä ovat lähellä lukua 0,70. Koska tässä tutkimuksessa tarvitaan vain haihtumisindeksi, soveltuu PET kaavassa (1) esitettyssä muodossa tarkoitukseen. PET sisältää kaikkien tärkeimpien meteorologisten tekijöiden vaikutuksen haihduntaan. Regressioanalyysissä PET saa joka tapauksessa pienimmän neliösumman periaatteella edullisimman kertoimen.

Kaava (1) on käyttökelpoinen ainoastaan lumettomana aikana, koska lumen pinnasta tapahtuvaa haihtumista säätelevät osittain muut luonnonlait. Talviaikaista haihduntaa ei ole käytetty analyyseissa selittäväenä muuttujana, koska lumen pinnasta tapahtuvan haihdunnan määrittäminen on erittäin vaikeata. Lumen peittämältä alueelta tapahtuva haihdunta varsinkin sydäntalven aikana on erittäin pieni, vain murto-osa kesäajan haihduntaan verrattuna.

Potentiaalinen evapotranspiraatio havaintoalueilla on laskettu U.S.W.B:n menetelmällä (Kohler ja Richards 1962). Menetelmän yksityiskohtaista soveltamista Suomen oloihin on käsitelty toisessa julkaisussa (Mustonen 1964). Menetelmä perustuu U.S.W.B:n haihtumisastialla mitattujen 0,70:llä kerrottujen haihdunnan arvojen ja eräiden meteorologisten tekijöiden väliseen yhtälöön (2), mikä on kehitetty regressioanalyysin avulla (Lamoreux 1962).

$$(2) \quad E_L = 25,4 \frac{A + B - 0,0001}{C}$$

$$A = \exp [(1,8 T_m - 180) (0,1024 - 0,01066 \ln R)]$$

$$B = 0,0105 (h \cdot 0,2202 \cdot v + 0,37) \times$$

$$\left\{ 6 \, 413 \, 260 \left[\exp\left(-\frac{7 \, 482,6}{1,8 T_m + 430,36}\right) - \exp\left(-\frac{7 \, 482,6}{1,8 T_d + 430,36}\right) \right] \right\}^{0,88}$$

$$C = \frac{68 \, 554 \exp\left(-\frac{7 \, 482,6}{1,8 T_m + 430,36}\right) \cdot 10^6}{(1,8 T_m + 430,36)^2} + 0,015$$

E_L = haihdunta järvestä (mm)

T_m = vuorokauden keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

T_d = vuorokauden keskikastepistelämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

v = vuorokauden tuulen keskinopeus mittarin korkeudella (m/s)

R = tuleva kokonaissäteily ($\text{cal}/\text{cm}^2 \text{ vrk}$)

h = parametri, jonka suuruus riippuu tuulimittarin korkeudesta.

$h = 1$, kun tuulimittari on 0,6 m korkeudella maanpinnasta;

$h = 0,43$, kun tuulimittari on 20 metrin korkeudella.

E_L tarkoittaa varsinaisesti haihduntaa järvestä, jossa ei tapahdu lämmön varastoitumista.

Tässä tutkimuksessa oletetaan, että $E_L \approx 0,70 \cdot E_P \approx PET$. Kaavan (2) käyttämiseksi tarvittavat ilman lämpötilan, kastepistelämpötilan ja tuulen nopeuden arvot on saatu taulukossa 15 esitetyiltä Ilmatieteellisen keskuslaitoksen ilmastoasemilta. Koska kaikkein tärkeintä haihtumiseen vaikuttavaa meteorologista suuretta, tulevaa kokonaissäteilyä, mitataan ainoastaan neljässä paikassa Suomessa, on määritetty tarpeelliset kertoimet tulosäteilyn laskemiseksi aurinkoautografihavaintojen perusteella (Mustonen 1964). Aurinkoautografihavaintoja suoritetaan siksi monella paikkakunnalla, että tulosäteily on useimmille hydrologisille havaintoalueille saatu lähempänä kuin 50 km päässä sijaitsevalta asemalta. Ainoastaan muutamissa tapauksissa on tulosäteilyn mittausasema sijainnut runsaan 100 km päässä havaintoalueelta.

Taulukossa 16 on esitetty potentiaalisen evapotranspiraation arvot hydrologisilla havaintoalueilla lumen sulamisen päättymispäivämäärän t_e ja lokakuun viimeisen päivän välisenä aikana. Lumen sulamisen päättymispäivämäärä t_e on myös esitetty tässä taulukossa.

Taulukossa 16 esitettyjen PET :n arvojen käyttökelpoisuutta arvoeltaessa on tarkasteltava, mikä on PET :n määrittelyn tarkkuus ilmasto-

Taulukko 15. Hydrologisten havaintoalueiden potentiaalisen evapotranspiraation määrittämisessä käytetyt ilmastoasemat ja niiden sijainti.

Table 15. *Climatologic stations used in computing potential evapotranspiration in research basins.*

Ilmastoasema <i>Climatologic station</i>	Havainto- alue <i>Research basin</i>	Ilmastoaseman sijainti <i>Location of climatologic station</i>		
		leveys <i>latitude</i>	pituus <i>longitude</i>	korkeus merenpinnasta <i>height above sea level m</i>
Vihti, Suontaa	14, 15	60° 25'	24° 23'	39
Kotka, Metsola	42	60° 28'	26° 53'	5
Utti, lentokenttä	41	60° 53'	26° 55'	101
Lappeenranta, lentoasema	43, 44	61° 03'	28° 09'	105
Kokemäki, Peipohja	21	61° 17'	22° 14'	38
Juupajoki, Hyytiälä	31, 32	61° 50'	24° 17'	120
Niinisalo	33	61° 51'	22° 28'	134
Luonetjärvi, lentoasema	71, 72	62° 24'	25° 40'	140
Ähtäri, Tuomarniemi	83	62° 33'	24° 09'	155
Kuusjärvi, Outokumpu	51, 52, 53	62° 43'	29° 01'	116
Ylistaro, Pelma	81, 82	62° 57'	22° 30'	26
Vaasa, lentoasema	84, 85	63° 03'	21° 46'	6
Reisjärvi, Kangaskylä	93	63° 40'	24° 50'	129
Kruununkylä, lentoasema	94	63° 43'	23° 09'	24
Haapajärvi, kirkonkylä	92	63° 45'	25° 20'	95
Vieremä, Kaarakkala	61	63° 50'	27° 12'	200
Ristijärvi, Hiisijärvi	103	64° 22'	28° 35'	200
Revonlahti, Ruukki	91, 101	64° 41'	25° 04'	65
Kuusamo, kirkonkylä	102	65° 58'	29° 10'	260
Kemijärvi, Jumisko	111, 113, 114	66° 31'	27° 47'	180
Sodankylä, observatorio	112, 116	67° 22'	26° 39'	178
Muonio, kirkonkylä	115	67° 57'	23° 41'	242

asemalla ja miten havaintoalueelta suhteellisen kaukana sijaitsevalla ilmastoasemalla määritetty *PET* vastaa itse alueen potentiaalista evapotranspiraatiota. Jos määritellään *PET* kaavan (1) mukaisesti astiahaiduntaan perustuen, voidaan suoritettujen tutkimusten (Mustonen 1964) perusteella arvioida *PET*:n kuukausiarvojen keskihajonnaksi 5...8 mm, mikä on noin 10 % kuukausiarvosta. Koko kesän *PET*:n summa on luonnollisesti kuukausiarvoa tarkempi.

Kuten edellä sadehavaintoja käsiteltäessä on todettu, on Suomi suu-
rimmaksi osaksi tasaista alankoa. Tämä seikka tekee myös meteorolo-

Taulukko 16. Lumen sulamisen päättymispäivämäärä t_e ja potentiaalinen evapotranspiraatio x_{16} (mm) hydrologisilla havaintoalueilla lumen sulamisen päättymisestä lokakuun 31. päivään.

Table 16. Date of the end of snowmelt t_e and potential evapotranspiration x_{16} (mm) (from t_{e+1} to October 31) in research basins.

Ilmastoasema Climatologic station	Havainto- alue Research basin	1958		1959		1960		1961		1962		1963		1964	
		t_e	x_{16}	t_e	x_{16}	t_e	x_{16}	t_e	x_{16}	t_e	x_{16}	t_e	x_{16}	t_e	x_{16}
Vihti	{14											30.4.	401	25.4.	397
	{15											30.4.	401	25.4.	397
Kokemäki, Peipohja	21	27.4.	330	18.4.	435	25.4.	355	20.4.	305	30.4.	247	26.4.	378	25.4.	370
Juupajoki	{31	8.5.	317	4.5.	410	6.5.	346	4.5.	283	30.4.	242	3.5.	360	5.5.	362
	{32	8.5.	317	4.5.	410	6.5.	346	4.5.	283	30.4.	242	3.5.	360	5.5.	362
Niinisalo	33							30.4.	252	28.4.	237	30.4.	342	3.5.	368
Valkeala, Utti	41	7.5.	340	6.5.	442	6.5.	388	2.5.	344	5.5.	270	2.5.	404	20.4.	355
Kotka	42	10.5.	314	5.5.	419	4.5.	371	30.4.	345	5.5.	251	29.4.	399	22.4.	331
Lappeenranta	{43	14.5.	350	7.5.	415	3.5.	400	14.5.	344	6.5.	270	30.4.	415	28.4.	353
	{44	14.5.	350	7.5.	415	3.5.	400	14.5.	344	6.5.	270	30.4.	415	28.4.	353
Kuusjärvi, Outokumpu	{51	21.5.	268	9.5.	359	5.5.	366	18.5.	293	6.5.	249	2.5.	361	6.5.	350
	{52	21.5.	268	9.5.	359	5.5.	366	18.5.	293	6.5.	249	2.5.	361	6.5.	350
Vieremä	{53	21.5.	268	9.5.	359	5.5.	366	18.5.	293	6.5.	249	2.5.	361	6.5.	350
	61			8.5.	386	5.5.	362	8.5.	262	7.5.	249	4.5.	350	7.5.	332
Jyväskylä, Luonetjärvi	{71	19.5.	303	7.5.	336	4.5.	361	11.5.	321	5.5.	284	5.5.	372	27.4.	340
	{72	20.5.	301	6.5.	338	5.5.	359	11.5.	321	5.5.	284	6.5.	370	27.4.	340
Ylistaro, koegasema	{81	2.5.	309	21.4.	415	20.4.	393	30.4.	293	23.4.	267	30.4.	353	21.4.	337
	{82			30.4.	402	30.4.	285	30.4.	293	26.4.	265	30.4.	353	21.4.	337
Ähtäri	83					30.4.	340	30.4.	275	30.4.	238	30.4.	330	27.4.	313
Vaasa, lentoasema	{84							30.4.	332	30.4.	309	30.4.	393	21.4.	389
	{85							30.4.	332	30.4.	309	30.4.	393	21.4.	389
Revonlahti, Ruukki	91	8.5.	277	30.4.	364	25.4.	356	9.5.	256	1.5.	253	3.5.	322	26.4.	329
Haapajärvi	92	8.5.	315	30.4.	406	25.4.	362	9.5.	253	1.5.	254	3.5.	355	3.5.	324
Reisjärvi	93			4.5.	393	27.4.	316	10.5.	290	4.5.	266	3.5.	349	3.5.	320
Kruununkylä	94			4.5.	392	25.4.	309	10.5.	291	7.5.	290	3.5.	374	2.5.	365
Revonlahti, Ruukki	101	10.5.	276	4.5.	357	24.4.	357	10.5.	256	7.5.	248	3.5.	322	5.5.	323
Kuusamo	102	22.5.	236	8.5.	319	4.5.	366	29.5.	277	25.5.	219	17.5.	299	21.5.	271
Ristijärvi	103			8.5.	381	4.5.	405	29.5.	251	19.5.	206	16.5.	312	18.5.	301
Kemijärvi, Jumisko	111	31.5.	209	10.5.	320	7.5.	355	29.5.	277	31.5.	207	7.5.	338	20.5.	283
Sodankylä, observatorio	112	31.5.	222	10.5.	329	7.5.	353	25.5.	276	24.5.	215	7.5.	344	20.5.	276
Kemijärvi, Jumisko	{113			10.5.	320	7.5.	355	28.5.	278	25.5.	219	7.5.	338	20.5.	283
	{114			10.5.	320	7.5.	355	29.5.	277	31.5.	207	7.5.	338	20.5.	283
Muonio	115							29.5.	252	31.5.	202	14.5.	315	21.5.	263
Sodankylä, observatorio	116							31.5.	258	31.5.	202	10.5.	333	21.5.	269

giset olot suhteellisen tasaisiksi. Haihtumissuhteissa suurimmat paikalliset erot aiheutuvat meren läheisyydestä. Sisämaassa ei sadan kilometrin välimatka aiheuta kovin suuria eroja kuukausihaihdunnassa. Kesän *PET*-summa (taulukko 16) vaihtelee suhteellisen vähän. Eri asemien väliset haihduntaerot ovat vain muutamia kymmeniä millimetrejä, joten *PET*-havaintojen suorittamisesta taulukossa 15 esitetyillä asemilla aiheutuva sijaintivirhe on ilmeisesti samaa suuruusluokkaa tai pienempi kuin *PET*:n määrittämisvirhe.

1.7 Muut meteorologiset havainnot

Valuntasuureiden analyyseissa käytetyistä muista meteorologisista tekijöistä on taulukossa 17 esitetyt hydrologisen vuoden keskilämpötila, joulukuun–maaliskuun keskilämpötila ja suojasääindeksi laskettu lähimmän ilmastoaseman havaintojen perusteella. Vuoden keskilämpötila on merkitykseltään etupäässä maantieteellisen sijainnin mitta, joka ilmaisee paitsi lämpötilan, myös osittain kesän pituuden ja kasvillisuuden rehevyyden. Suojasääindeksillä tarkoitetaan tammi–maaliskuun positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen summaa. Talven pituus on laskettu siitä päivästä, jolloin vuorokauden keskilämpötila on laskenut pysyvästi 0°C alapuolelle, siihen päivään, jolloin varsinainen kevätylivalumakausi on alkanut.

Kevätylivaluman analysoinnissa on käytetty taulukossa 17 esitettyjen suureiden lisäksi selittäjinä myös ylivaluman sattumisvuorokauden ja sitä edeltäneen vuorokauden keskilämpötilaa x_{21} ($^{\circ}\text{C}$) sekä samojen kahden päivän sadantaa x_{22} (mm). x_{21} :n keskiarvo koko aineistossa on $5,6^{\circ}\text{C}$ ja vaihtelurajat $0,9\text{--}12,0^{\circ}\text{C}$. x_{22} :n keskiarvo on 5 mm ja vaihtelurajat $0\text{--}36$ mm. Paitsi mainittujen kahden vuorokauden lämpötilaa, on tutkittu myös ylivaluman sattumisvuorokauden ja neljän edeltäneen vuorokauden keskilämpötilaa. Tämä viiden vuorokauden keskilämpötila on osoittautunut kuitenkin selitysvoimakkuudeltaan heikommaksi kuin kahden vuorokauden keskilämpötila x_{21} .

1.8 Maan kosteusvajauksen laskeminen

Useihin valuntasuureisiin, esim. talvivaluntaan ja vuosivaluntaan, vaikuttaa maan kosteus tila syksyllä edellisen hydrologisen vuoden päättämispäivänä. Havaintoalueilla ei ole suoritettu maan kosteusmäärittäksiä, joten maan kosteuden ilmaiseva selittäjä on määritettävä välillisillä menetelmillä.

Table 17. Mean temperature during water year x_{17} ($^{\circ}\text{C}$), mean temperature in December to March x_{18} ($^{\circ}\text{C}$) degree day factor x_{19} ($+\text{C days}$), and length of winter x_{20} (days) in research basins.

1961				1962				1963				1964			
x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}
								3,0	-10,8	1	142	3,9	-6,2	14	142
								3,0	-10,8	1	140	3,9	-6,2	14	124
5,7	-1,6	54	107	3,5	-6,3	16	125	3,4	-9,2	1	145	4,0	-5,6	11	137
4,7	-2,3	48	108	2,7	-6,7	14	125	2,5	-10,2	0	146	3,4	-6,4	10	146
4,7	-2,3	48	108	2,7	-6,7	14	125	2,5	-10,2	0	142	3,4	-6,4	10	144
4,9	-2,6	35	108									3,6	-5,7	7	146
5,5	-2,3	34	108	3,4	-6,6	9	125	3,4	-10,5	0	140	3,8	-6,7	7	147
6,1	-1,1	59	108	3,9	-5,5	19	125	3,3	-10,0	0	145	4,0	-6,0	14	147
5,2	-2,7	31	108	3,4	-6,6	7	125	3,1	-10,9	0	144	3,5	-6,9	7	153
5,2	-2,7	31	108	3,4	-6,6	7	128	3,1	-10,9	0	145	3,5	-6,9	7	153
4,0	-4,2	23	109	2,1	-8,5	6	129	1,6	-12,8	0	144	2,6	-8,4	4	155
4,0	-4,2	23	109	2,1	-8,5	6	129	1,6	-12,8	0	144	2,6	-8,4	4	153
4,0	-4,2	23	109	2,1	-8,5	6	125	1,6	-12,8	0	145	2,6	-8,4	4	155
3,9	-4,2	29	116	1,9	-9,0	6	129	2,0	-11,1	0	149	2,5	-7,3	14	158
4,2	-3,6	36	108	2,4	-8,0	5	124	2,3	-11,3	0	152	2,7	-7,6	6	154
4,2	-3,6	36	108	2,4	-8,0	5	125	2,3	-11,3	0	153	2,7	-7,6	6	155
5,0	-2,6	52	99	2,9	-7,3	13	128	2,7	-10,1	0	143	3,6	-5,3	24	154
5,0	-2,6	52	108	2,9	-7,3	13	128	2,7	-10,1	0	141	3,6	-5,3	24	153
4,4	-3,5	30	115	2,3	-8,1	7	126	2,2	-11,3	0	146	2,8	-7,2	6	154
5,0	-2,5	56	127	3,2	-6,7	12	125	2,9	-9,5	0	146	3,9	-4,8	25	147
				3,2	-6,7	12	126	2,9	-9,5	0	146	3,9	-4,8	25	147
3,9	-4,2	27	139	1,9	-9,0	5	128	2,0	-11,1	0	141	2,5	-7,3	8	152
												2,5	-7,3	8	153
3,9	-4,2	27	146	1,9	-9,0	5	128	2,0	-11,1	0	146	2,5	-7,3	8	154
				1,9	-9,0	5	125	2,0	-11,1	0	143	2,5	-7,3	8	152
3,6	-5,0	32	145	1,4	-10,3	5	128								
1,2	-7,6	2	210	-0,9	-12,8	0	147	-0,6	-14,9	0	157	0,0	-10,5	3	169
				0,6	-11,0	0	139	0,6	-14,1	0	157	1,2	-9,5	4	169
1,6	-7,3	5	211	-0,8	-12,8	1	152	-0,3	-14,7	2	186	0,4	-9,9	6	183
0,7	-9,0	4	213	-1,5	-14,0	0	150								
1,8	-7,1	5	203	0,1	-11,4	0	150								
1,6	-7,3	5	203	-0,8	-12,8	1	150	-0,3	-14,7	2	184	0,4	-9,9	6	184
				-2,5	-16,1	0	166	-1,7	-16,7	2	195	-1,1	-11,6	8	191
				-1,5	-12,8	0	157	-1,1	-14,7	2	196	-0,1	-9,9	8	192

Maan kosteusvajaus on määritetty yhtälön (3) esittämällä tavalla.

$$(3) \quad x_{23} = 200 - x_{12} + y_4 + 0,7 \cdot x_{16}$$

x_{23} = maan kosteusvajaus lokakuun 31. päivänä (mm)
 x_{12} = kesä- ja syksysadanta (lumen sulamisen päättymisestä lokakuun 31. päivään) (mm)
 y_4 = kesä- ja syksyvalunta (mm)
 x_{16} = kesän ja syksyn potentiaalinen evapotranspiraatio (mm)

Jos termi $0,7 \cdot x_{16}$ vastaisi todellista aluehaiduntaa aikana $t_{e+1} \dots 31.10.$, saataisiin kaavan (3) avulla selville, minkä verran maan kosteustila on muuttunut kesän aikana. Lähtöarvona maan kosteusvajauksen laskemisessa on lumen sulamisen päättymishetkellä vallinnut maan kosteusvajaus, johon vielä on lisätty lumen sulamisen päättymispäivämäärän jälkeen noin kahden viikon aikana tapahtunut lumen sulamisvesien resessiovalunta (kuva 3). Kosteusvajaukseen on lisätty 200 mm, jotta välttyttäisiin negatiivisilta arvoilta. Todellisen evapotranspiraation ja potentiaalisen evapotranspiraation välistä suhdetta selvittää taulukko 18. Taulukosta on jätetty pois alueet 33 ja 92, koska niiltä on olemassa valumahavainnot vain kahdelta vuodelta, jotka eivät ole peräkkäisiä vuosia. Tällöin maan kosteustilan muutokset vuosien aikana vaikuttavat ratkaisevasti tulokseen. Alue 112 on hylätty, koska valunnan arvot ovat selvästi virheellisiä. Eräiden Pohjois-Suomen alueiden pienet kesäajan evapotranspiraation ja potentiaalisen evapotranspiraation suhteen arvot johtunevat osittain puutteellisista sadehavainnoista. Esimerkiksi alueella 116 on vain yksi sademittari korkeudella 170 metriä merenpinnasta, mutta alueen korkeimmat tunturit ulottuvat 410 metrin korkeuteen. On ilmeistä, että edellä mainittu suhdeluku on Pohjois-Suomessa kuitenkin jonkin verran pienempi kuin Etelä-Suomessa johtuen mm. Pohjois-Suomen vähäisestä puustosta ja muutenkin niukasta kasvillisuudesta. On toisaalta aihetta olettaa, että talvihaidunta on Etelä-Suomen runsaspeltoisilla ja runsaspuustoisilla alueilla suurempi kuin Pohjois-Suomen harvaa metsää kasvavilla alueilla. Useissa lumitutkimuksissa (Kaitera 1939, Krestovski 1962, Mustonen 1964a) on todettu, että lumen vesiarvo keväällä on tiheässä metsässä ja peltoaukealla useita kymmeniä millimetrejä pienempi kuin aivan harvassa metsässä. Tämä johtunee suurimmaksi osaksi haihduntaeroista. Haihtumiseen tarvittavaa energiaa on talvella, varsinkin marras-helmikuussa niukasti, Pohjois-Suomessa oleellisesti vähemmän kuin Etelä-Suomessa. Ilmakehästä peräisin olevan advektioenergian ja

Taulukko 18. Hydrologisen vuoden keskimääräinen sadanta \bar{x}_{13} (mm), valunta \bar{y}_1 (mm), kesä- ja syksyajan (t_{e+1} ...31.10.) keskimääräinen potentiaalinen evapotranspiraatio \bar{x}_{16} (mm) sekä todellisen kesä- ja syksyajan evapotranspiraation ja potentiaalisen evapotranspiraation suhde, kun talvihaidunta on 50 mm ja 80 mm.

Table 18. Mean annual precipitation \bar{x}_{13} (mm) and runoff \bar{y}_1 (mm), summer and autumn (t_{e+1} ...to October 31) potential evapotranspiration \bar{x}_{16} (mm) and the ratio between the actual and potential summer and autumn evapotranspiration using 50 mm and 80 mm winter evapotranspiration rates.

Havaintoalue Research basin	Hydrologiset vuodet Water years	\bar{x}_{13}	\bar{y}_1	\bar{x}_{16}	$\bar{x}_{13}-\bar{y}_1-50$	$\bar{x}_{13}-\bar{y}_1-80$
					\bar{x}_{16}	\bar{x}_{16}
14 Teeressuonoja	1963...1964	569	230	399	0,724	0,649
15 Kylmänoja	1963...1964	569	224	399	0,739	0,664
21 Löytäneenoja	1958...1964	501	196	346	0,737	0,650
31 Paunulanpuro	1958...1964	570	196	331	0,979	0,888
32 Siukolanpuro	1958...1964	570	204	331	0,955	0,864
41 Niittyjoki	1958...1964	607	251	363	0,843	0,760
42 Ravijoki	1958...1964	660	365	347	0,706	0,620
43 Latosuonoja	1958...1954	632	300	364	0,775	0,692
44 Huhtisuonoja	1958...1964	632	312	364	0,742	0,659
51 Kesselinpuro	1958...1962, 1964	587	241	314	0,943	0,847
52 Kuokkalanaja	1958...1964	611	264	321	0,925	0,832
53 Mustapuro	1958...1964	602	288	321	0,822	0,729
61 Korpijoki	1959...1964	575	249	324	0,852	0,759
71 Ruunapuro	1958...1964	571	259	331	0,792	0,701
72 Heinäjoki	1958...1964	623	291	331	0,852	0,761
81 Haapajyrä	1958...1964	505	182	324	0,843	0,750
82 Kainastonluoma	1959...1964	511	173	323	0,892	0,799
83 Kaidesluoma	1960...1964	546	250	299	0,823	0,722
84 Norrskogsdiket	1961...1964	609	276	356	0,795	0,711
85 Sulvanjoki	1962...1964	545	247	364	0,681	0,599
91 Tuuraoja	1958...1964	491	223	308	0,708	0,610
93 Pahkaoja	1959...1964	534	253	322	0,717	0,624
94 Kuikkisenoja	1960, 1962...1964	470	161	335	0,773	0,684
101 Huopakinoja	1958...1962	514	240	299	0,749	0,649
102 Vääräjoki	1959...1964	576	380	292	0,500	0,397
103 Myllypuro	1962...1964	667	452	273	0,604	0,495
111 Kuusivaaranpuro	1958...1964	536	285	284	0,708	0,602
113 Korintteenoja	1961...1962	658	420	249	0,755	0,635
114 Vähä-Askanjoki	1959...1964	627	420	297	0,529	0,428
115 Hourukoskenoja	1962...1964	493	277	260	0,638	0,523
116 Myllyoja	1962...1964	581	430	268	0,377	0,265
Keskiarvo	14...116	572	275	324	0,757	0,663
Mean	14...101	567	245	338	0,807	0,718
	102...116	591	381	275	0,587	0,478

vähäisen säteilyenergian mahdollisuudet lisätä haihduntaa ovat suuremmat tummalla alustalla puiden oksistoissa ja suurilla peltoaukeilla kuin harvan metsän lumipeitteessä.

Maan kosteusvajauksen laskemismenetelmän kehittämiseksi on suurimpana vaikeutena talvihaihdunnan arvioiminen. Valdain ylängöllä, Etelä-Suomea melko hyvin vastaavissa hydrologisissa oloissa suoritetuissa tutkimuksissa (Krestovski 1962) on mitattu noin kuukauden pituisen lumen kevätsumamisajan haihdunnaksi 20...30 mm. Varsinaisen lumipeiteajan haihdunta lienee usean kuukauden ajasta huolimatta hyvin vähäinen. Kanadassa suoritetuissa mittauksissa on todettu vuorokautisen nettohaihdunnan lumen pinnasta olevan osittain tuulelta suojatussa metsän hakkuuaukossa noin 0,02 mm ja avonaisessa paikassa noin 0,06 mm (Williams 1961). Valtaosa metsässä tapahtuvasta talvihaihdunnasta on ilmeisesti Suomen oloissa puiden oksilta tapahtuvaa, interseptoituneen lumen haihduntaa.

Kaavassa (3) käytettyä kertoimen arvoa 0,7 voidaan perustella taulukon 18 avulla siten, että oletetaan talvi- ja kevätaikainen (1.11... t_e) haihdunta Pohjois-Suomessa 40...60 mm:ksi ja Etelä-Suomessa 70...90 mm:ksi. Näiden oletamusten vallitessa olisi kaava (3) voimassa koko maassa. Luonnollisesti kaava (3) antaa vain erittäin karkean likiarvon maan kosteusvajaukselle. Tässä tutkimuksessa tarvitaan indeksiä, joka ilmaisee hydrologisen vuoden vaihteessa maan kosteusvajauksen.

Kaavalla (3) lasketut saman alueen eri vuosien kosteusvajauksen arvot ovat vertailukelpoisia keskenään ja eri alueiden kosteusvajauksen arvojen yhteismitallisuutta parantavat regressioanalyysissa käytetyt maantieteellistä sijaintia edustavat selittäjät, kuten keskilämpötila x_{17} .

Kullakin alueella on ensimmäisen havaintovuoden alussa maan kosteusvajausta täytynyt arvioida, koska edellisen kesän ja syksyn valunthavainnot ovat puuttuneet. Arvioiminen on suoritettu sadehavaintojen ja läheisten alueiden kosteusvajausrvojen avulla. Maan kosteusvajausta 31. 10. on vaihdellut 40...330 mm.

Maan kosteusvajauksen muutos vuoden aikana x_{24} on laskettu vähentämällä hydrologisen vuoden ensimmäisen päivän kosteusvajausta vuoden viimeisen päivän kosteusvajauksesta. Jos kosteusvajauksen muutos vuoden aikana (x_{24}) on positiivinen, ovat alueen vesivarat siis vähentyneet. Keskimääräiset kosteusvajauksen x_{23} ja kosteusvajauksen muutoksen x_{24} arvot eri vuosina on esitetty taulukossa 19. Taulukon 19 perusteella voidaan päätellä, että lokakuun lopussa maa on ollut suhteellisen kuivaa vuosina 1958, 1959 ja 1964. Maan kosteusvajauksen muutoksen vaihtelut ovat olleet edellä esitetyllä tavalla laskien suhteellisen suuret, 200... — 200 mm.

Taulukko 19. Keskimääräinen maan kosteusvajaus \bar{x}_{23} (mm) hydrologisen vuoden vaihteessa 31. 10. ja kosteusvajauksen muutos \bar{x}_{24} (mm) vuoden aikana hydrologisilla havaintoalueilla.

Table 19. Mean soil moisture \bar{x}_{23} (mm) at the turn of water years (October 31) and the annual mean change \bar{x}_{24} (mm) in soil moisture deficiency.

Hydrologinen vuosi	Pvm.	Keskimääräinen maan kosteusvajaus	Keskimääräinen kosteusvajauksen muutos
Water year	Date	Mean soil moisture deficiency	Mean change in soil moisture deficiency
		\bar{x}_{23}	\bar{x}_{24}
	31. 10. 1957	130	
1958			80
	31. 10. 1958	210	
1959			20
	31. 10. 1959	230	
1960			-50
	31. 10. 1960	180	
1961			-40
	31. 10. 1961	140	
1962			0
	31. 10. 1962	140	
1963			60
	31. 10. 1963	200	
1964			20
	31. 10. 1964	220	

1.9 Vuosien 1958...1964 meteorologinen ja hydrologinen luonne

Selvitettäessä missä määrin tämän tutkimuksen kohteena olleet vuodet 1958...1964 poikkeavat meteorologisessa ja hydrologisessa mielessä normaalista, on tutkittu neljän eri puolella Suomea sijaitsevan ilmastoaseman lämpötila- ja sadantatiloja sekä kahden lähes järveltö-
män vesistöalueen valuntatiloja.

Taulukossa 20 on esitetty Jokioisissa, Jyväskylässä, Oulussa ja Sodankylässä havaitut kuukauden, puolen vuoden sekä vuoden keskilämpötilat hydrologisina vuosina 1958...1964, sekä verrattu näitä arvoja ns. normaaliarvoihin eli vuosijakson 1931...1960 keskiarvoihin. Eri vuosien osalta havaitaan vuosien 1959 ja 1961, varsinkin kyseisten talvien, olleen huomattavasti normaalia lämpimämpiä ja talvien 1958 ja 1963 normaalia kylmempiä. Kesä 1962 on ollut huomattavasti normaalia kylmempi. Seitsemän vuoden (1958...1964) jaksosta lasketut vuoden ja puolen vuoden keskilämpötilat eivät eroa merkittävästi normaalijakson

Taulukko 20. Lämpötila (°C) eräillä ilmastoasemilla hydrologisina vuosina 1958...1964 ja normaalijakson 1931...1960 aikana.

Asema	Hydrologinen vuosi	Kuukausi <i>Month</i>					
Station	Water year	11.	12.	1.	2.	3.	4.
Jokioinen	1958	0,2	— 2,9	— 9,1	—10,5	— 8,5	0,4
	1959	2,6	— 7,0	— 5,9	— 2,8	— 0,4	3,8
	1960	0,9	— 5,8	— 9,9	— 9,8	— 4,9	1,7
	1961	— 1,4	— 0,8	— 5,0	— 1,3	— 0,6	2,0
	1962	1,3	— 5,7	— 4,8	— 5,9	— 8,6	3,7
	1963	0,6	— 7,2	—10,5	—11,7	— 9,4	2,1
	1964	— 1,2	— 4,7	— 3,3	—10,1	— 6,3	2,3
	1958...1964	0,4	— 4,9	— 6,9	— 7,4	— 5,5	2,3
	1931...1960	— 0,1	— 3,5	— 7,2	— 7,8	— 4,6	2,2
Jyväskylä, Luonetjärvi	1958	— 1,0	— 4,3	—13,0	—11,7	— 9,2	— 0,6
	1959	1,5	— 9,9	— 8,6	— 4,1	— 0,8	2,0
	1960	— 1,0	— 9,8	—11,3	—11,0	— 4,6	1,2
	1961	— 3,3	— 3,7	— 6,1	— 2,7	— 1,9	0,2
	1962	0,6	— 7,7	— 6,3	— 7,6	—10,2	3,3
	1963	0,0	— 9,9	—11,9	—12,9	—10,4	1,8
	1964	— 1,7	— 6,8	— 4,7	—12,0	— 7,0	1,5
	1958...1964	— 0,7	— 7,4	— 8,8	— 8,9	— 6,3	1,3
	1931...1960	— 1,6	— 5,8	— 9,4	— 9,2	— 5,4	1,4
Oulu	1958	— 1,1	— 6,1	—14,7	—12,5	— 9,0	— 1,6
	1959	1,6	—11,2	—10,5	— 4,5	— 1,3	0,5
	1960	— 2,6	— 9,3	—11,6	—12,3	— 5,5	1,3
	1961	— 3,7	— 4,9	— 6,8	— 4,8	— 3,6	— 2,0
	1962	0,2	— 9,8	—10,1	— 8,0	—13,4	2,1
	1963	— 0,2	— 9,2	—12,3	—12,6	—10,6	1,1
	1964	— 2,4	— 6,7	— 3,6	—10,7	— 6,5	0,2
	1958...1964	— 1,2	— 8,2	— 9,9	— 9,3	— 7,1	0,2
	1931...1960	— 2,1	— 6,0	— 9,5	— 9,9	— 7,0	— 0,1
Sodankylä	1958	— 6,1	—14,2	—16,5	—13,7	— 9,4	— 3,8
	1959	— 1,8	—15,9	—13,7	— 5,4	— 2,6	— 3,4
	1960	— 6,6	—13,4	—18,0	—16,0	— 6,0	— 0,1
	1961	— 9,3	— 9,9	—10,2	— 9,6	— 6,1	— 4,0
	1962	— 2,9	—13,8	—14,7	—10,8	—16,5	0,1
	1963	— 2,8	—16,6	—16,3	—16,6	—14,5	— 0,6
	1964	— 6,3	—11,6	— 7,6	—14,7	— 9,0	— 2,6
	1958...1964	— 5,1	—13,6	—13,9	—12,4	— 9,2	— 2,1
	1931...1960	— 5,8	— 9,8	—13,5	—13,0	— 9,0	— 2,1

Table 20. Temperatures (°C) in various climatologic stations in water years 1958 to 1964 and 1931 to 1960 (normal period).

5.	6.	7.	8.	9.	10.	Keskiarvot Meas		
						11...4.	5...10.	11...10.
7,9	13,0	15,0	13,7	9,7	5,7	— 5,1	10,8	2,9
9,1	14,3	17,6	16,3	8,2	4,2	— 1,6	11,6	5,0
10,7	15,5	17,0	14,4	9,6	2,6	— 4,6	11,6	3,5
9,5	16,2	14,7	12,9	9,2	8,4	— 1,2	11,8	5,3
7,8	11,5	13,8	12,2	8,9	6,1	— 3,3	10,1	3,4
12,5	13,8	16,1	15,4	12,0	5,1	— 6,0	12,5	3,2
9,0	13,7	15,3	13,7	9,3	6,3	— 3,9	11,2	3,7
9,5	14,0	15,6	14,1	9,6	5,5	— 3,7	11,4	3,9
8,8	13,7	16,4	13,7	9,7	4,3	— 3,5	11,1	3,8
7,2	12,9	14,2	13,4	8,5	4,2	— 6,6	10,1	1,7
8,2	14,1	16,8	14,8	7,2	3,0	— 3,3	10,7	3,7
10,3	15,4	17,3	14,3	8,3	0,4	— 6,1	11,0	2,5
8,8	16,2	15,6	13,0	7,8	7,3	— 2,9	11,5	4,3
7,7	11,8	13,4	11,3	7,8	5,2	— 4,7	9,5	2,4
12,0	12,7	15,5	14,6	10,9	4,7	— 7,2	11,7	2,3
8,2	13,0	15,4	12,8	8,3	5,7	— 5,1	10,6	2,7
8,9	13,7	15,5	13,5	8,4	4,4	— 5,1	10,7	2,8
8,1	13,4	16,3	14,1	8,8	3,0	— 5,0	10,6	2,8
5,5	12,6	14,2	14,6	8,8	3,6	— 7,5	9,9	1,2
7,7	13,7	16,4	14,8	7,4	2,5	— 4,2	10,4	3,1
10,4	14,5	18,6	15,1	8,7	— 1,1	— 6,7	11,0	2,2
6,3	15,6	17,0	13,5	8,5	7,9	— 4,3	11,5	3,6
6,9	11,0	13,6	11,8	8,0	4,8	— 6,5	9,4	1,4
11,3	11,8	14,6	14,5	11,2	3,6	— 7,3	11,2	1,9
7,7	11,6	15,3	13,5	7,9	5,9	— 5,0	10,3	2,6
8,0	13,0	15,7	14,0	8,6	3,9	— 5,9	10,5	2,3
7,0	12,6	16,6	14,4	8,9	2,6	— 5,8	10,4	2,3
2,2	10,9	12,0	12,9	6,2	0,6	—10,6	7,5	— 1,6
6,0	12,4	14,3	13,0	5,0	— 0,7	— 7,1	8,3	0,6
8,8	12,5	17,7	12,6	7,1	— 5,4	—10,0	8,9	— 0,6
3,7	14,1	15,7	11,6	6,8	5,7	— 8,2	9,6	0,7
4,6	9,2	11,1	9,5	6,0	0,8	— 9,8	6,9	— 1,5
10,6	9,2	12,9	12,2	8,9	1,0	—11,2	9,1	— 1,1
5,6	10,1	14,2	11,3	5,3	3,5	— 8,6	8,3	— 0,2
5,9	11,2	14,0	11,9	6,5	0,8	— 9,4	8,4	— 0,5
4,9	11,3	14,7	12,0	6,2	— 0,5	— 8,9	8,1	— 0,4

Taulukko 21. Sadanta (mm) eräillä ilmastoasemilla hydrologisina vuosina 1958...1964 ja normaaliajakson (1931...1960) aikana.

Asema <i>Station</i>	Hydrologinen vuosi <i>Water year</i>	Kuukausi <i>Month</i>					
		11.	12.	1.	2.	3.	4.
Jokioinen	1958	31	79	24	23	26	14
	1959	51	46	45	22	14	19
	1960	46	35	38	26	3	27
	1961	68	48	49	20	34	18
	1962	58	29	64	34	17	49
	1963	52	28	39	9	15	17
	1964	69	10	14	28	2	25
	1958...1964	54	39	39	23	16	24
	1931...1960	51	41	35	27	25	33
Jyväskylä	1958	19	93	31	27	31	27
	1959	45	64	70	24	22	37
	1960	45	26	52	29	10	23
	1961	81	53	61	38	43	12
	1962	51	38	52	62	21	44
	1963	65	38	60	14	23	41
	1964	49	20	27	34	13	50
	1958...1964	51	47	50	33	23	34
	1931...1960	48	41	39	29	27	31
Oulu	1958	30	35	21	23	10	25
	1959	44	27	42	24	49	37
	1960	36	31	51	17	14	33
	1961	54	45	47	32	61	15
	1962	54	55	63	42	13	51
	1963	33	34	17	21	10	11
	1964	59	37	9	14	3	45
	1958...1964	44	38	36	25	23	31
	1931...1960	41	36	33	28	23	34
Sodankylä	1958	42	18	23	24	16	36
	1959	31	24	49	20	24	24
	1960	36	29	37	17	12	21
	1961	31	49	29	27	24	12
	1962	55	34	41	27	6	37
	1963	40	16	22	21	5	15
	1964	53	31	20	19	3	34
	1958...1964	41	29	32	22	13	26
	1931...1960	39	31	27	26	20	31

Table 21. Precipitation (mm) in various climatologic stations in water years 1958 to 1964 and 1931 to 1960 (normal period).

						Yhteensä Total		
5.	6.	7.	8.	9.	10.	11...4.	5...10.	11...10.
76	33	63	60	9	29	197	270	467
33	26	25	54	8	41	197	187	384
26	78	102	64	22	32	175	324	499
43	80	112	97	31	43	237	406	643
42	38	50	95	86	59	251	370	621
40	25	50	128	50	70	160	363	523
45	28	50	73	63	45	148	304	452
44	44	65	82	38	46	195	319	514
39	42	66	74	61	61	212	343	555
82	38	100	37	27	70	228	354	582
54	33	71	121	34	66	262	379	641
44	91	109	67	16	40	185	367	552
41	80	174	135	20	40	288	490	778
59	46	80	88	86	67	268	426	694
36	16	35	124	99	73	241	383	624
66	44	40	67	75	43	193	335	528
55	50	87	91	51	57	238	391	629
44	58	74	74	66	62	215	378	593
75	38	78	26	27	35	144	279	423
49	17	19	100	18	41	223	244	467
20	67	68	67	28	16	182	266	448
39	69	104	67	29	74	254	382	636
52	71	57	77	60	32	278	349	627
20	44	54	63	63	48	126	292	418
33	49	25	80	101	30	167	318	485
41	51	58	69	47	39	197	305	502
32	49	70	65	57	46	195	319	514
36	70	75	26	29	33	159	269	428
31	15	31	87	28	27	172	219	391
27	39	91	71	22	5	152	255	407
45	87	82	93	49	73	172	429	601
62	87	87	33	42	53	200	364	564
25	80	48	59	104	35	119	351	470
23	60	46	95	80	39	160	343	503
36	63	66	66	51	38	163	320	483
31	56	74	71	57	43	174	332	506

vastaavista arvoista, joten kokonaisuutena vuosijakso 1958...1964 on ollut lämpötilan suhteen normaali, mutta on sisältänyt melkoisia vaihteluita.

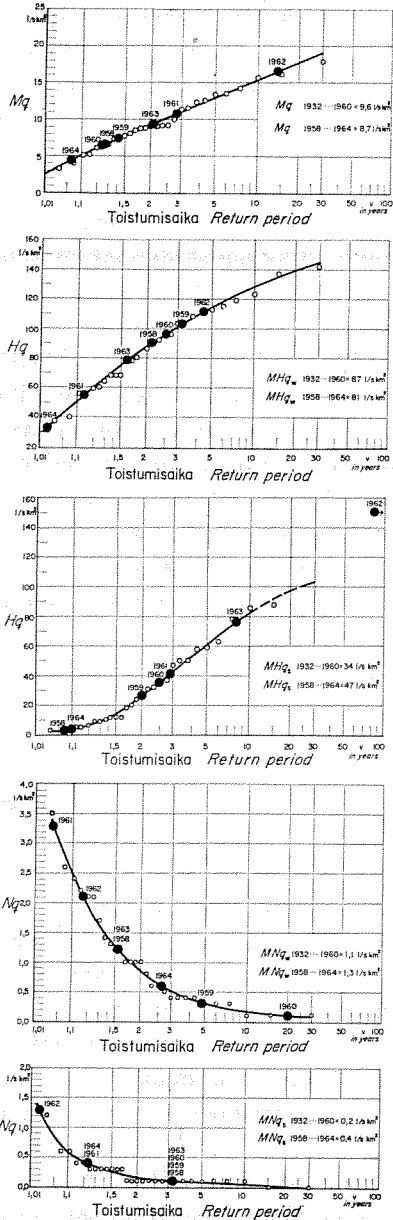
Taulukossa 21 on esitetty edellä mainituilla ilmastoasemilla mitatut vastaavat sadannat. Normaalaa runsassateisempia ovat olleet suurimmassa osassa Suomea vuodet 1961 ja 1962. Varsinkin talvi 1962 ja kesä 1961 ovat olleet runsassateisia. Kaikki muut viisi vuotta ovat olleet normaalia vähäsateisempia. Varsinkin talvet 1963 ja 1964 ovat olleet vähäsateisia, mikä ilmenee myös lumihavainnoista (Mustonen 1965a). Kesät 1958 ja 1959 ovat olleet vähäsateisimpia näistä seitsemästä kesästä. Kokonaisuutena vuosijakso 1958...1964 on ollut Jokioisissa 7 %, Oulussa 2 % ja Sodankylässä 5 % normaalia vähäsateisempi, mutta Jyväskylässä 6 % normaalia runsassateisempi. Vuosijakso 1958...1964 on siis ollut keskimäärin hiukan normaalia vähäsateisempi ja sisältänyt huomattavia vaihteluita.

Vuosien 1958...1964 hydrologisen luonteen selvittämiseksi on analysoitu Hydrologisen toimiston Mäntsälänjoessa sekä Kalajoessa suorittamia havaintoja. Mäntsälänjoen vesistöalueen ala Ridanforsin asteikon kohdalla on 780 km² ja järvisyys 2,5 %. Kalajoen vesistöalue on Tyngän asteikon kohdalla 3 025 km² ja järvisyys 1,8 %. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty näissä vesistöissä mitatut hydrologisten vuosien keskivalumat, kevät- ja kesäylivalumat sekä talvi- ja kesäalivalumat vuosijakson 1932...1960 aikana Mäntsälänjoessa ja vuosijakson 1931...1960 aikana Kalajoessa Gumbelin todennäköisyyspaperilla (Gumbel 1954). Valuma-arvot on sijoitettu paperille suuruusjärjestyksessä. Toistumisaika T_r vuosina on laskettu kaavalla $T_r = \frac{n+1}{m}$, jossa n on havaintovuosien lukumäärä ja m tapauksen järjestysnumero.

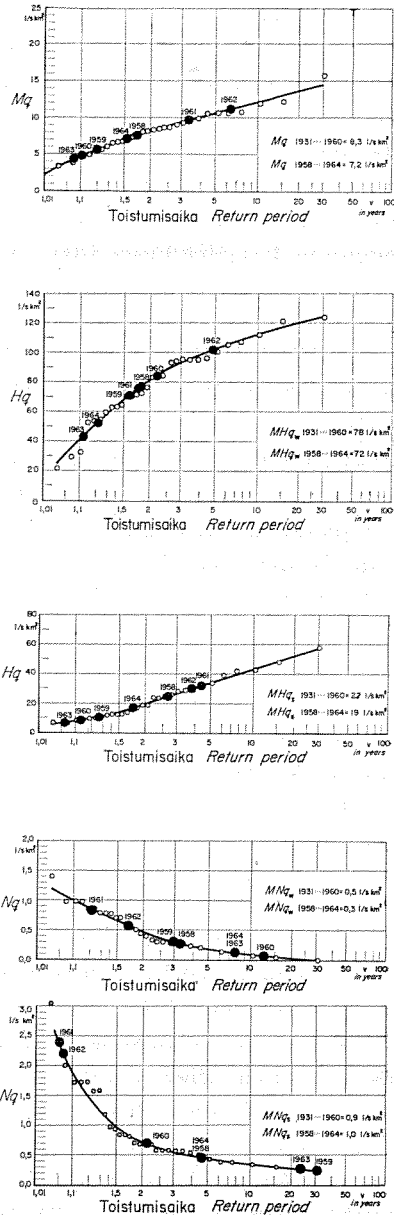
Keskivalumia ja ylivalumia osoittavien pisteiden kautta silmävaraisesti piirretyt käyrät ilmaisevat, kuinka suurina vähintään nämä valumat todennäköisesti toistuvat keskimäärin kerran abskissa-akselilla ilmaistun ajan kuluessa. Vastaavasti alivalumia osoittavien pisteiden kautta piirretyt käyrät ilmaisevat, kuinka suurina korkeintaan alivalu-

Fig. 7. Annual mean runoff (Mq), spring and summer maximum runoffs (Hq_w , Hq_s), winter and summer minimum runoffs (Nq_w , Nq_s) in years 1932 to 1960 in Mäntsälänjoki, plotted on Gumbel probability paper. The corresponding runoffs for the years 1958 to 1964 are plotted on free-hand drawn curves (filled circles) from runoff statistics in years 1932 to 1960.

Fig. 8. Annual mean runoff (Mq) spring and summer maximum runoffs (Hq_w , Hq_s), winter and summer minimum runoffs (Nq_w , Nq_s) in years 1931 to 1960 in Kalajoki, plotted on Gumbel probability paper. The corresponding runoffs for the years 1958 to 1964 are plotted on free-hand drawn curves (filled circles) from runoff statistics in years 1931 to 1960.



Kuva 7. Mantsälänjoen vuotuinen keskivaluma (Mq), kevät- ja kesäylivaluma (Hq_w , Hq_s) sekä talvi- ja kesäalivaluma (Nq_w , Nq_s) vuosina 1932...1960 Gumbelin todennäköisyyspaperilla. Vuosien 1958...1964 valumat on sijoitettu vuosijakson 1932...1960 valumien perusteella käsivaraisesti piirretyille käyrille.



Kuva 8. Kalajoen vuotuinen keskivaluma (Mq) kevät- ja kesäylivaluma (Hq_w , Hq_s) sekä talvi- ja kesäalivaluma (Nq_w , Nq_s) vuosina 1931...1960 Gumbelin todennäköisyyspaperilla. Vuosien 1958...1964 valumat on sijoitettu vuosijakson 1931...1960 valumien perusteella käsivaraisesti piirretyille käyrille.

mat todennäköisesti toistuvat keskimäärin kerran abskissa-akselilla ilmaistun ajan kuluessa. Vuosien 1958...1964 valumat on sijoitettu käyrille niiden suuruuden perusteella, jolloin abskissa-akselilta voidaan lukea kunkin vuoden valuman todennäköinen toistumisaika. Gumbelin todennäköisyyspaperin todetaan soveltuvan kyseisten valumien todennäköisen toistuvuuden esittämiseen. Keskiarvon toistumistodennäköisyyttä voidaan kuvata suoralla tai lähes suoralla viivalla, mutta yli- ja alivalumia käyrillä kuvaajilla. Ylivalumien toistumistodennäköisyyden kuvaajien käyryys harvinaisten tapausten puolella johtunee tulva-alueista, jotka huomattavasti pienentävät harvinaisia ylivalumia.

Mäntsälänjoessa ovat seitsemän vuoden keskivalumista ainoastaan vuosien 1962 ja 1961 arvot olleet suurempia kuin vuosijakson 1932...1960 keskivaluma (9,6 l/s km²). Vuoden 1962 arvo on ollut lähes kaksinkertainen pitkän ajanjakson keskivalumaan verrattuna ja sen todennäköinen toistumisaika on lähes 20 vuotta. Vuoden 1964 keskivaluma on ollut pienempi kuin puolet pitkän ajan keskivalumasta. Kevätylivalumista vuosien 1962, 1959, 1960 ja 1958 arvot ovat olleet keskiylivalumaa (87 l/s km²) suurempia. Vuoden 1964 kevätylivaluma on ollut poikkeuksellisen pieni, vain runsas kolmasosa keskiylivalumasta. Kesäylivalumista ovat vuosien 1962, 1963, 1961 ja 1960 arvot olleet keskiylivalumaa (34 l/s km²) suurempia. Vuoden 1962 kesäylivaluma Mäntsälänjoessa on ollut erittäin harvinainen, mahdollisesti kerran 200...500 vuodessa sattuva. Vuosien 1958 ja 1964 kesäylivalumat ovat olleet erittäin pieniä. Mäntsälänjoen kesäajan keskiylivaluma on vain noin kolmasosa kevätajan keskiylivalumasta. Talvialivalumista ovat vuosien 1960, 1959 ja 1964 arvot olleet vuosijakson 1932...1960 keskialivalumaa (1,1 l/s km²) pienempiä. Vuoden 1960 talvialivaluman toistumisaika on noin 20 vuotta. Kesäalivalumista ovat vuosien 1958, 1959, 1960 ja 1963 arvot olleet keskialivalumaa (0,2 l/s km²) pienempiä. Mäntsälänjoen kesäajan keskialivaluma on vain noin viidesosa talviajan keskialivalumasta.

Kalajoen vuosittaisista keskivalumista ainoastaan vuosien 1962 ja 1961 arvot ovat olleet vuosijakson 1931...1960 keskivalumaa (8,3 l/s km²) suurempia. Vuosien 1963, 1960 ja 1959 arvot ovat olleet erityisen pieniä, vain noin puolet normaalijakson keskivalumasta. Kevätylivalumista vain vuosien 1962 ja 1960 arvot ovat olleet keskiylivalumaa (78 l/s km²) suurempia. Varsinkin vuosien 1964 ja 1963 arvot ovat olleet erityisen pieniä, hieman yli puolet keskiylivalumasta. Kesäylivalumista vuosien 1961, 1962 ja 1958 arvot ovat olleet keskiylivalumaa (22 l/s km²) suurempia. Vuosien 1963, 1960 ja 1959 arvot ovat olleet huomattavasti keskiylivalumaa pienempiä. Kalajoen kesäajan keskiylivaluma on noin neljäsosa talviajan keskiylivalumasta. Talviajan alivalumista vuosien 1960, 1963, 1964, 1958 ja 1959 arvot ovat olleet keskialivalumaa (0,5 l/s km²) pie-

nempiä. Myös kesäajan alivalumista vuosien 1959, 1963, 1958, 1964 ja 1960 arvot ovat olleet keskialivalumaa ($0,9 \text{ l/s km}^2$) pienempiä. Vuosien 1961 ja 1962 arvot ovat olleet harvinaisen suuria. Kalajoen kesäajan keskialivaluma on noin kaksinkertainen talviajan keskialivalumaan verrattuna.

Yhteenvetona näiden kahden jokivesistön valumahavainnoista voidaan todeta, että vuodet 1962 ja 1961 ovat olleet runsasvetisiä ja vuodet 1963 ja 1964, sekä osittain myös vuodet 1959, 1960 ja 1958 vähävetisiä. Vuosijakson 1958...1964 keskivaluma on ollut noin 10 % pienempi kuin normaalivuosijakson 1931...1960 keskivaluma. Samoin kevätajan keskiylivaluma on ollut noin 10 % normaaliarvoa pienempi. Alivaluma on ollut hieman normaalia suurempi.

2. VALUNTASUUREIDEN ANALYSOINTIMENETELMÄ

Hydrologisessa tutkimuksessa pyritään jatkuvasti lisäämään valunta-ilmiöihin vaikuttavien luonnonlakien tuntemusta. Eräitä hydrologian lainalaisuuksia tunnetaan melko hyvin, mutta monien tärkeiden ilmiöiden riippuvuutta luonnon tekijöistä selittävät vain ylimalkaiset kvalitatiiviset päätelmät. Hydrologian riippuvuussuhteiden heikko tunteminen johtuu niistä suurista vaikeuksista, mitä hydrologilla on sekä havaintoaineiston keräämisessä että tulosten analysoinnissa.

Haluttaessa selvittää valuma-alueen ominaisuuksien, kuten alan, kaltevuuden, kasvipeitteen ja maalajin sekä meteorologisten tekijöiden, kuten sadannan, lämpötilan, potentiaalisen haihdunnan, roudan ja lumi-peitteen vaikutuksia keskeisiin valuntasuureisiin, kuten vuosivaluntaan, ylivalumaan ja alivalumaan, on kerättävä valuntahavaintoja huomattavan monien vuosien ajan lukuisilta, erilaisissa ilmasto-, pinnanmuoto- ja maaperäoloissa sijaitsevilta havaintoalueilta. Meteorologisia tekijöitä on havaittava samanaikaisesti ja selvitettävä valuma-alueiden ominaisuudet. Vasta sitten, kun on mitattu tutkittavien valuntasuureiden ja selittävien meteorologisten ja aluesuureiden sekä suuria että pieniä arvoja, on mahdollista tehdä luotettavia analyyseja. Kehitetyt luonnonilmiöiden mallit pitävät tavallisesti paikkansa vain mallia johdettaessa käytettävänä olleen aineiston vaihteluiden puitteissa.

Edellä osassa 1. on selostettu tämän tutkimuksen havaintoaineistoa. Sekä valunta-, ilmasto- että aluesuureiden vaihtelut ovat suuria, koska havaintoalueet sijaitsevat eri puolilla Suomea ja havaintojakso käsittää hydrologisesti toisistaan poikkeavia vuosia. Aineisto on suhteellisen laaja, joten pienetkin vaikutukset tulevat selvästi esille. Valuntasuurei-

den sekä selittävien ilmasto- ja aluesuureiden mittaustarkkuus täyttää kohtuulliset vaatimukset, mikä parhaiten ilmenee suoritettujen analyysien tarkastelun yhteydessä.

Toinen, aina viime aikoihin asti vaikuttanut erittäin suuri vaikeus on ollut havaintoaineiston matemaattinen käsittely, johon liittyy matemaattisten tulosten hydrologinen tulkinta.

Tietokoneet ovat 1950-luvun lopulta lähtien täydellisesti mullistaneet luonnontieteellisen tutkimuksen analysointimahdollisuudet. Tässä tutkimuksessa on voitu käyttää regressioanalyysia suhteellisen laajasti ja sellaisissa muodoissa, että se ei olisi tullut kysymykseen ennen 1950-luvun loppuvuotia (vert. Sharp, Gibbs, Owen ja Harris 1960, Searcy 1960, Harris, Sharp, Gibbs ja Owen 1961, Snyder 1962).

Tavallisessa usean muuttujan lineaarisessa regressioanalyysissa oletetaan, että selitettävä satunnaissuure y riippuu selittävästä suureista x_1, x_2, \dots, x_m kaavan (4) esittämän mallin mukaisesti.

$$(4) \quad y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_m \cdot x_m + z$$

a :t ovat regressiokertoimia, tuntemattomia parametrejä, joiden estimointi on analyysin tarkoituksena. z on selitysvirhe, normaalin satunnaismuuttuja, jonka hajonta on σ ja keskiarvo on nolla. Regressiokertoimien estimaatit määritetään havaintoaineiston muodostamasta yhtälöryhmästä pienimmän neliösumman keinolla minimoimalla selitysvirheen z hajonta eli jäännöshajonta s_0 . Mallin selittävyttä voidaan kuvata yhteiskorrelaatiokertoimen R avulla.

Lisäämällä analyysiin yksi selittäjä kerrallaan saadaan selville, kuinka paljon funktion neliösumma pienenee ja yhteiskorrelaatiokerroin paranee kunkin selittäjän mukaan tulon ansiosta. Regressiokertoimien keskihajonnat voidaan myös laskea.

Regressioanalyysissa oletetaan, että selittävät muuttujat x eivät ole satunnaissuureita, vaan tarkkoja arvoja. Kaikkien muuttujien satunnaismuutoksen oletetaan keskittyvän funktioon y . Näinhän ei hydrologisessa aineistossa ole asianlaita, vaan selittävät muuttujat ovat samantyyppisiä satunnaissuureita kuin selitettävä valuntasuure. Tämä väärä oletus ei kuitenkaan estä saamasta analyysilla käyttökelpoisia tuloksia.

Tässä tutkimuksessa käytetyt selittäjät korreloivat keskenään eräissä tapauksissa melko voimakkaasti. Tästä aiheutuu regressioanalyysin käytön suurin vaikeus. Jos nimittäin selittäjät korreloivat voimakkaasti keskenään, eivät mallin (4) regressiokertoimien estimaatit ilmaise kunkin selittäjän todellisia, fysikaalisia luonnonlakeja vastaavia vaikutuksia suureeseen y , vaan malli ilmaisee ainoastaan yhtälön, joka antaa pienimmän jäännöseliösumman. Regressiokertoimien suuruus eli painosuhteen

jakautuminen keskenään korreloivien selittäjien välillä saattaa riippua pelkästä sattumasta. Saattaapa jonkin selittäjän regressiokerroin saada loogisesti väärän etumerkin. Mitä vähemmän selittäjät korreloivat keskenään, sitä puhtaampia ovat regressiokertoimien merkitykset ja sitä helpompaa on analyysin tulosten tulkinta.

Tavallisen lineaarisen regressioanalyysin käytön vaikeutena on malliin otettavien selittäjien valitseminen. Jos on olemassa suuri joukko, esim. useita kymmeniä mahdollisia selittäjiä, on verraten työlästä varmistautua, mitkä kaikki tekijät todella parantavat mallia ja minkä selittäjien vaikutukset eivät ole merkitseviä. Selittäjien tarkoituksenmukaisen valitsemisen helpottamiseksi on kehitetty erityismenetelmä, josta tässä käytetään nimitystä ortogonaaliregressioanalyysi (Volk 1958).

Ortogonaaliregressioanalyysissa valitaan ensin funktion varianssia parhaiten selittävä muuttuja ja testataan sen merkitsevyys. Tämän jälkeen ortogonalisoidaan kaikki jäljellä olevat selittäjät ensimmäisen selittäjän suhteen, eli niistä kaikista kuoritaan pois tämän voimakkaimman selittäjän vaikutus. Kuorinnan määrä riippuu selittäjien välisestä korrelaatiosta. Tämän jälkeen etsitään seuraavaksi voimakkain selittäjä, lasketaan sen merkitsevyys ja ortogonalisoidaan taas jäljellä olevat muuttajat tämän toisen selittäjän suhteen. Näin jatketaan, kunnes jäljellä olevista selittäjistä voimakkaimman vaikutus ei enää ole merkitsevää. Lopputuloksena saadulla mallilla ei aina ole suurinta mahdollista yhteiskorrelaatiokerrointa, mutta erot tavallisen pienimmän jäännösumman korrelaatiokertoimeen verrattuna eivät koskaan ole suuria.

Tässä tutkimuksessa on käytetty ortogonaaliregressioanalyysia malliin otettavien selittäjien valinnassa. Valintaperusteena on pidetty merkitsevyyttä 5 %:n erehtymisriskillä. On kuitenkin otettava huomioon, että selittäjien korreloidessa voimakkaasti keskenään saattaa jokin selittäjistä tulla hylätyksi sen vuoksi, että edelliset selittäjät ovat «epäoikeudenmukaisesti» ottaneet tililleen kokonaan tämän selittäjän kanssa yhteisen selittävyuden. Tämä asiantila voidaan päätellä suorittamalla ortogonaaliregressioanalyysi pakkoehdon avulla niin, että kyseinen selittäjä tulee analyysissä ennen sen kanssa korreloivia selittäjiä. Tämä mahdollinen selittäjän poisjääminen osittain väärillä perusteilla ei merkitse kuitenkaan mallin selittävyuden oleellista huonontumista. Sensijaan analyysi johtaa väärin päätelmiin kyseisen selittäjän todellisesta merkityksestä tutkittavassa ilmiössä. Tästä syystä kaikissa analyyseissä ei ole menetelty aivan kaavamaisesti merkitsevyyden testaamisessa.

Ortogonaaliregressioanalyysillä valittuja selittäjiä käyttäen on lopuksi suoritettu tavallinen lineaarinen regressioanalyysi lisäämällä analyysiin yksi tekijä kerrallaan sekä laskettu regressiokertoimien hajonnat.

Taulukko 22. Selittäjien keskinäisen korrelaation korrelaatiokertoimet r .

	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_9	x_{10}	x_{11}
$x_1^{1/3}$	-0,34	-0,10	0,39	-0,30	-0,19	-0,05	-0,02	-0,06
x_2		-0,44	-0,48	0,44	0,83	-0,01	0,11	0,24
x_3			-0,37	-0,37	-0,42	-0,05	0,02	-0,23
x_4				-0,30	-0,55	0,00	-0,07	-0,02
x_5					0,41	0,07	0,08	0,10
x_6						0,02	0,12	0,20
x_9							-0,10	0,25
x_{10}								0,04
x_{11}								
x_{13}								
x_{14}								
x_{15}								
x_{16}								
x_{17}								
x_{18}								
x_{19}								
x_{20}								
x_{23}								

Jäännösvirheitä analysoimalla on eliminoitu aineiston ilmeiset virheet. Jäännösvirhejakautumissa ilmenneiden tendenssien perusteella on saatu aihe eräiden uusien selittäjien mukaan ottoon. Jäännösvirheiden on todettu kaikissa analyyseissa olevan normaalisti jakautuneita siinä määrin kuin menetelmä edellyttää.

Tulosten hydrologista tulkintaa varten on laskettu selittävien muuttujien keskinäisen korrelaation kertoimet (taulukko 22).

Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia on mahdollista tarkistaa sitten, kun on saatu havainnot joidenkin vuosien ajalta tässä käsitellyn vuosijakson jälkeen suorittamalla samat analyysit uudella aineistolla.

Eräitä selittäjiä ei ole käytetty sellaisenaan, vaan niitä on transformoitu selittäjän vaihteluiden saamiseksi mielekkäisiin rajoihin lineaarisessa mallissa. Transformoinnin merkitys tulee esille esim. alan vaikutuksessa. Valuma-alueen ala tämän tutkimuksen aineistossa vaihtelee 0,7...122 km². On epätodennäköistä, että alan vaikutus johonkin pinta-alayksikköä kohti laskettuun valuntasuureeseen olisi yli satakertainen suurimmalla alueella verrattuna pienimpään alueeseen. Sovellettaessa mahdollisesti esiinsaataavaa valuntasuureen ja alan välistä riippuvuutta hyvin suurilla alueilla, tulisi lineaarisen riippuvuuden epätodennäköisyys vielä ilmeisemmäksi. Esimerkiksi tuhannen neliökilometrin alueella olisi alan vaikutus tuhatkertainen yhden neliökilometrin suuruiseen

Table 22. Coefficients of correlation r between independent variables.

x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{23}	x_{24}
-0,06	-0,03	-0,02	-0,11	-0,05	0,01	0,00	0,06	0,12	-0,04
0,20	0,42	-0,16	-0,02	-0,29	0,26	-0,13	0,28	0,15	0,03
-0,16	-0,52	0,38	0,18	0,40	-0,30	0,20	-0,34	-0,09	0,02
-0,05	0,05	-0,06	-0,08	-0,01	-0,01	-0,05	0,01	-0,02	0,01
0,13	0,12	-0,25	0,18	0,12	-0,05	0,00	-0,10	-0,21	0,06
0,19	0,35	-0,24	-0,06	-0,27	0,23	-0,12	0,28	0,20	-0,01
0,56	-0,01	-0,22	-0,38	0,12	-0,20	0,20	-0,13	-0,06	-0,49
0,48	0,04	-0,14	0,02	0,14	-0,05	-0,01	-0,03	0,00	-0,18
0,77	0,62	-0,60	-0,38	0,08	-0,21	0,18	-0,24	-0,08	-0,16
	0,42	-0,56	-0,42	0,17	-0,26	0,21	-0,23	-0,07	-0,42
		-0,49	-0,22	-0,39	0,31	0,16	-0,20	0,12	-0,04
			0,17	-0,14	0,26	-0,33	0,25	0,02	0,19
				0,42	-0,13	0,13	-0,17	0,09	0,28
					-0,88	0,62	-0,71	-0,11	-0,10
						-0,76	0,64	0,00	0,23
							-0,64	0,12	-0,24
								0,17	0,11
									-0,50

alueeseen verrattuna. Todennäköisempää on, että kyseinen vaikutus on esim. viisinkertainen tai kaksinkertainen, jolloin on parempi käyttää transformoituna selittäjänä alan kolmatta tai kuudetta juurta.

On myös aihetta olettaa, että prosentteina ilmaistun pellon osuuden vaikutus ylivalumaan on luonteeltaan kvadraattinen, jolloin tarkasteltavien selittäjien joukkoon on syytä ottaa pellon osuutta ilmaisevan prosenttiluvun toinen potenssi.

Selittäjien ja niiden transformaatioiden onnistunut valitseminen on regressioanalyysin tärkeimpiä edellytyksiä.

3. VALUNTASUUREIDEN ANALYYSIT

3.1 Vuosivalunta

Vuosivaluntaan vaikuttavat meteorologiset ja aluetekijät on valittu 174 havainnon aineistolla suoritettulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut valittavana seuraavat selittäjät: valuma-alueen alan kuutiojuuri $x_1^{1/3}$, maaston keskikaltevuus x_2 , pellon osuus alasta x_3 , suon osuus alasta x_4 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maalajien osuus alasta x_6 , kesäsadanta x_9 , syksysadanta x_{10} , edellisen syksyn sadanta x'_{10} ,

talvi- ja kevätsadanta x_{11} , vuosisadanta x_{13} , roudan syvyys x_{15} , potentiaalinen evapotranspiraatio x_{16} , vuoden keskilämpötila x_{17} ja maan kosteusvajauksen muutos vuoden aikana x_{24} . Tässä niinkuin muissakin analyyseissa on käytetty edellä esitettyä aineistoa kokonaisuudessaan, lukuunottamatta alueen 112 havaintoja. Alan transformaatioista on valittu kuutiojuuri, koska se on osoittautunut parhaiten selittäväksi transformaatioksi tämän tutkimuksen niissä analyyseissa, missä alalla on todettu olevan vaikutusta. Ortogonaaliregressioanalyysi samoin kuin merkitsevillä selittäjillä suoritettu tavallinen regressioanalyysi on suoritettu kahdella tavalla. Toisessa analyysissä on ollut mukana sadanta kolmena osana, x_9 , x_{10} ja x_{11} . Toisessa analyysissä on käytetty pelkkää vuosisadantaa x_{13} .

Merkitseviksi ovat osoittautuneet selittäjät x_5 , x_6 , x_9 , x_{10} , x_{11} , x_{13} , x_{15} , x_{16} , x_{17} ja x_{24} . Kaikki mainitut selittäjät ovat erittäin merkitseviä (erehtymisriski 1 ‰). Parhaiten selittävä malli on esitetty yhtälössä (5).

$$(5) \quad y_1 = -11 + 0,83 \cdot x_{11} + 0,73 \cdot x_{10} + 0,57 \cdot x_9 - 21 \cdot x_{17} - 0,21 \cdot x_{16} + 0,29 \cdot x_{24} - 0,99 \cdot x_{15} + 0,86 \cdot x_6 - 0,77 \cdot x_5$$

$$R = 0,943 \quad s_0 = 34$$

y_1 = vuosivalunta (mm)	$\bar{y}_1 = 269$ mm (y_1 :n keskihajonta 104)
x_5 = puuston kuutiomäärä koko valuma- alueen alaa kohti laskettuna (m ³ /ha)	$\bar{x}_5 = 51$ m ³ /ha (21)
x_6 = karkeiden maalajien osuus alasta (%)	$\bar{x}_6 = 45$ % (15)
x_9 = kesäsadanta (mm)	$\bar{x}_9 = 145$ mm (47)
x_{10} = syksysadanta (mm)	$\bar{x}_{10} = 183$ mm (54)
x_{11} = talvi- ja kevätsadanta (mm)	$\bar{x}_{11} = 243$ mm (70)
x_{13} = vuosisadanta (mm)	$\bar{x}_{13} = 571$ mm (107)
x_{15} = roudan syvyys 31.3. (cm)	$\bar{x}_{15} = 17$ cm (15)
x_{16} = potentiaalinen evapotranspiraatio kesän ja syksyn aikana (mm)	$\bar{x}_{16} = 325$ mm (54)
x_{17} = vuoden keskilämpötila (°C)	$\bar{x}_{17} = 2,6$ °C (1,6)
x_{24} = maan kosteusvajauksen muutos vuoden aikana (mm)	$\bar{x}_{24} = 9$ mm (72)

Mallin (5) yhteiskorrelaatiokerroin R on 0,943 ja jäännöshajonta eli mallin selitysvirheiden hajonta s_0 on 34 mm.

Selittäjäluettelossa on esitetty kunkin selittäjän keskiarvo sekä keskiarvon jäljessä sulkeissa selittäjän yksityisten arvojen keskihajonta. Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (5) mukaisessa järjestyksessä ovat seuraavat: 0,058, 0,059, 0,082, 2,6, 0,079, 0,052, 0,26, 0,24 ja 0,16.

Yhtälöissä (6)–(14) on esitetty malleja vuosivalunnan määrittämiseksi eri selittäjäkombinaatioilla.

- (6) $y_1 = 8 + 1,07 \cdot x_{11}$ $R = 0,739$ $s_0 = 68$
- (7) $y_1 = -90 + 1,06 \cdot x_{11} + 0,55 \cdot x_{10}$ $R = 0,795$ $s_0 = 61$
- (8) $y_1 = -133 + 1,00 \cdot x_{11} + 0,59 \cdot x_{10} + 0,35 \cdot x_9$
 $R = 0,810$ $s_0 = 59$
- (9) $y_1 = -105 + 1,02 \cdot x_{11} + 0,71 \cdot x_{10} + 0,47 \cdot x_9 - 28 \cdot x_{17}$
 $R = 0,914$ $s_0 = 41$
- (10) $y_1 = 139 + 0,86 \cdot x_{11} + 0,59 \cdot x_{10} + 0,12 \cdot x_9 - 0,63 \cdot x_{16}$
 $R = 0,862$ $s_0 = 51$
- (11) $y_1 = -36 + 0,98 \cdot x_{11} + 0,70 \cdot x_{10} + 0,40 \cdot x_9 - 0,17 \cdot x_{16} - 25 \cdot x_{17}$
 $R = 0,916$ $s_0 = 40$
- (12) $y_1 = -61 + 0,97 \cdot x_{11} + 0,77 \cdot x_{10} + 0,56 \cdot x_9 - 24 \cdot x_{17} - 0,21 \cdot x_{16} +$
 $0,25 \cdot x_{24}$ $R = 0,926$ $s_0 = 38$
- (13) $y_1 = -4 + 0,86 \cdot x_{11} + 0,74 \cdot x_{10} + 0,53 \cdot x_9 - 24 \cdot x_{17} - 0,23 \cdot x_{16} +$
 $0,26 \cdot x_{24} - 0,86 \cdot x_{15}$ $R = 0,932$ $s_0 = 37$
- (14) $y_1 = 10 + 0,85 \cdot x_{11} + 0,65 \cdot x_{10} + 0,39 \cdot x_9 - 22 \cdot x_{17} - 0,16 \cdot x_{16} -$
 $0,88 \cdot x_{15} + 0,82 \cdot x_6 - 0,66 \cdot x_5$ $R = 0,929$ $s_0 = 37$

Kun on käytetty vuodenaikojen sadantojen x_9 , x_{10} ja x_{11} asemasta vuosisadantaa x_{13} , on saatu yhtälöt (15)–(21).

- (15) $y_1 = -153 + 0,74 \cdot x_{13}$ $R = 0,779$ $s_0 = 63$
- (16) $y_1 = 94 + 0,62 \cdot x_{13} - 0,55 \cdot x_{16}$ $R = 0,822$ $s_0 = 58$
- (17) $y_1 = -87 + 0,79 \cdot x_{13} - 0,07 \cdot x_{16} - 27 \cdot x_{17}$ $R = 0,894$ $s_0 = 45$
- (18) $y_1 = -110 + 0,86 \cdot x_{13} - 0,15 \cdot x_{16} - 25 \cdot x_{17} + 0,35 \cdot x_{24}$
 $R = 0,917$ $s_0 = 40$
- (19) $y_1 = -32 + 0,77 \cdot x_{13} - 0,17 \cdot x_{16} - 26 \cdot x_{17} + 0,33 \cdot x_{24} - 1,07 \cdot x_{15}$
 $R = 0,926$ $s_0 = 38$
- (20) $y_1 = -18 + 0,68 \cdot x_{13} - 0,07 \cdot x_{16} - 24 \cdot x_{17} - 1,23 \cdot x_{15} + 0,95 \cdot x_6 -$
 $0,77 \cdot x_5$ $R = 0,916$ $s_0 = 40$
- (21) $y_1 = -43 + 0,76 \cdot x_{13} - 0,15 \cdot x_{16} - 22 \cdot x_{17} + 0,35 \cdot x_{24} - 1,16 \cdot x_{15} +$
 $0,97 \cdot x_6 - 0,86 \cdot x_5$ $R = 0,940$ $s_0 = 34$

Taulukko 23. Vuosivalunnan y_1 neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_1 :n neliösumma $17\,620 \cdot 10^2$, vapausasteiden luku 173.

Table 23. Analysis of the annual runoff y_1 . Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_1 $17\,620 \cdot 10^2$; degrees of freedom 173.

Selittäjät Independent variables	x_{11}	x_{10}	x_9	x_{17}	x_{16}	x_{24}	x_{15}	x_6	x_5
Neliösumma $\cdot 10^{-2}$ Sum of squares $\cdot 10^{-2}$	7 940	6 413	5 976	2 839	2 766	2 425	2 248	2 197	1 870
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10^{-2}$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^{-2}$	9 680	1 527	437	3 137	73	341	177	51	327
R	0,739	0,795	0,810	0,914	0,916	0,926	0,932	0,933	0,943

Taulukossa 23 on esitetty y_1 :n neliösumman pieneneminen, kun malliin on lisätty selittäjät yksitellen.

Taulukosta 23 havaitaan, että talvi- ja kevätsadanta x_{11} ratkaisee suurimmaksi osaksi vuosivalunnan suuruuden. x_{11} selittää y_1 :n varianssista 55 % ($R^2 = 0,55$). Syksysadannan vaikutus on huomattavasti edellistä pienempi ja kesäsadannan vaikutus on melko vähäinen. Eri vuodenaikojen sadantojen merkitys ilmenee parhaiten yhtälöstä (8). Talvi- ja kevätsadannan «ominaispaino» on 1,00, kesäsadannan 0,35 ja syksysadannan 0,59.

Käytettäessä pelkästään sadantaa selittäjänä on ilmeisen edullista jakaa sadanta vuodenaikojen perusteella. Tämä ilmenee mm. siitä, että pelkkä talvi- ja kevätsadanta (yhtälö 6) selittää lähes yhtä paljon valunnasta kuin vuosisadanta (yhtälö 15). Talvi- ja kevätsadanta sekä syksysadanta yhdessä (yhtälö 7) selittävät jo enemmän valuntaa kuin vuosisadanta.

Sateen jakamisesta aiheutuva hyöty pienenee lisättäessä selittäjiä malliin, koska lisäselittäjät osittain korvaavat sadannan jakamisen. Lopullinen optimimalli (5) on kuitenkin hieman paremmin selittävä kuin vastaava vuosisadannan sisältävä malli (21).

Vuoden keskilämpötila on erittäin voimakkaasti vuosivalunnan suuruutta selittävä tekijä. Ortogonaaliregressioanalyysissä on ilmennyt, että potentiaalinen evapotranspiraatio on talvi- ja kevätsadannan jälkeen tärkein selittäjä, kun taas taulukon 23 mukaan se aiheuttaa melko vähäisen parannuksen malliin. Keskilämpötila on tullut ortogonaaliregressioanalyysissä vasta syksysadannan jälkeen neljänneksi tärkeimpänä selittäjänä mukaan malliin. Tämä ristiriita aiheutuu siitä, että ensiksikin x_{16} ja x_{17} korreloivat keskenään ($r = 0,42$). Lämpötilan vaikutus alkaa toi-

saalta ilmetä vasta sitten, kun syksysadanta on mallissa mukana. Jos siis taulukon 23 mukaisesti otetaan x_{16} ja x_{17} malliin vasta sadantatermien jälkeen, on lämpötila jo huomattavasti parempi selittäjä kuin potentiaalinen evapotranspiraatio. Keskilämpötila sisältää huomattavan määrän potentiaalisen evapotranspiraation vaikutuksesta. Lisäksi se eräänlaisena maantieteellisen sijainnin mittana ilmaisee melko hyvin kesän pituuden ja siis samalla varsinaisen haihtumisajan pituuden sekä jossain määrin myös kasvipeitteen rehevyysasteen, mikä myös vaikuttaa haihtumiseen. Jos x_{16} lisätään malliin ensin ja x_{17} sen jälkeen, parantaa kummankin selittäjän lisääminen mallia jokseenkin saman verran.

Pelkän sadannan ja keskilämpötilan avulla on tämän tutkimuksen aineiston vuosivalunnan varianssista voitu selittää 84 % ($R^2 = 0,84$). Yhteiskorrelaatiokertoimeksi on saatu 0,914 ja jäännöshajonnaksi eli mallin selitysvirheiden keskihajonnaksi $s_0 = 41$ mm.

Edellä mainittuihin selittäjiin verrattuna jää mallissa (5) olevien muiden selittäjien vaikutus vähäiseksi. Vuoden aikana tapahtunut maan kosteusvajauksen muutos x_{24} selittää kuitenkin lähes yhtä paljon kuin kesäsadanta x_9 (taulukko 23), vaikka aikaisemmin malliin otetut x_{24} :n kanssa korreloivat termit, erityisesti x_9 , ovat jo selittäneet osan x_{24} :n osuudesta. Tämä oikeuttaa päättelemään, että tässä tutkimuksessa esitetty maan kosteusvajauksen välillinen, melko karkea määrittystapa on käyttökelpoinen.

Maan kosteusvajauksen laskemisessa yhtälön (3) avulla on käytetty sadannan ja potentiaalisen evapotranspiraation lisäksi kesä- ja syksyvaluntaa, mikä vuosivaluntaa määritettäessä on tuntematon. Kesä- ja syksyvalunta on kuitenkin yhtälössä (3) sekundäärinen tekijä ja se voidaan määrittää melko hyvällä tarkkuudella meteorologisten tekijöiden avulla.

Roudan syvyys x_{15} parantaa mallia, vaikka sen kanssa korreloivat tekijät, erityisesti lumen syvyyttä kuvaava talvi- ja kevätsadanta, ovat selittäneet suuren osan roudan vaikutuksesta. Roudan syvyydellä on kuitenkin ilmeisesti primääristä vaikutusta valuntaan, mikä taulukossa 23 ilmenee x_{15} :n kyvystä pienentää y_1 :n neliösummaa vielä sen jälkeen, kun talvisadannan vaikutus on jo erotettu. Kun siis todetaan, että routavuosina on pieni valunta, varsinkin kevätvalunta, on pääasiallisena syynä se, että paksun roudan syntyminen edellyttää yleensä vähäistä lumen syvyyttä ja siis pientä talvisadantaa. Mutta roudan syvyydellä on ilmeisesti myös sinänsä valuntaa pienentävä vaikutus. Mallin (5) mukaisesti roudan syvyyden lisäys senttimetreinä ilmaisee vuosivalunnan pienentymisen millimetreinä.

Taulukosta 23 todetaan, että aluetekijöiden vaikutus vuosivaluntaan on hyvin vähäinen meteorologisiin tekijöihin verrattuna.

Karkeiden maalajien osuus alasta x_6 ja puuston kuutiomäärä x_5 korreloivat keskenään ($r = 0,41$). Näin ollen riippuu selittäjien järjestyksestä, kuinka paljon kumpikin parantaa mallia. Jos x_5 lisätään malliin ensin, tulee x_6 :n selittävyys melkoisesti suuremmaksi kuin taulukko 23 esittää. Suoritettujen analyysien perusteella on ilmeistä, että puuston määrän lisäytyminen vähentää valuntaa siten, että valunnan vähentyminen millimetreinä on noin 80 % puuston määrän lisäyksestä kuutiometreinä hehtaarilla. Karkeiden maalajien osuuden lisääntyminen lisää vuosivaluntaa siten, että valunnan lisäys millimetreinä on noin 90 % karkeiden maalajien osuuden lisäyksestä prosentteina. x_5 :n ja x_6 :n regressiokertoimien etumerkit vaikuttavat luontevilta. Merkitseehän karkeiden maalajien suuri osuus veden helppoa pääsyä pohjavedeksi sekä kuivaa kasvupaikkaa ja pientä haihtumista. Puuston suuri kuutiomäärä aiheuttaa suurta haihduntaa, siis transpiraatiota ja varsinkin interseptiohaihduntaa (Seppänen 1964).

Selittäjistä, jotka eivät ole osoittautuneet merkitseviksi, voidaan mainita pellon osuus alasta. Sillä on ilmeisesti valuntaa pienentävä vaikutus, mikä kuitenkin ei ole merkitsevä. Jos malliin lisätään pellon osuus, pienenee y_1 :n neliösumma vain $30 \cdot 10^2$:lla ja regressiokertoimen keskiahajonta on lähes regressiokertoimen suuruinen. Mallissa olevat toiset selittäjät, lähinnä x_5 , x_6 , x_{15} ja x_{17} selittävät suuren osan pellon osuuden vaikutuksista.

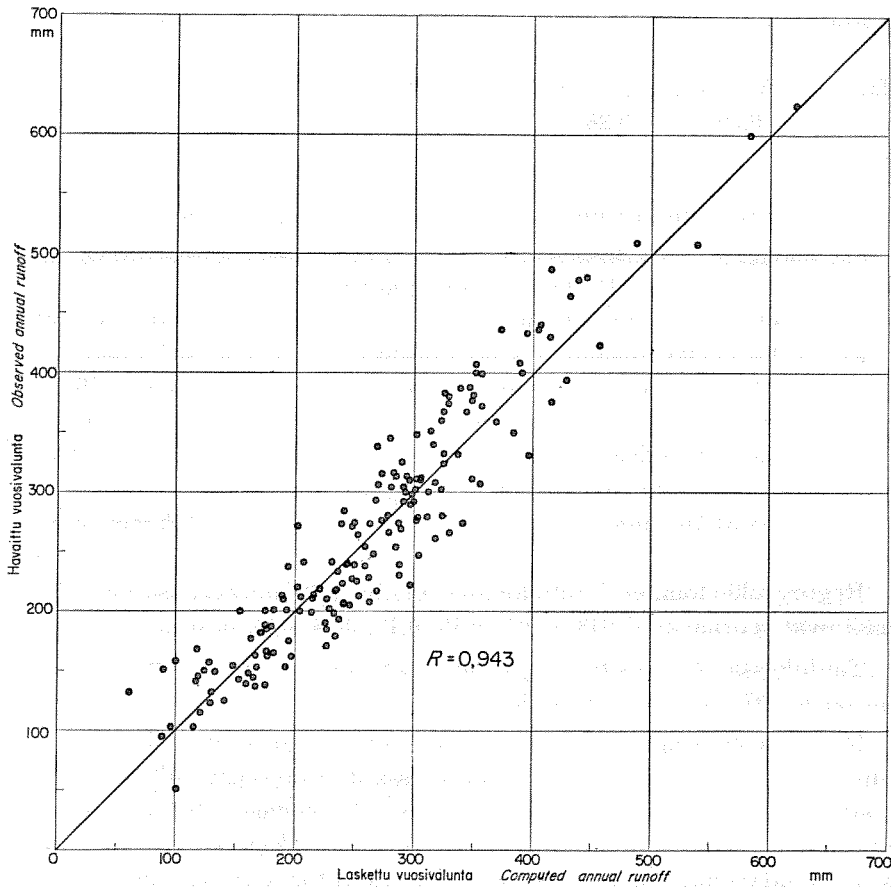
Suon osuus alasta ei ole osoittautunut senkään vertaa merkitseväksi kuin pellon osuus.

Tarkasteltaessa mallia (5) kokonaisuutena voidaan päätellä, että mallissa ovat ilmeisesti mukana oleellimmat selittäjät. Vuosivalunnan varianssista on jäänyt selittämättä vain 11 %. Tämä selittämättä jäänyt osa voidaan suurimmaksi osaksi laskea havaintovirheiden tilille. Niinkuin aineiston selostuksessa edellä on esitetty, on varsinkin sadannan havaitsemistarkkuus useista syistä johtuen suhteellisen heikko.

Kuvassa 9 on esitetty havaitun vuosivalunnan ja mallin (5) perusteella lasketun vuosivalunnan vuorosuhde.

3.2 Talvivalunta

Talvivaluntaan y_2 vaikuttavat meteorologiset ja aluetekijät on valittu 175 havainnon aineistolla suoritettulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut valittavana seuraavat selittäjät: maaston keskikaltevuus



Kuva 9. Havaitun ja yhtälön (5) perusteella määritetyn vuosivalunnan vuorosuhde.
 Fig. 9. Correlation between actual and computed annual runoffs.

x_2 , pellon osuus alasta x_3 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maalajien osuus alasta x_6 , edellisen syksyn sadanta x'_{10} , lumen vesiarvo x_{14} , roudan syvyys x_{15} , vuoden keskilämpötila x_{17} , joulukuun...maaliskuun keskilämpötila x_{18} , suojasääindeksi x_{19} , talven pituus x_{20} ja maan kosteusvajaus edellisenä syksynä x_{23} . Näistä selittäjistä ovat osoittautuneet merkitseviksi x_3 , x_5 , x_6 , x'_{10} , x_{15} , x_{19} ja x_{23} . Selittäjät x_{23} , x_6 ja x_{19} ovat erittäin merkitseviä (riski 1%), x'_{10} , x_5 ja x_{15} ovat merkitseviä (riski 1%) ja x_3 melkein merkitsevä (riski 5%).

Mainitut selittäjät sisältävä optimimalli on esitetty yhtälössä (22).

$$(22) \quad y_2 = 32 - 0,15 \cdot x_{23} + 0,15 \cdot x'_{10} + 0,61 \cdot x_{19} - 0,52 \cdot x_{15} + 0,72 \cdot x_6 - 0,30 \cdot x_5 + 0,26 \cdot x_3$$

$$R = 0,587 \quad s_0 = 25$$

y_2 = talvivalunta (mm)	\bar{y}_2 = 55 mm (31)
x_3 = pellon osuus alasta (%)	\bar{x}_3 = 16 % (19)
x_5 = puuston määrä koko valuma-alueen alaa kohti laskettuna (m ³ /ha)	\bar{x}_5 = 52 m ³ /ha (20)
x_6 = karkeiden maalajien osuus alasta (%)	\bar{x}_6 = 45 % (15)
x'_{10} = edellisen syksyn sadanta (mm)	\bar{x}'_{10} = 190 mm (63)
x_{15} = roudan syvyys 31.3. (cm)	\bar{x}_{15} = 17 cm (15)
x_{19} = suojasääindeksi (+ °C vrk)	\bar{x}_{19} = 13 + °C vrk (15)
x_{23} = maan kosteusvajaus edellisenä syksynä 31.10. (mm)	\bar{x}_{23} = 175 mm (57)

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (22) mukaisessa järjestyksessä ovat seuraavat: 0,043, 0,041, 0,16, 0,17, 0,16, 0,12 ja 0,13.

Taulukossa 24 on esitetty y_2 :n neliösumman pieneminen, kun malliin on lisätty selittäjät yksitellen.

Maan kosteusvajaus edellisenä syksynä x_{23} ja suojasääindeksi x_{19} selittävät y_2 :n varianssia eniten taulukossa 24 esitetyistä selittäjistä. x_{23} ja edellisen syksyn sadanta x'_{10} korreloivat keskenään. Jos x'_{10} lisättäisiin malliin ennen kuin x_{23} , olisi x'_{10} :n selitysvoimakkuus suurempi, mutta x_{23} :n jälkeenkin sillä on merkitsevä vaikutus y_2 :n varianssiin.

On luonnollista, että talvivalunta pienenee roudan syvyyden kasvaessa. Suuri roudan syvyys on merkinä myös suojasäiden vähäisyydestä ($r = -0,33$), mikä osaltaan merkitsee vähäistä talvivaluntaa.

Aluetekijät x_6 , x_5 ja x_3 , jotka korreloivat keskenään, pystyvät parantamaan mallia melko vähän. Regressiokertoimien etumerkit ovat luontevia. Karkeiden maalajien suuri osuus merkitsee voimakasta pohjavesivirtausta ja siis suurta talvivaluntaa. Toisaalta karkeiden maalajien suuri osuus merkitsee pientä pellon osuutta ($r = -0,42$) ja suurta puuston kuutiomäärää ($r = 0,41$). Pellon osuuden voidaan selittää lisäävän talvivaluntaa, koska sulamisvedet pääsevät pellon ojia pitkin virtaamaan alueelta paremmin kuin lumen peittämää maanpintaa pitkin, vaikkakin lumi ja jää vaikeuttavat virtausta myös ojissa. Puuston kuutiomäärän aiheuttama talvivalunnan väheneminen ei ole erityisen luontevasti selitettävissä, mutta tämä vaikutus on niin voimakkaasti tilastollisesti merkitsevä (riski 1 %), että se on syytä ottaa huomioon.

Taulukko 24. Talvivalunnan y_2 neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_2 :n neliösumma $1\,670 \cdot 10^2$, vapausasteiden luku 174.

Table 24. Analysis of winter runoff y_2 . Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_2 $1\,670 \cdot 10^2$; degrees of freedom 174.

Selittäjät Independent variables	x_{23}	x'_{10}	x_{19}	x_{15}	x_6	x_5	x_3
Neliösumma $\cdot 10^{-2}$ Sum of squares $\cdot 10^{-2}$	1 480	1 451	1 282	1 205	1 135	1 073	1 050
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10^{-2}$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^{-2}$	190	29	169	77	70	62	23
R	0,330	0,348	0,468	0,511	0,548	0,578	0,587

Talvivaluntaan vaikuttaa kaksi voimakasta tekijää, maan kosteusvaja-
us edellisenä syksynä ja suojasäiden esiintyminen talvella. Näistä
tekijöistä maan kosteusvaja-
us on tärkeämpi Pohjois-Suomessa, koska
siellä talvi tulee aikaisemmin ja suojasäiden esiintyminen on harvinais-
empaa kuin Etelä-Suomessa, missä suojasäiden osuus on ratkaiseva
talvivalunnassa. Nämä seikat ovat ilmenneet analyyseissa, joissa aineisto
on jaettu kahteen osaan, Etelä-Suomeen (alueet 14...42) sekä Keski- ja
Pohjois-Suomeen (43...116). Etelä-Suomen aineiston perusteella ovat
merkitseviä ainoastaan suojasääindeksi x_{19} , edellisen syksyn sadanta x'_{10} ,
roudan syvyys x_{15} , karkeiden maalajien osuus x_6 ja pellon osuus x_5 , joista
selittäjistä x_{19} on ratkaisevasti tärkein. Keski- ja Pohjois-Suomen aineis-
ton perusteella ovat merkitseviä ainoastaan maan kosteusvaja-
us edelli-
senä syksynä x_{23} , roudan syvyys x_{15} sekä karkeiden maalajien osuus x_6 ,
joista selittäjistä x_{23} on tärkein. Pellon osuuden merkitsevyys vain Etelä-
Suomen aineiston analyysissa tukee edellä esitettyä olettamusta pellon
vaikutuksen kytkeytymisestä suojasäiden esiintymiseen. Aineiston jaka-
misella saavutettu etu selittävyuden parantumisessa on ollut niin vähäi-
nen, että tulokset on esitetty ainoastaan koko aineiston analyysistä.

Mallilla (22) on pystytty selittämään suhteellisen vähän talvivalun-
nan y_2 varianssia. Tämä on ymmärrettävää, kun otetaan huomioon ilmiön
epähomogeenisuus varsinkin suojasäiden vaikutuksen osalta. On erittäin
vaikeaa kehittää sopivia selittäjiä ilmaisemaan esim. suojasäiden vaiku-
tuksesta lumipeitteestä vapautuneiden vesien vaiheita, varastoitumista
alueelle tai virtausta vesiuomiin.

3.3 Kevätvalunta

Kevätvaluntaan y_3 vaikuttavat tekijät on valittu 179 havainnon aineistolla suoritetulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut valittavana seuraavat selittäjät: maaston keskikaltevuus x_2 , pellon osuus alasta x_3 , suon osuus alasta x_4 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maa-lajien osuus alasta x_6 , kevätsadanta x_8 , edellisen syksyn sadanta x'_{10} , lumen vesiarvo x_{14} , roudan syvyys x_{15} , suojasääaindeksi x_{19} ja maan kos-teusvajausta edellisenä syksynä x_{23} . Näistä selittäjistä ovat osoittautuneet merkitseviksi x_2 , x_3 , x_8 , x_{14} ja x_{15} . Selittäjät ovat erittäin merkitseviä (riski 1 %) paitsi x_3 , mikä on vain merkitsevä (riski 1 %). Parhaiten selittävä malli on esitetty yhtälössä (23).

$$(23) \quad y_3 = 27 + 0,55 \cdot x_{14} + 0,95 \cdot x_8 - 0,68 \cdot x_{15} + 0,27 \cdot x_3 - 2,5 \cdot x_2$$

$$R = 0,925 \quad s_0 = 21$$

y_3 = kevätvalunta (mm)	\bar{y}_3 = 120 mm (55)
x_2 = maaston keskikaltevuus (%)	\bar{x}_2 = 5,3 % (2,7)
x_3 = pellon osuus alasta (%)	\bar{x}_3 = 16 % (19)
x_8 = kevätsadanta (mm)	\bar{x}_8 = 54 mm (28)
x_{14} = lumen vesiarvo (mm)	\bar{x}_{14} = 113 mm (47)
x_{15} = roudan syvyys (cm)	\bar{x}_{15} = 17 cm (15)

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (23) mukaisessa järjestyk-sessä ovat seuraavat: 0,052, 0,070, 0,12, 0,11 ja 0,67.

Yhtälöissä (24)–(27) on esitetty malleja kevätvalunnan määrittämi-seksi eri selittäjäkombinaatioilla.

$$(24) \quad y_3 = 13 + 0,95 \cdot x_{14} \quad R = 0,805 \quad s_0 = 33$$

$$(25) \quad y_3 = 7 + 0,53 \cdot x_{14} + 0,98 \cdot x_8 \quad R = 0,900 \quad s_0 = 24$$

$$(26) \quad y_3 = 30 + 0,44 \cdot x_{14} - 0,66 \cdot x_{15} + 0,94 \cdot x_8$$

$$R = 0,918 \quad s_0 = 23$$

$$(27) \quad y_3 = 40 + 0,92 \cdot x_{14} - 0,84 \cdot x_{15} - 2,5 \cdot x_2 + 0,23 \cdot x_3$$

$$R = 0,839 \quad s_0 = 30$$

Malli (27) sisältää vain sellaisia selittäjiä, jotka ovat tiedossa ennen kevätvalunnan alkua.

Taulukossa 25 on esitetty y_3 :n neliösumman pieneneminen, kun mal-liin on lisätty selittäjät yksitellen. Taulukosta todetaan, että lumen vesiarvo on ratkaiseva tekijä kevätvalunnan suuruudessa. Myös kevät-sadanta x_8 pienentää kevätvalunnan neliösummaa merkittävästi. Muilla mallin (23) selittäjillä on varsin vähäinen vaikutus.

Taulukko 25. Kevätvalunnan y_3 neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_3 :n neliösumma $5\,481 \cdot 10^2$, vapausasteiden luku 178.

Table 25. Analysis of spring runoff y_3 . Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_3 $5\,481 \cdot 10^2$; degrees of freedom 178.

Selittäjät Independent variables	x_{14}	x_8	x_{15}	x_3	x_2
Neliösumma $\cdot 10^{-2}$ Sum of squares $\cdot 10^{-2}$	1 915	1 027	893	832	771
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10^{-2}$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^{-2}$	3 566	888	134	61	61
R	0,805	0,900	0,913	0,919	0,925

Kevätvalunnan analyysissä on maaston kaltevuus x_2 ollut voimakkaampi tekijä kuin karkeiden maalajien osuus x_6 . Nämä selittäjät korreloivat voimakkaasti keskenään ($r = 0,83$) joten mallissa (23) x_2 edustaa myös maalajin vaikutusta. x_2 :n kevätvaluntaa pienentävä vaikutus johtuu ilmeisestikin osaksi siitä, että karkeita maalajeja sisältävällä alueella huomattava osa sulamisvesistä imeytyy maahan pohjavedeksi.

Pellon osuuden voidaan katsoa lisäävän kevätvaluntaa mm. ojien virtausta jouduttavan vaikutuksen vuoksi.

Roudan syvyys pienentää kevätvaluntaa. Ortogonaaliregressioanalyysissä tämä roudan vaikutus on ollut todettavissa erittäin merkittävänä vielä sen jälkeen, kun lumen vesiarvon vaikutus on kuorittu pois. Näin ollen on otaksuttavissa, että roudalla on ilmeisesti primääristä kevätvaluntaa pienentävää vaikutusta.

Mallista (23) ei ilmeisesti puutu ratkaisevan tärkeitä selittäjiä. y_3 :n neliösummasta on jäänyt selittämättä vain 14 %. Tulosta huonontavana tekijänä on kuitenkin mainittava talven aikana sattuneet suojasäät, jotka ovat pienentäneet lumen vesiarvoa, mutta lisänneet alueen vesivarjoja joko maahan imeytymisenä tai maanpinnalle muodostuneina jääkerroksina. Tämä häiritsevä tekijä on voimakas eteläisellä ja läntisellä rannikkoalueella. Suojuksia x_{19} ei ole pystynyt koko maan aineistossa parantamaan mallin selittävyyttä.

Toinen kevätvaluntaa mahdollisesti selittävä, tässä huomioon ottamatta jäänyt tekijä on lumensulamiskauden haihtumisoloja kuvaava meteorologinen suure (Simojoki 1959). Käyttökelpoisen mitan laskeminen tälle suurelle on vaikeata. Kehitettyjen mallien hyvään selittävyys perustuen voidaan todeta, että kevään haihtumisolojen vaikutus kevätvaluntaan ei Suomen ilmastossa ole ratkaisevan tärkeä.

3.4 Kesä- ja syksyvalunta

Kesä- ja syksyvaluntaan y_4 vaikuttavat tekijät on valittu 178 havainnon aineistolla suoritetulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut valittavana seuraavat selittäjät: maaston keskikaltevuus x_2 , pellon osuus alasta x_3 , suon osuus alasta x_4 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maalajien osuus alasta x_6 , kesäsadanta x_9 , syksysadanta x_{10} , talvi- ja kevät-sadanta x_{11} , potentiaalinen evapotranspiraatio x_{16} , vuoden keskilämpötila x_{17} ja edellisen syksyn maan kosteusvajaus x_{23} . Merkitseviksi ovat osoittautuneet x_5 , x_6 , x_9 , x_{10} , x_{15} , x_{16} ja x_{17} . Selittäjät x_{16} , x_{10} , x_9 ja x_{17} ovat erittäin merkitseviä (riski 1 %), x_{15} , x_5 ja x_6 melkein merkitseviä (riski 5 %). Parhaiten selittävä malli on esitetty yhtälössä (28).

$$(28) \quad y_4 = 6 + 0,47 \cdot x_9 + 0,56 \cdot x_{10} - 10 \cdot x_{17} - 0,17 \cdot x_{16} - 0,42 \cdot x_{15} - 0,46 \cdot x_5 + 0,65 \cdot x_6$$

$$R = 0,834 \quad s_0 = 30$$

y_4 = kesä- ja syksyvalunta (mm)	\bar{y}_4 = 94 mm (53)
x_5 = puuston kuutiomäärä koko valuma-alueen alaa kohti laskettuna (m ³ /ha)	\bar{x}_5 = 52 m ³ /ha (20)
x_6 = karkeiden maalajien osuus alasta (%)	\bar{x}_6 = 46 % (15)
x_9 = kesäsadanta (mm)	\bar{x}_9 = 146 mm (47)
x_{10} = syksysadanta (mm)	\bar{x}_{10} = 185 mm (54)
x_{15} = roudan syvyys 31.3. (cm)	\bar{x}_{15} = 17 cm (15)
x_{16} = potentiaalinen evapotranspiraatio kesän ja syksyn aikana (mm)	\bar{x}_{16} = 325 mm (54)
x_{17} = vuoden keskilämpötila (°C)	\bar{x}_{17} = 2,6 °C (1,6)

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (28) mukaisessa järjestyksessä ovat seuraavat: 0,054, 0,044, 1,9, 0,056, 0,17, 0,14 ja 0,19.

Yhtälöissä (29) ... (33) on esitetty malleja kesä- ja syksyvalunnan määrittämiseksi eri selittäjäkombinaatioilla.

$$(29) \quad y_4 = 31 + 0,43 \cdot x_9 \quad R = 0,382 \quad s_0 = 50$$

$$(30) \quad y_4 = 7 + 0,47 \cdot x_{10} \quad R = 0,461 \quad s_0 = 48$$

$$(31) \quad y_4 = -82 + 0,52 \cdot x_9 + 0,54 \cdot x_{10} \quad R = 0,652 \quad s_0 = 41$$

$$(32) \quad y_4 = -63 + 0,58 \cdot x_9 + 0,61 \cdot x_{10} - 16 \cdot x_{17} \quad R = 0,797 \quad s_0 = 33$$

$$(33) \quad y_4 = -76 + 0,58 \cdot x_9 + 0,59 \cdot x_{10} - 13 \cdot x_{17} - 0,49 \cdot x_5 + 0,73 \cdot x_6 \quad R = 0,815 \quad s_0 = 32$$

Taulukko 26. Kesä- ja syksyvalunnan y_4 neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_4 :n neliösumma $5\,219 \cdot 10^2$, vapausasteiden luku 177.

Table 26. Analysis of summer and autumn runoff y_4 . Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_4 $5\,219 \cdot 10^2$; degrees of freedom 177.

Selittäjät Independent variables	x_9	x_{10}	x_{17}	x_{16}	x_{15}	x_6	x_5
Neliösumma $\cdot 10^{-2}$ Sum of squares $\cdot 10^{-2}$	4 434	2 964	1 872	1 726	1 665	1 620	1 524
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10^{-2}$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^{-2}$	785	1 470	1 092	146	61	45	96
R	0,382	0,652	0,797	0,813	0,820	0,823	0,834

Taulukossa 26 on esitetty y_4 :n neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. Taulukossa 25 esitettyssä järjestyksessä syksysadanta x_{10} selittää eniten y_4 :n varianssia. Vuoden keskilämpötila x_{17} on seuraavaksi voimakkain ja kesäsadanta kolmanneksi voimakkain. Kesä- ja syksysadanta voidaan yhdistää yhdeksi tekijäksi, koska x_9 :n ja x_{10} :n regressiokertoimet ovat käytännöllisesti katsoen samansuuruiset. Yhdessä nämä kolme selittäjää selittävät y_4 :n varianssista 64 %. Parhaiten selittävä malli (28) selittää vastaavasti 70 %, joten muiden kuin kolmen ensimmäisen selittäjän vaikutus on melko vähäinen, mikä ilmenee myös taulukosta 26. Potentiaalinen evapotranspiraatio x_{16} ei neljäntenä selittäjänä ollessaan pysty enää oleellisesti pienentämään y_4 :n neliösummaa, vaikkakin ortogonaaliregressioanalyysin perusteella x_{16} on merkitsevin selittäjä. Roudan syvyys x_{15} on tässäkin valunta-analyysissä merkittävä selittäjä, mikä asia sinänsä ei ole yllättävä. Sensijaan ei hydrologiselta kannalta tunnu aivan luontevalta, että roudan syvyys pienentää kesä- ja syksyvaluntaa, niinkuin tämän analyysin tulokset osoittavat. Pikemminkin tuntuu luontevalta, että paksu routa lisää kesävaluntaa sulaessaan varsinaisen lumen sulamisajan jälkeen. Mahdollisesti on niin, että suuri roudan syvyys on eräänlainen vähävetisen kevään indikaattori. Vähäinen talvisadanta merkitsee yleensä suurta roudan syvyyttä. Tosin talvi- ja kevätsadanta ei ole ollut y_4 :n analyysissä merkittävä selittäjä, joten roudan syvyyden vaikutus ei ole ainakaan pääasiassa tästä johtuvaa. Voidaan myös otaksua, että suuri roudan syvyys vaikeuttaa kevätsumamisvesien pääsyä pohjavedeksi ja näin pienentää kesä- ja syksyvaluntaa. Toisaalta on kuitenkin todettu roudan syvyyden pienentävän myös kevätvaluntaa.

Puuston kuutiomäärä pienentää kesä- ja syksyvaluntaa. Tämä on selitettävissä puuston voimakkaasta haihduttavasta vaikutuksesta johtuvaksi.

Karkeiden maalajien osuus lisää kesä- ja syksyvaluntaa. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että kesäaikana huomattava osa valunnasta on pohjavesivaluntaa. Karkeat maalajit edistävät pohjaveden muodostumista. Toisaalta karkeat maalajit ovat karun kasvupaikan ja vähäisen haihdunnan tunnuksia, kuten edellä vuosivalunnan analyysin yhteydessä on todettu.

Pellon ja suon osuudet alasta eivät tässä aineistossa ole osoittautuneet merkitseviksi selittäjiksi. Tämä ei vielä oikeuta päättelemään, että nämä selittäjät todella eivät vaikuta kesä- ja syksyvaluntaan. Sisältyyhän mallissa (28) oleviin selittäjiin huomattavasti myös pellon ja suon osuuden vaikutusta (taulukko 22). Kuitenkin voidaan todeta, että näiden selittäjien vaikutus ei ole kovin huomattava.

Mallin (28) selittävyys ei ole niin suuri kuin esim. vuosivalunnan tai kevätvalunnan mallin selittävyys. Tähän lienee suurimpana syynä se, että kesä- ja syksysateiden aiheuttaman valunnan määrä riippuu suuresti sadannan jakautumisesta kesän ja syksyn aikana (Mustonen 1963). Jos sadanta tulee muutamana harvana sateena, valuu oleellisesti suurempi osa vedestä välittömästi vesiuomiin, kuin jos sama sadanta tulisi tasaisesti pieninä sateina kesän aikana. Tässä analyysissä ei ole ollut mukana sadannan jakautumista kuvaavaa selittäjää. Jos kuitenkin sadannan jakautumiseen halutaan kiinnittää huomiota, on käytettävissä parempia menetelmiä kuin tässä käytetty yksinkertainen lineaarinen regressioanalyysi (Linsley, Kohler ja Paulhus 1958). Mallin (28) selittävyyttä parantaisi ilmeisesti maan kosteusvajauksen muutoksen huomioon ottaminen. Mallin mahdollisen käytön kannalta tästä ei olisi kuitenkaan mainittavaa hyötyä.

3.5 Kevätylivaluma

Ylivalumista on tutkittu ainoastaan kevätylivalumaa. Kesäylivaluman analysoimiseksi on olemassa kehittyneempiä hydrologisia menetelmiä kuin normaali lineaarinen regressioanalyysi. Nämä etupäässä *unit hydrograph*-periaatteeeseen perustuvat menetelmät edellyttävät toisentyypistä aineistoa, mm. piirtävillä sademittareilla suoritettuja sadehavaintoja, joten näitä menetelmiä ei ole käytetty tässä tutkimuksessa.

Kevätylivalumaan y_5 vaikuttavien tekijöiden valinta on suoritettu 181 havainnon aineistolla suoritettulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut valittavana seuraavat selittäjät: ala x_1 , kaltevuus x_2 , pellon osuus alasta x_3 , suon osuus alasta x_4 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maalajien osuus alasta x_6 , lumen vesiarvo x_{14} , roudan syvyys x_{15} , joulu...

maaliskuun keskilämpötila x_{18} , ylivaluman sattumispäivän ja sitä edeltäneen päivän keskilämpötila x_{21} , edellä mainittujen päivien sadanta x_{22} , maan kosteusvajaus edellisenä syksynä 31. 10. x_{23} . Lisäksi on transformoimalla muodostettu alasta x_1 selittäjät $x_1^{1/8}$, $x_1^{1/6}$ ja $x_1^{1/8}$. Pellon osuuden tiedetään vaikuttavan ylivalumaan kvadraattisen funktion tavoin (Kaitera 1939). Tämän vuoksi on määritetty regressiolaskentaa käyttäen se x_3 :n toisen asteen yhtälö, mikä parhaiten selittää ylivaluman varianssia. Tällä tavoin on saatu x_3 :sta transformoitu selittäjä $-x_3 + 0,033 x_3^2$, mikä selittää ylivaluman varianssia kaksi kertaa niin paljon kuin pelkkä x_3 :n lineaarinen funktio. Jotta saataisiin paremmin aikaisempien tutkimusten kanssa vertailukelpoinen, lumen vesi-arvon suhteen korjattu pellon osuuden ja ylivaluman välinen riippuvuus, on peltoselittäjä laskettu myös siten, että regressioanalyysissä on ollut mukana x_3 :n ja x_3^2 :n ohella lumen vesi-arvo x_{14} . Kuvassa 10 on esitetty näin saatu kuvaaja. Kuvaan on piirretty myös Kaiteran (1939) esittämä vastaava käyrä, jolla on yhteisiä piirteitä tämän regressioanalyysillä määritetyn käyrän kanssa.

Voidaan otaksua, että ilman lämpötilan vaikutus kevätylivalumaan riippuu lumen vesi-arvon suuruudesta. Sen vuoksi on muodostettu selittäjä $x_{14} \cdot x_{21}$.

Näistä 16 selittäjästä ovat osoittautuneet merkitseviksi x_2 , x_3 :n muunnos, x_{14} , x_{15} , $x_{14} \cdot x_{21}$ ja x_{22} . Selittäjät x_{14} ja $x_{14} \cdot x_{21}$ ovat erittäin merkitseviä (riski 1 %), x_2 , x_{22} , x_3 :n muunnos ja x_{15} merkitseviä (riski 1 %). Yhtälössä (34) on esitetty näitä selittäjiä käyttäen suoritetun regressioanalyysin tulos.

$$(34) \quad y_5 = 51 + 0,41 \cdot x_{14} - 0,60 \cdot x_{15} + 0,031 \cdot x_{14} \cdot x_{21} + 1,2 \cdot x_{22} - \\ 2,6 \cdot x_2 - 0,35 \cdot x_3 + 0,012 \cdot x_3^2 \quad R = 0,713 \quad s_0 = 31$$

y_5 = kevätylivaluma (l/s km ²),	$\bar{y}_5 = 102$ l/s km ² (44)
x_2 = maaston keskikaltevuus (%).	$\bar{x}_2 = 5,3$ % (2,7)
x_3 = pellon osuus alasta (%),	$\bar{x}_3 = 16$ % (19)
x_{14} = lumen vesi-arvo 15.3. (mm)	$\bar{x}_{14} = 115$ mm (47)
x_{15} = roudan syvyys 31.3. (cm)	$\bar{x}_{15} = 17$ cm (15)
x_{21} = ylivaluman sattumispäivän ja sitä edeltäneen päivän keskilämpötila (°C)	$\bar{x}_{21} = 5,6$ °C (2,6)
x_{22} = ylivaluman sattumispäivän ja sitä edeltäneen päivän sadanta (mm)	$\bar{x}_{22} = 5,1$ mm (7,3)

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (34) mukaisessa järjestyksessä ovat seuraavat: 0,075, 0,18, 0,0075, 0,33, 0,96 ja peltoselittäjän regressiokertoimen 0,35 keskihajonta 0,10.

Taulukko 27. Kevätylivaluman y_5 neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_5 :n neliösumma $3\,467 \cdot 10^2$, vapausasteiden luku 180.

Table 27. Analysis of spring maximum runoff y_5 . Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_5 $3\,467 \cdot 10^2$; degrees of freedom 180.

Selittäjät Independent variables	x_{14}	x_{15}	$x_{14} \cdot x_{21}$	x_{22}	x_2	$-x_3 + 0,033x_3^2$
Neliösumma $\cdot 10^{-2}$ Sum of squares $\cdot 10^{-2}$	2 147	2 072	1 981	1 867	1 756	1 637
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10^{-2}$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^{-2}$	1 320	75	91	114	111	119
R	0,614	0,629	0,647	0,670	0,692	0,713

Yhtälöissä (35) ja (36) on esitetty malleja kevätylivaluman määrittämiseksi eri selittäjäkombinaatioilla.

$$(35) \quad y_5 = 36 + 0,57 \cdot x_{14} \qquad R = 0,614 \quad s_0 = 35$$

$$(36) \quad y_5 = 55 + 0,61 \cdot x_{14} - 0,60 \cdot x_{15} - 2,4 \cdot x_2 - 0,31 \cdot x_3 + 0,010 \cdot x_3^2 \\ R = 0,667 \quad s_0 = 33$$

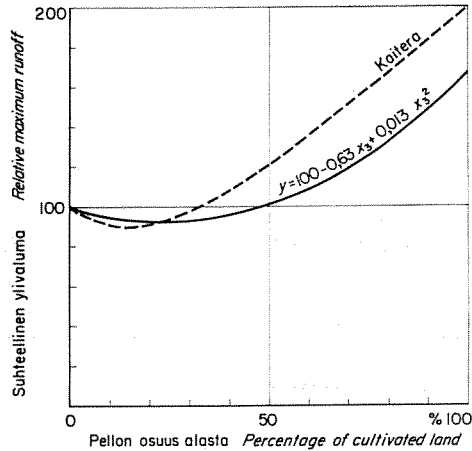
Taulukossa 27 on esitetty y_5 :n neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. Lumen vesiarvo x_{14} on ratkaisevasti tärkein selittäjä. Selittäjä $x_{14} \cdot x_{21}$ kykenee vielä pienentämään y_5 :n neliösummaa, mutta ilman lämpötila ylivaluman sattumisaikana ei kuitenkaan ole erityisen merkittävä tekijä. Pelkkä kahden vuorokauden keskilämpötila ei ole osoittautunut merkitseväksi silloin, kun mallissa on mukana myös $x_{14} \cdot x_{21}$. Edellä on todettu, että viiden vuorokauden keskilämpötila on huonompi selittäjä kuin kahden vuorokauden keskilämpötila.

Roudan syvyys on osoittautunut merkitseväksi tekijäksi vielä lumen vesiarvon kuorimisen jälkeenkin. Roudan syvyyden regressiokerroin on saanut negatiivisen etumerkin myös suoritettaessa ortogonaaliregressioanalyysi siten, että x_{15} on ollut ensimmäinen selittäjä. Routa on osoittautunut tämän tutkimuksen mukaan kevätylivalumaa pienentäväksi tekijäksi, mikä on vastoin aikaisempia päättelyitä (Tulvakomitean mietintö 1939, Kaitera 1948).

Maanpinnan keskikaltevuus on osoittautunut kevätylivalumaa pienentäväksi tekijäksi. Kaltevuuden ja karkeiden maalajien osuuden korreloidessa voimakkaasti keskenään johtunee ylivalumaa pienentävä

Kuva 10. Pellon suhteellisen alan vaikutus kevät-ylivalumaan.

Fig. 10. Relation between the percentage of cultivated land and the spring maximum runoff.



vaikutus sulamisvesien suuremmasta imeytymisestä karkeitä maalajeja sisältävässä maastossa. Toinen tärkeä tekijä on lumen sulamisen eriaikaisuus eri suuntiin kaltevilla rinteillä mäkisessä maastossa.

Kun pellon osuus valuma-alueen alasta kasvaa, pienenee ylivaluma aluksi. Minimi saavutetaan pellon osuuden ollessa 24 % (kuva 10). Pellon osuuden lisäytyessä tästä lisäytyy myös ylivaluma. Käytettäessä kaavan (34) mukaisesti pellon osuuden vaikutusta ilmaisemassa transformaatiota $-x + 0,033 x^2$ saavutetaan vaikutuksen minimi pellon osuuden ollessa 15 %.

Käsitellyssä aineistossa on valuma-alueiden ala vaihdellut 0,7...122 km². Alalla ei ole näin pienillä alueilla kevät-ylivalumaan vaikutusta, koska valuma-alueella lumesta vapautuvat vedet ehtivät valua pois alueelta pääasiassa yhden vuorokauden aikana ja tällöin vuorokauden keskivalumana laskettu ylivaluma riippuu ainoastaan lumen vuorokausisulannasta. Tätä suuremmilla alueilla ala tasoittaa ylivalumaa sulamisaikana (Kaitera 1939).

Malli (34) pystyy selittämään kevät-ylivaluman varianssista vain hieman yli puolet. Jos alueilla olisi järviä, päästäisiin oleellisesti parempaan selittävyYTEEN koska järvet tasoittavat satunnaisten tekijöiden vaikutusta. Järvettömillä alueilla ylivaluma on sattumanvaraisista tekijöistä, lähinnä säätilan kehityksestä riippuvainen, epästabiili ilmiö.

3.6 Talvialivaluma

Tässä tutkimuksessa on alivalumasuureista valittu tutkittavaksi 30 vuorokauden keskivalumana määritetyt talvi- ja kesäalivaluma. Yhden vuorokauden alivaluma on näin pienillä alueilla kovin epästabiili, satunnaisista tekijöistä riippuva suure.

30 vuorokauden talvialivalumaan y_9 vaikuttavat tekijät on valittu 180 havainnon aineistolla suoritetulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut valittavana seuraavat selittäjät: valuma-alueen alan kuutiojuuri $x_1^{1/3}$ sekä kuudes juuri $x_1^{1/6}$, maaston keskikaltevuus x_2 , pellon osuus alasta x_3 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maalajien osuus alasta x_6 , edellisen syksyn sadanta x'_{10} , lumen vesi-arvo x_{14} , roudan syvyys x_{15} , vuoden keskilämpötila x_{17} , joulun maaliskuun keskilämpötila x_{18} , suojasääindeksi x_{19} , talven pituus x_{20} , maan kosteusvajaus edellisenä syksynä 31.10. x_{23} . Näistä selittäjistä ovat osoittautuneet merkitseviksi $x_1^{1/3}$, x_2 , x_5 , x_{15} , x_{19} , ja x_{20} . Selittäjät x_2 , x_{15} ja x_{19} ovat erittäin merkitseviä (riski 1 %) ja $x_1^{1/3}$, x_5 sekä x_{20} melkein merkitseviä (riski 5 %). Parhaiten selittävä malli on esitetty yhtälössä (37).

$$(37) \quad y_9 = 1,70 - 0,024 \cdot x_{15} + 0,015 \cdot x_{19} - 0,0093 \cdot x_{20} + 0,20 \cdot x_1^{1/3} + 0,23 \cdot x_2 - 0,0092 \cdot x_5$$

$$R = 0,624 \quad s_0 = 1,01$$

y_9 = 30 vuorokauden talvialivaluma

(l/s km²)

$$\bar{y}_9 = 1,44 \text{ l/s km}^2 \text{ (1,29)}$$

x_1 = valuma-alueen ala (km²)

$$\bar{x}_1^{1/3} = 2,6 \text{ km}^{2/3} \text{ (1,0)}$$

x_2 = maaston keskikaltevuus (%)

$$\bar{x}_2 = 5,2 \% \text{ (2,7)}$$

x_5 = puuston kuutiomäärä koko valuma-

alueen alaa kohti laskettuna (m³/ha)

$$\bar{x}_5 = 51 \text{ m}^3/\text{ha} \text{ (21)}$$

x_{15} = roudan syvyys 31.3. (cm)

$$\bar{x}_{15} = 17 \text{ cm} \text{ (15)}$$

x_{19} = suojasääindeksi (+ °C vrk)

$$\bar{x}_{19} = 13 + \text{°C vrk} \text{ (15)}$$

x_{20} = talven pituus (vrk)

$$\bar{x}_{20} = 141 \text{ vrk} \text{ (23)}$$

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (37) mukaisessa järjestyksessä ovat seuraavat: 0,0056, 0,0070, 0,0046, 0,084, 0,034 ja 0,0044.

Yhtälössä (38) on esitetty kolme tärkeintä selittäjää sisältävä malli.

$$(38) \quad y_9 = 0,69 - 0,027 \cdot x_{15} + 0,022 \cdot x_{19} + 0,18 \cdot x_2$$

$$R = 0,592 \quad s_0 = 1,04$$

Taulukossa 28 on esitetty y_9 :n neliösumman pieneneminen, kun malliin on lisätty selittäjät yksitellen. Selittäjät on lisätty ortogonaaliregressioanalyysin mukaisessa merkitsevyysjärjestyksessä. Havaitaan, että roudan syvyys on voimakkain selittäjä. Myös maaston keskikaltevuus ja suojasääindeksi pienentävät y_9 :n neliösummaa oleellisesti. Nämä kolme selittäjää sisältävä malli (38) selittää 35 % y_9 :n varianssista, kun taas optimimallin (37) vastaava selittävyys on 39 %. Mallin (37) selittäjien regressiokertoimien etumerkit ovat luonteovia. Roudan syvyys ymmärrettävästi vaikeuttaa vesien liikettä maassa ja pienentää talviali-

Taulukko 28. 30 vuorokauden talvialivaluman y_9 neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_9 :n neliösumma $2\,980 \cdot 10^{-1}$, vapausasteiden luku 179.

Table 28. Analysis of 30 days winter minimum runoff y_9 . Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_9 $2\,980 \cdot 10^{-1}$; degrees of freedom 179.

Selittäjät Independent variables	x_{15}	x_2	x_{19}	$x_1^{1/3}$	x_{20}	x_5
Neliösumma $\cdot 10$ Sum of squares $\cdot 10$	2 377	2 058	1 900	1 853	1 810	1 756
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10$ Decrease in sum of squares $\cdot 10$	603	319	158	47	43	54
R	0,445	0,549	0,592	0,603	0,613	0,624

valumaa. Samalla suuri roudan syvyys merkitsee myös suojasäiden vähäisyyttä. Maaston keskikaltevuus edistää maavesien liikkumista. Merkitessään karkeiden maalajien ja samalla pohjavesien runsautta lisää maaston mäkisyyttä talvialivalumaa. Valuma-alueen alan kasvaessa kasvaa myös alivaluma. Tämä on todettu aikaisemmissa tutkimuksissa (Wäre 1951). Talven pidentyessä pienenee talvialivaluma. Puuston määrän kasvaessa pienenee talvialivaluma, samoin kuin edellä on todettu talvivalunnan pienenevän.

Talvialivaluman suuruus riippuu maan eri osissa eri tekijöistä. Niinpä suojasäiden vaikutus on eteläosissa maata ratkaisevan tärkeä, mutta pohjoisosissa sillä ei ole merkittävä vaikutusta tämän aineiston perusteella. Tämän vuoksi on talvialivaluman analyysi suoritettu myös kahteen osaan jaetulla aineistolla.

Talvialivaluma-analyysi Etelä-Suomen (alueiden 14...42) aineistolla. 41 havainnon aineistolla suoritettuna ortogonaaliregressioanalyysillä on todettu merkittäviksi selittäjät $x_1^{1/3}$, x_2 , x_{19} ja x_{23} . Yhtälössä (39) on esitetty parhaiten selittävä malli.

$$(39) \quad y_9 = -1,84 + 0,067 \cdot x_{19} - 0,0066 \cdot x_{23} + 0,27 \cdot x_2 + 0,90 \cdot x_1^{1/3}$$

$$R = 0,721 \quad s_0 = 1,36$$

y_9 = 30 vuorokauden talvialivaluma
(l/s km²)

x_1 = valuma-alueen ala (km²)

x_2 = maaston keskikaltevuus (%)

x_{19} = suojasääindeksi (+ °C vrk)

x_{23} = maan kosteusvajaus edellisenä
syksynä 31.10. (mm)

$$\bar{y}_9 = 1,85 \text{ l/s km}^2 \quad (1,95)$$

$$\bar{x}_1^{1/3} = 2,2 \text{ km}^{2/3} \quad (1,0)$$

$$\bar{x}_2 = 5,9 \% \quad (2,8)$$

$$\bar{x}_{19} = 17 + ^\circ\text{C vrk} \quad (18)$$

$$\bar{x}_{23} = 159 \text{ mm} \quad (77)$$

Jättämällä x_{23} mallista pois on saatu malli (40).

$$(40) \quad y_9 = -2,55 + 0,058 \cdot x_{19} + 0,28 \cdot x_2 + 0,80 \cdot x_1^{1/3} \\ R = 0,678 \quad s_0 = 1,44$$

Mallin (39) selittäjien selittävyysjärjestys on seuraava: x_{19} , x_2 , $x_1^{1/3}$ ja x_{23} .

Talvialivaluma-analyysi Keski- ja Pohjois-Suomen (alueiden 43...116) aineistolla. 139 havainnon aineistolla suoritetulla ortogonaaliregressio-analyysillä on todettu merkitseviksi selittäjät x_2 , x_{14} , x_{15} ja x_{20} . Yhtälössä (41) on esitetty parhaiten selittävä malli.

$$(41) \quad y_9 = 1,44 - 0,022 \cdot x_{15} + 0,0047 \cdot x_{14} - 0,0072 \cdot x_{20} + 0,14 \cdot x_2 \\ R = 0,675 \quad s_0 = 0,73$$

y_9 = 30 vuorokauden talvialivaluma
(l/s km²)

x_2 = maaston keskikaltevuus (%)

x_{14} = lumen vesiarvo 15.3. (mm)

x_{15} = roudan syvyys 31.3. (cm)

x_{20} = talven pituus (vrk)

$\bar{y}_9 = 1,31$ l/s km² (0,99)

$\bar{x}_2 = 5,0$ % (2,6)

$\bar{x}_{14} = 117$ mm (46)

$\bar{x}_{15} = 16$ cm (14)

$\bar{x}_{20} = 144$ vrk (23)

Ottamalla malliin ainoastaan kaksi tärkeintä selittäjää, on saatu malli (42).

$$(42) \quad y_9 = 1,06 - 0,031 \cdot x_{15} + 0,15 \cdot x_2 \quad R = 0,648 \quad s_0 = 0,75$$

Mallin (41) selittäjien selittävyysjärjestys on seuraava: x_{15} , x_2 , x_{14} ja x_{20} .

Vertailtaessa eri aineistoista laskettuja optimimalleja (37), (39) ja (41) todetaan ainoaksi yhteiseksi selittäjäksi x_2 . Ainoastaan yhdessä aineistossa merkitseviä selittäjiä ovat x_5 (koko aineistossa), x_{23} (alueiden 14...42 aineistossa) ja x_{14} (alueiden 43...116 aineistossa). Monet selittäjistä korreloivat keskenään, joten riippuu aivan vähäisestä seikasta, mikä selittäjä kussakin aineistossa on hieman toisia merkitsevempi ja tulee näin malliin edustamaan myös toisia selittäjiä. Jakamalla aineisto kahteen osaan on päästy paremmin selittäviin malleihin kuin koko aineistolla. Käytetyt selittäjät eivät siis ole riittävän hyvin pystyneet kuvaamaan talvialivalumaa koko maassa.

3.7 Kesäalivaluma

30 vuorokauden kesäalivalumaan vaikuttavat selittäjät on valittu 188 havainnon aineistolla suoritetulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa

on ollut valittavana seuraavat selittäjät: valuma-alueen alan kuutiojuuri $x_1^{1/3}$ sekä kuudes juuri $x_1^{1/6}$, maaston keskikaltevuus x_2 , pellon osuus alasta x_3 , suon osuus alasta x_4 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maalajien osuus alasta x_6 , kesäsadanta x_9 , syksysadanta x_{10} , talvi- ja kevät-sadanta x_{11} , roudan syvyys x_{15} , potentiaalinen evapotranspiraatio x_{16} , vuoden keskilämpötila x_{17} , maan kosteusvajaus edellisenä syksynä x_{23} . Selittäjistä ovat osoittautuneet merkitseviksi x_2 , x_5 , x_6 , x_9 , x_{10} , x_{11} , x_{16} , x_{17} ja x_{23} . Selittäjät x_2 , x_9 , x_{11} , x_{16} , x_{17} ja x_{23} ovat erittäin merkitseviä (riski 1 ‰), selittäjät x_5 ja x_{10} merkitseviä (riski 1 %) ja selittäjä x_6 melkein merkitsevä (riski 5 %). Parhaiten selittävä malli on esitetty yhtälössä (43).

$$(43) \quad y_{10} = -2,26 + 0,0071 \cdot x_{11} + 0,014 \cdot x_9 + 0,0086 \cdot x_{10} - 0,58 \cdot x_{17} - \\ 0,0074 \cdot x_{16} + 0,0090 \cdot x_{23} + 0,25 \cdot x_2 - 0,023 \cdot x_5 + 0,025 \cdot x_6 \\ R = 0,860 \quad s_0 = 1,29$$

y_{10} = 30 vuorokauden kesäalivaluma

(l/s km²)

$$\bar{y}_{10} = 2,01 \text{ l/s km}^2 \quad (2,52)$$

x_2 = maaston keskikaltevuus (%)

$$\bar{x}_2 = 5,2 \% \quad (2,7)$$

x_5 = puuston kuutiomäärä koko valuma-

alueen alaa kohti laskettuna (m³/ha)

$$\bar{x}_5 = 51 \text{ m}^3/\text{ha} \quad (21)$$

x_6 = karkeiden maalajien osuus alasta (%)

$$\bar{x}_6 = 45 \% \quad (15)$$

x_9 = kesäsadanta (mm)

$$\bar{x}_9 = 144 \text{ mm} \quad (47)$$

x_{10} = syksysadanta (mm)

$$\bar{x}_{10} = 183 \text{ mm} \quad (54)$$

x_{11} = talvi- ja kevät-sadanta (mm)

$$\bar{x}_{11} = 239 \text{ mm} \quad (70)$$

x_{16} = potentiaalinen evapotranspiraatio

kesä- ja syksyaikana (mm)

$$\bar{x}_{16} = 326 \text{ mm} \quad (54)$$

x_{17} = vuoden keskilämpötila (°C)

$$\bar{x}_{17} = 2,6^\circ\text{C} \quad (1,6)$$

x_{23} = maan kosteusvajaus 31. 10. edellisenä

syksynä (mm)

$$\bar{x}_{23} = 177 \text{ mm} \quad (57)$$

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (43) mukaisessa järjestyksessä ovat seuraavat: 0,0016, 0,0024, 0,018, 0,0084, 0,0025, 0,0018, 0,067, 0,0063 ja 0,011.

Yhtälöissä (44) ja (45) on esitetty malleja kesäalivaluman laskemiseksi eri selittäjäkombinaatioilla.

$$(44) \quad y_{10} = -2,81 + 0,011 \cdot x_{11} + 0,019 \cdot x_9 + 0,011 \cdot x_{10} - 1,01 \cdot x_{17}$$

$$R = 0,764 \quad s_0 = 1,59$$

$$(45) \quad y_{10} = -3,59 + 0,0083 \cdot x_{11} + 0,018 \cdot x_9 + 0,0092 \cdot x_{10} - 0,68 \cdot x_{17} + \\ 0,25 \cdot x_2 - 0,034 \cdot x_5 + 0,034 \cdot x_6$$

$$R = 0,836 \quad s_0 = 1,38$$

Taulukossa 29 on esitetty y_{10} :n neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen.

Talvi- ja kevätsadanta sekä kesäsadanta pienentävät y_{10} :n neliösummaa oleellisesti enemmän kuin syksysadanta. Tämä johtuu osittain siitä, että kesäalivaluma sattuu useimmin heinä-elokuussa, jolloin syksyn sadannalla ei voi olla siihen vaikutusta. Vuoden keskilämpötila, joka tässä yhteydessä on lähinnä eräänlainen maantieteellisen sijainnin mitta, pienentää ratkaisevasti eniten y_{10} :n neliösummaa. Sadantaselittäjät ja keskilämpötilan sisältävä malli (44) selittää 58 % y_{10} :n varianssista. Aluetekijät x_2 , x_5 ja x_6 selittävät tuntuvasti y_{10} :n neliösummaa. Malli (45) selittää 70 % y_{10} :n varianssista. Potentiaalisen evapotranspiraation x_{16} vaikutus on tässä vaiheessa malliin lisättäessä lähes olematon, vaikka x_{16} on ortogonaaliregressioanalyysissä osoittautunut kaltevuuden x_2 jälkeen merkitsevimmäksi selittäjäksi. x_{16} :n edellä malliin lisätyt selittäjät ovat näin ollen tehneet x_{16} :n lähes tarpeettomaksi mallissa.

Maan kosteusvajaus edellisenä syksynä x_{23} pienentää voimakkaasti y_{10} :n neliösummaa. Mallin (43) mukaan on kesäalivaluma sitä suurempi, mitä kuivempaa maa on edellisenä syksynä. Tämä tulos ei vaikuta luontevalta. Tässä tapauksessa ei ole aihetta olettaa x_{23} :n etumerkin muuttuneen selittäjien keskinäisen korrelaation vaikutuksesta, koska x_{23} ei korreloi sanottavasti muiden selittäjien kanssa (taulukko 22).

3.8 Alivalumien suhdelukuja

3.81 Talviajan keskialivaluman pysyvyysluku

Edellä on alivaluma-analyyseissa käsitelty yksinomaan talven ja ke-sän aikana havaittua pienintä 30 vuorokauden keskivalumaa. Joissakin käytännön kysymyksissä on kuitenkin tärkeätä tuntea, kuinka pieni on yhden vuorokauden alivaluma verrattuna 30 vuorokauden alivalumaan. Sen vuoksi on tutkittu yhden vuorokauden ja 30 vuorokauden keskialivalumien suhdetta, jota tässä kutsutaan keskialivaluman pysyvyyslukuksi. Keskialivalumat on laskettu käytettävissä olevien havaintojen (taulukko 5) perusteella. Aikajakson pituus vaihtelee näin ollen kahdesta seitsemään vuoteen.

Talviajan keskialivaluman pysyvyyslukuun y_{11} vaikuttavat selittäjät on valittu 34 havainnon aineistolla suoritettulla ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut valittavana seuraavat aluetekijät ja meteorologisten tekijöiden keskiarvot kyseisiltä vuosilta: ala x_1 , alan kuutiojuuri $x_1^{1/3}$ ja kuudes juuri $x_1^{1/6}$, maaston keskikaltevuus x_2 , pellon osuus alasta x_3 ,

Taulukko 29. 30 vuorokauden kesäalivaluman y_{10} neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_{10} :n neliösumma $11\,800 \cdot 10^{-1}$, vapausasteiden luku 187.

Table 29. Analysis of 30 days summer minimum runoff y_{10} . Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_{10} $11\,800 \cdot 10^{-1}$; degrees of freedom 187.

Selittäjät Independent variables	x_{11}	x_9	x_{10}	x_{17}	x_2	x_5	x_6	x_{16}	x_{23}
Neliösumma $\cdot 10$ Sum of squares $\cdot 10$	10 330	9 526	9 282	4 806	4 049	3 581	3 428	3 362	2 940
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10$ Decrease in sum of squares $\cdot 10$	1 470	804	244	4 476	757	468	153	66	422
R	0,348	0,429	0,448	0,764	0,805	0,829	0,836	0,838	0,860

suon osuus alasta x_1 , puuston kuutiomäärä x_5 , karkeiden maalajien osuus alasta x_6 , talvi- ja keväsadanta x_{11} , vuosisadanta x_{13} , potentiaalinen evapotranspiraatio x_{16} , vuoden keskilämpötila x_{17} , joulukuun–maaliskuun keskilämpötila x_{18} , suojasääindeksi x_{19} ja talven pituus x_{20} .

Merkitseviksi ovat osoittautuneet x_3 , x_5 ja x_{18} . x_3 on erittäin merkitsevä (riski 1 %), x_{18} merkitsevä (riski 1 %) ja x_5 melkein merkitsevä (riski 5 %). Yhtälössä (46) on esitetty parhaiten selittävä malli.

$$(46) \quad y_{11} = 0,40 - 0,029 \cdot x_{18} - 0,0027 \cdot x_3 + 0,0024 \cdot x_5$$

$$R = 0,747 \quad s_0 = 0,10$$

$$y_{11} = \text{talviajan keskialivaluman pysyvyysluku} \quad \bar{y}_{11} = 0,73 \text{ (0,14)}$$

$$x_3 = \text{pellon osuus alasta (\%)} \quad \bar{x}_3 = 15 \% \text{ (17)}$$

$$x_5 = \text{puuston määrä koko valuma-alueen} \\ \text{alaa kohti laskettuna (m}^3\text{/ha)} \quad \bar{x}_5 = 51 \text{ m}^3\text{/ha (22)}$$

$$x_{18} = \text{joulukuun–maaliskuun keskilämpötila (}^\circ\text{C)} \quad \bar{x}_{18} = -8,3^\circ\text{C (2,2)}$$

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (46) mukaisessa järjestyksessä ovat seuraavat: 0,0091, 0,0012 ja 0,00081.

Taulukossa 30 on esitetty x_{11} :n neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. Taulukosta 30 todetaan, että pellon osuus on voimakkain selittäjä. Mitä suurempi osa valuma-alueen alasta on peltoa, sitä pienempi on yhden vuorokauden talviajan keskialivaluma 30 vuorokauden talviajan keskialivalumaan verrattuna. Koska talvialivalumaan vaikuttavat eteläosissa maata erityisesti suojasäät ja pohjoisosissa roudan syvyys ja maaston kaltevuus, on pellon vaikutus talviajan keskialivaluman pysyvyyslukuun tulkittava tältä pohjalta. Voidaan päätellä, että peltoa sisältävällä alueella alivaluma nopeasti pienenee ojien takia.

Taulukko 30. Talviajan keskialivaluman pysyvyysluvun y_{11} neliösumman pieneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_{11} :n neliösumma $6\,776 \cdot 10^{-4}$, vapausasteiden luku 33.

Table 30. Analysis of y_{11} (ratio between mean daily and mean 30 days winter minimum runoffs). Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_{11} $6\,776 \cdot 10^{-4}$; degrees of freedom 33.

Selittäjät Independent variables	x_3	x_5	x_{18}
Neliösumma $\cdot 10^4$ Sum of squares $\cdot 10^4$	4 047	3 637	2 725
Neliösumman pieneminen $\cdot 10^4$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^4$	2 729	410	912
R	0,620	0,655	0,747

Taulukko 31. Kesäajan keskialivaluman pysyvyysluvun y_{12} neliösumman pieneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_{12} :n neliösumma $9\,916 \cdot 10^{-4}$, vapausasteiden luku 33.

Table 31. Analysis of y_{12} (ratio between mean daily and mean 30 days summer minimum runoffs). Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_{12} $9\,916 \cdot 10^{-4}$; degrees of freedom 33.

Selittäjät Independent variables	x_2	$x_1^{1/3}$
Neliösumma $\cdot 10^4$ Sum of squares $\cdot 10^4$	5 311	4 494
Neliösumman pieneminen $\cdot 10^4$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^4$	4 605	817
R	0,669	0,719

Mutta tärkeinä tekijöinä on otettava huomioon myös suureen pellon osuuteen liittyvät muut tekijät, kuten karkeiden maalajien vähäisyys, pieni maaston kaltevuus, suojasäiden runsas esiintyminen jne.

Puuston kuutiomäärällä on suhteellisen vähäinen vaikutus y_{11} :n neliösummaan. Runsa puusto lisää alivaluman tasaisuutta, mikä johtuu osaltaan runsaaseen puustoon liittyvistä tekijöistä, kuten soiden vähäisestä osuudesta, karkeiden maalajien runsaudesta, maaston suuresta kaltevuudesta jne.

Joulu-maaliskuun lämpötilan alhaisuus vaikuttaa tasoittavasti alivalumaan. Tämä johtuu suuria vaihteluita aiheuttavien suojasäiden eliminoitumisesta sekä x_{18} :n ja eräiden maastotekijöiden keskinäisistä korrelaatioista (taulukko 22).

3.82 Kesäajan keskialivaluman pysyvyysluku

Kesäajan keskialivaluman pysyvyyslukuun y_{12} vaikuttavat selittäjät on valittu ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut yhtä suuri aineisto ja samat selittäjät valittavana kuin edellä talviajan keskialivaluman pysyvyysluvun analyysissä.

Merkitseviksi ovat osoittautuneet $x_1^{1/3}$ ja x_2 . x_2 on erittäin merkitsevä (riski 1 %) ja $x_1^{1/3}$ melkein merkitsevä (riski 5 %).

Yhtälössä (47) on esitetty parhaiten selittävä malli.

$$(47) \quad y_{12} = 0,040 + 0,045 \cdot x_2 + 0,062 \cdot x_1^{1/3}$$

$$R = 0,719 \quad s_0 = 0,12$$

y_{12} = kesäajan keskialivaluman pysyvyysluku

x_1 = valuma-alueen ala (km²)

x_2 = maaston keskikaltevuus (%)

$$\bar{y}_{12} = 0,44 \quad (0,17)$$

$$\bar{x}_1^{1/3} = 2,4 \text{ km}^{2/3} \quad (0,9)$$

$$\bar{x}_2 = 5,6 \% \quad (3,1)$$

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (47) mukaisessa järjestyksessä ovat 0,0074 ja 0,026.

Taulukossa 31 on esitetty kesäajan keskialivaluman pysyvyysluvun y_{12} neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen.

Maaston keskikaltevuus lisää voimakkaasti keskialivaluman tasaisuutta. Paitsi suoranaista kaltevuuden aiheuttamaa maavesien suurempaa liikkuvuutta, liittyy suureen maaston kaltevuuteen karkeiden maalaajien suuri osuus, pieni pellon osuus, pieni soiden osuus jne. (taulukko 22).

Alan keskialivaluman pysyvyyslukua lisäävä vaikutus voidaan käsitellä lähes puhtaaksi alan vaikutukseksi, sillä ala ei korreloi voimakkaasti minkään muun selittäjän kanssa. On luonnollista, että valuma-alueen alan kasvaessa suurenee myös todennäköisyys sille, että alueella on alivalumaa tasoittavia tekijöitä, kuten karkeita maalajeja sisältäviä muodostumia.

Vaikkakin alueiden keskisadantojen välillä on suuria eroja ja sadannan varianssi on siis melko suuri, ei sadanta ole osoittautunut merkitseväksi tekijäksi pysyvyysluvun y_{12} analyysissä.

Taulukko 32. Kesäajan ja talviajan 30 vuorokauden keskialivalumien suhdeluvun y_{13} neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. y_{13} :n neliösumma $4\,910 \cdot 10^2$, vapausasteiden luku 33.

Table 32. Analysis of y_{13} (ratio between summer and winter 30 days minimum runoffs). Decrease in the sum of squares, when the independent variables are added one by one to the model. Total sum of squares of y_{13} $4\,910 \cdot 10^2$; degrees of freedom 33.

Selittäjät Independent variables	x_{17}	x_2	x_5
Neliösumma $\cdot 10^{-2}$ Sum of squares $\cdot 10^{-2}$	1 216	1 145	919
Neliösumman pieneneminen $\cdot 10^{-2}$ Decrease in sum of squares $\cdot 10^{-2}$	3 694	71	226
R	0,863	0,867	0,891

3.83 Kesäajan ja talviajan 30 vuorokauden keskialivalumien suhdeluku

y_{10} :n ja y_9 :n suhteeseen y_{13} vaikuttavat selittäjät on valittu ortogonaaliregressioanalyysillä, jossa on ollut yhtä suuri aineisto ja samat selittäjät valittavana kuin edellä y_{11} :n analyysissä.

Merkitseviksi ovat osoittautuneet x_2 , x_5 ja x_{17} . x_{17} on merkitsevä (riski 1 %) ja x_2 sekä x_5 melkein merkitseviä (riski 5 %).

Yhtälössä (48) on esitetty parhaiten selittävä malli.

$$(48) \quad y_{13} = 3,07 - 0,56 \cdot x_{17} + 0,11 \cdot x_2 - 0,015 \cdot x_5$$

$$R = 0,891 \quad s_0 = 0,55$$

y_{13} = kesäajan ja talviajan 30 vuorokauden keskialivalumien suhde

$$\bar{y}_{13} = 1,59 \text{ (1,22)}$$

x_2 = maaston keskikaltevuus (%)

$$\bar{x}_2 = 5,6 \% \text{ (3,1)}$$

x_5 = puuston määrä koko valuma-alueen alaa kohti laskettuna (m^3/ha)

$$\bar{x}_5 = 51 \text{ m}^3/\text{ha} \text{ (22)}$$

x_{17} = vuoden keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

$$\bar{x}_{17} = 2,4^{\circ}\text{C} \text{ (1,5)}$$

Regressiokertoimien keskihajonnat mallin (48) mukaisessa järjestyksessä ovat 0,083, 0,041 ja 0,0054.

Taulukossa 32 on esitetty y_{13} :n neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. Todetaan, että kesäalivaluman ja talvialivaluman suhde riippuu erittäin voimakkaasti keskilämpötilasta x_{17} . Keskilämpötila on tässä yhteydessä eräänlainen maantieteellinen suure, joka ilmaisee valuma-alueen sijainnin. Tähän suureeseen sisältyvät talven ja kesän pituuksien suhde, kesän haihtumisot ja jossain määrin myös maaston ominaisuuksia.

Maaston keskikaltevuus x_2 selittää melko vähän y_{13} :n varianssia. Sen sijaan puuston kuutiomäärän vaikutus on huomion arvoinen. Suuri puuston kuutiomäärä merkitsee tässä aineistossa pientä kesäalivalumaa verrattuna talvialivalumaan.

4. TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa on käsitelty maataloushallituksen insinööriosaston maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston hydrologisilla havaintoalueilla vuosina 1958–1964 suoritettuja havaintoja. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää valuntasuureiden, vuosivalunnan ja vuodenaikojen valuntojen, ylivaluman sekä alivaluman riippuvuutta meteorologisista ja aluetekijöistä. Hydrologisia havaintoalueita ja niillä suoritettuja havaintoja on selostettu yksityiskohtaisesti aikaisemmissa julkaisuissa (Mustonen 1964, 1965a, 1965b).

Taulukossa 1 ja kuvassa 1 on esitetty havaintoalueiden sijainti. Taulukossa 2 on esitetty aluetekijät havaintoalueilla. Aluetekijät on määritetty linja-arviona, mittaamalla 100–200 pisteessä mm. puusto relaskoopilla, mittaamalla kaltevuusmittarilla maanpinnan kaltevuus ja tutkimalla näistä pisteistä otetut maanäytteet laboratoriossa. Kaikki valuntahavainnot on tehty piirtureilla varustettuja mittapatoja käyttäen (kuva 2). Suojaamalla padot talvella on valuntahavainnot saatu koko vuoden ajalta. Taulukossa 3 on esitetty vuosivalunta ja vuodenaikojen valunnat. Perusjaksona on käytetty hydrologista vuotta (1.11.–31.10.).

Talvivalunta käsittää valunnan aikana 1.11.–15.3. ja kevätvalunta valunnan maaliskuun 16. päivästä lumen sulamisen päättymispäivämäärään t_0 saakka. Kevätvaluntaan on luettu myös lumen sulamisesta aiheutunut resessiovalunta (kuva 3). Kesä- ja syksyvalunta käsittää valunnan aikana t_{0+1} –31.10., lukuunottamatta edellä mainittua lumen sulamisesta aiheutunutta resessiovaluntaa.

Ylivaluma on esitetty taulukossa 4. Kevätylivaluma tarkoittaa lumen sulamisvaiheen aikana sattunutta suurinta vuorokauden keskivalumaa. Kesäylivaluma tarkoittaa lumen sulamisen päättymisen ja 31.10. välisenä aikana sattunutta suurinta vuorokauden keskivalumaa. Kevät- ja kesäylivalumien sattumisajan jakautuminen on esitetty kuvassa 4.

Alivaluma on esitetty taulukossa 5. Alivalumista on esitetty neljä eri suuretta, pienin vuorokauden keskivaluma ja pienin 30 vuorokauden keskivaluma sekä aikana 1.11.– t_0 (talvialivaluma) että aikana t_{0+1} –31.10. (kesäalivaluma). Alivalumien sattumisajan jakautuminen on esitetty kuvassa 5.

Aluesadannan määrittämissä käytetyt Ilmatieteellisen keskuslaitoksen sadeasemat on esitetty taulukossa 6. Aluesadannan arvot on esitetty taulukoissa 7 ja 8. Aluesadanta on määritetty useimmilla alueilla kahden Wildin sademittarin havaintojen keskiarvona. Joillakin alueilla on käytetty kolmen sademittarin havaintoja ja eräillä alueilla ainoastaan yhden sademittarin havaintoja. Lumisadehavainnot on korjattu käyttäen taulukossa 6 esitettyjä kertoimia, jotka on määritetty vertaamalla sademittarilla mitattua sadantaa lumen linjamittaushavaintoihin. Aluesadannan määrittämissä syntyvän keskivirheen suuruutta on tutkittu kuvassa 6 esitettyjen sadeasemien havaintojen perusteella. Tarkastelun tulokset on esitetty taulukossa 9. Taulukossa 10 on esitetty Sirénin (1964) tutkimusten mukaan sadannan ja korkeusaseman välistä riippuvuutta kuvaavia lukuja Lapin tunturialueella.

Lumen vesi-arvon määrittäminen havaintoalueilla on suoritettu edustavaan paikkaan sijoitetulla, otantaperiaatteen mukaisesti maastoon merkityillä 50 pistettä käsittävällä havaintolinjalla mitattujen 50 lumen syvyyshavainnon ja 10 lumen tiheyshavainnon perusteella. Lumelinjahavainnot on korjattu hydrologisen havaintoalueen maastoa vastaaviksi käyttäen taulukossa 11 esitettyjä maastoluokkien vaikutuksia lumisuureisiin. Lumen aluevesiarvo maaliskuun 15. päivänä on esitetty taulukossa 12.

Roudan syvyys havaintoalueilla on määritetty lumenmittauslinjan tiheyden mittauspisteissä terästangolla suoritettujen mittausten perusteella. Näiden kymmenen pisteen roudan syvyyden keskiarvo on korjattu havaintoaluetta vastaavaksi käyttäen taulukossa 13 esitettyjä maastoluokkien vaikutuksia roudan syvyyteen. Roudan syvyyden aluearvot maaliskuun 31. päivänä on esitetty taulukossa 14.

Potentiaalisen evapotranspiraation määrittämisessä on käytetty U. S. Weather Bureau'n kaavaa (2). Tarvittavat meteorologiset havainnot on saatu taulukossa 15 esitetyiltä ilmastoasemilta. Tulosteilyn määrittämiseksi on kehitetty aurinkoautografihavaintoihin perustuva menetelmä.

Potentiaalinen evapotranspiraatio aikana $t_{e+1} \dots 31.10.$ on esitetty taulukossa 16. Tässä taulukossa on esitetty myös päivämäärä t_e .

Hydrologisen vuoden keskilämpötila, joulukuun...maaliskuun keskilämpötila, suoja-sääindeksi ja talven pituus on esitetty taulukossa 17. Suoja-sääindeksi on laskettu tammi...maaliskuun positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen summana. Talven pituus on laskettu siitä päivästä, jolloin lämpötila on pysyvästi laskenut 0°C alapuolelle, siihen päivään, jolloin kevätylivalumakausi on alkanut.

Kevätylivaluman analyysissä on käytetty selittäjinä myös ylivaluman sattumisvuorokauden ja edeltäneen vuorokauden keskilämpötilaa ja määritettyjen kahden vuorokauden sadantaa.

Maan kosteusvajaus hydrologisten vuosien vaihteessa 31.10. on määritetty kaavan (3) perusteella ajanjakson t_{e+1} ...31.10. sadannan, valunnan ja potentiaalisen evapotranspiraation avulla. Taulukossa 18 on esitetty laskelmia, jotka havainnollistavat kaavan (3) mukaista maan kosteusvajauksen määritystapaa.

Maan keskimääräinen kosteusvajaus havaintoalueilla sekä keskimääräinen kosteusvajauksen muutos hydrologisen vuoden aikana on esitetty taulukossa 19.

Valuntasuureiden sekä meteorologisten ja aluetekijöiden määrittämisen tarkkuutta selviteltäessä on todettu näiden määrittäminen suhteellisen tarkaksi. Lumi-, routa- ja haihduntahavaintojen tarkkuus on näiden havaintojen merkitykseen nähden tyydyttävä. Aluesadannan määrittämisen tarkkuus on tyydyttävä useimmilla alueilla. Tasaisessa maastossa ovat tässä tutkimuksessa käytetyt kahden sadeaseman havaintojen avulla lasketut, usean kuukauden pituisten ajanjaksojen sadannat määritettävissä muiden selittäjien tarkkuuteen verrattavalla tarkkuudella. Pohjois-Suomen alueilla, joilla korkeuserot ovat 100...250 metriä, on aluesadannan määrittäminen suhteellisen epätarkkaa varsinkin niillä alueilla, joilla on yksi ainoa sadeasema.

Selvitettäessä havaintovuosien 1958...1964 meteorologista ja hydrologista luonnetta, on taulukoissa 20 ja 21 esitetty näiden vuosien lämpötila- ja sadantatilastoja Jokioisista, Jyväskylästä, Oulusta ja Sodankylästä, sekä normaalivuosisijakson 1931...1960 vastaavat arvot. Vuosisijakso 1958...1964 on ollut keskimäärin normaalilämpöinen ja sisältänyt sekä kylmiä että lämpimiä vuosia. Vuosisijakson 1958...1964 sadanta on ollut keskimäärin jonkin verran normaalia pienempi, ja vuosisijakso on sisältänyt sekä kuivia että sateisia vuosia.

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty Mäntsälänjoen ja Kalajoen valuntasuureita vuosilta 1958...1964 sijoitettuna vuosisijakson 1931 (1932)...1960 havaintojen perusteella piirretyille normaalikäyrille Gumbelin todennäköisyyspaperilla. Vuosisijakson 1958...1964 keskivaluma on ollut noin 10 % normaalia pienempi, samoin kuin kevätajan keskiylivalumakin. Keskiylivalumat ovat olleet hieman normaalia suuremmat.

Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutusta valuntaan on selvitetty normaalilla lineaarisella usean muuttujan regressioanalyysillä käyttäen edellä esiteltyä aineistoa, yhtälö (4). Merkitsevät selittäjät on valittu monien mahdollisten joukosta ns. ortogonaaliregressioanalyysillä käyttäen. Merkitsevyyden rajana on pidetty 95 % varmuutta. Kunkin valuntasuureen analyysissä on esitetty parhaiten selittävä malli, mallin yhteiskorrelaatiokerroin R , jäännöshajonta s_0 sekä regressiokertoimien keskihajonnat. Merkitsevien selittäjien luettelossa on kussakin analyysissä esitetty

selittäjän keskiarvo sekä keskiarvon jäljessä sulkeissa selittäjän yksityisten arvojen keskihajonta.

Kunkin valuntasuureen analyysissa on havainnollistettu selittäjien selitysvoimakkuutta esittämällä taulukon muodossa funktion neliösumman pieneneminen lisättäessä malliin selittäjät yksitellen. Johtuen mm. selittäjien keskinäisistä korrelaatioista, riippuu selittäjien selitysvoimakkuus siitä, missä järjestyksessä selittäjät lisätään malliin.

Arvosteltaessa edellä esiteltyä aineistoa regressioanalyysin kannalta voidaan 33...34 havaintoalueelta 2...7 vuoden aikana saatua noin 180 havainnon aineistoa pitää suhteellisen laajana. Sekä tutkittavien valuntasuureiden että selittävien meteorologisten ja aluetekijöiden vaihtelut ovat huomattavan suuria. Aineisto on kerätty useanlaisissa ilmasto- ja maasto-oloissa toisistaan meteorologisesti poikkeavien vuosien aikana. Tämä aineiston käyttökelpoisuutta parantava ominaisuus ilmenee selittäjien keskihajonnan suuruudessa.

Suurimpana vaikeutena analyysien suorituksessa ja varsinkin tulosten hydrologisessa tulkinnassa on selittäjien keskinäinen korrelaatio. Keskinäisen korrelaation korrelaatiokertoimet r on esitetty taulukossa 22. Jos selittäjät eivät korreloisi keskenään, voitaisiin kutakin selittäjänä olevaa meteorologista tai aluesuuretta pitää todellisena valuntaan vaikuttavana tekijänä, primäärisenä syynä. Kun selittäjät korreloivat keskenään, mikä on tavallista luonnontieteellisen ilmiön regressioanalyysissa, edustaa kukin selittäjä suurta joukkoa meteorologisia ja aluetekijöitä. Esimerkiksi suuri maaston kaltevuus merkitsee jossain määrin myös pientä pellon osuutta alasta ($r = -0,44$), pientä suon osuutta alasta ($r = -0,48$), suurta karkeiden maalajien osuutta alasta ($r = 0,83$), suurta lumen vesiarvoa ($r = 0,42$) jne. (taulukko 22). Kun maaston keskikaltevuus on osoittautunut analyysissa merkitseväksi, joko valuntaa suurentavaksi tai pienentäväksi selittäjäksi, on tätä tulosta hydrologisesti tulkittaessa otettava huomioon nämä keskinäiset korrelaatiot.

Edellä esitetyllä aineistolla on selostettua tilastomatemaattista menetelmää käyttäen suoritettu analyysija, joilla on pyritty selvittämään meteorologisten ja alueselittäjien $x_1 \dots x_{24}$ vaikutusta valuntasuureisiin $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_9, y_{10}, y_{11}, y_{12}$ ja y_{13} . Analyysit on laskettu Teknillisen korkeakoulun laskentakeskuksessa. Analyysien päätulokset ilmenevät taulukossa 33 esitetystä yhdistelmästä.

Vuosivalunnan analyysin tulokset on esitetty yhtälöissä (5)...(21), taulukossa 23 ja kuvassa 9. Optimimalli (5) selittää vuosivaluntaa hyvin voimakkaasti ($R = 0,943$). Pelkillä sadanta- ja lämpötilahavainnoilla on päästy hyvään tulokseen ($R = 0,914$). Vuosisadannan jakaminen osiin vuodenaikojen perusteella on osoittautunut sitä hyödyllisemmäksi, mitä

vähemmän mallissa on muita selittäjiä. Vuoden keskilämpötila on osoittautunut sadannan yhteydessä erittäin tärkeäksi selittäjäksi ja on tehnyt potentiaalisen evapotranspiraation lähes tarpeettomaksi. Kehitetty maan kosteusvajauksen muutosta kuvaava selittäjä (yhtälö 3) on osoittautunut mallia parantavaksi. Roudan syvyys ja puuston kuutiomäärä ovat osoittautuneet valuntaa pienentäviksi, karkeiden maalajien osuus valuntaa suurentavaksi tekijäksi. Pellon ja suon osuudella ei ole todettu tämän aineiston perusteella olevan merkitsevää vaikutusta valuntaan. Aluekohtaisilla selittäjillä yleensä on erittäin pieni vaikutus vuosivaluntaan. Osittain tämä on johtunut siitä, että nämä vaikutukset ovat tulleet eräiden toisten selittäjien yhteydessä jo esille. Tämä on tärkeää mallin käytön kannalta, koska pelkillä meteorologisilla havainnoilla päästään hyviin arvioihin.

Talvivalunnan analyysin tulokset on esitetty yhtälössä (22) ja taulukossa 24. Johtuen erityisesti suojasäiden vaikutuksesta ei analyysissa ole päästy hyvään selittävyteen ($R = 0,587$). Talvivaluntaan merkitsevästi vaikuttaviksi tekijöiksi ovat osoittautuneet edellisen syksyn maan kosteusoloja kuvaavat selittäjät, maan kosteusvajausta 31.10. ja elo...lokakuun sadanta. Suojuuaindeksi selittää voimakkaasti talvivaluntaa varsinkin Etelä-Suomen oloissa. Roudan syvyys ja puuston kuutiomäärä vähentävät talvivaluntaa, karkeiden maalajien osuus ja pellon osuus alasta lisäävät talvivaluntaa.

Kevätvalunnan analyysin tulokset on esitetty yhtälöissä (23)–(27) ja taulukossa 25. Optimimalli (23) selittää voimakkaasti kevävaluntaa ($R = 0,925$). Ennen kevävaluntakautta tiedossa olevia selittäjiä sisältävällä mallilla (27) on päästy yhteiskorrelaatiokertoimeen $R = 0,839$. Lumen vesiarvoon ja kevätasadantaan verrattuna ovat muut merkitsevät selittäjät selitysvoimakkuudeltaan heikkoja. Roudan syvyys ja maaston keskikaltevuus pienentävät ja pellon osuus alasta suurentaa kevävaluntaa.

Kesä- ja syksyvalunnan analyysin tulokset on esitetty yhtälöissä (28)–(33) ja taulukossa 26. Optimimalli (28) on selitysvoimakkuudeltaan suhteellisen hyvä ($R = 0,834$), vaikka se ei sisällä sadannan tasaisuutta eikä maan kosteusvajauksen ilmaisevia selittäjiä, jotka ilmeisesti parantaisivat mallia. Syksysadanta on tärkeämpi selittäjä kuin kesäsadanta. Vuoden keskilämpötila on erittäin tärkeä selittäjä ja tekee yhdessä sadantaselittäjien kanssa potentiaalisen evapotranspiraation *PET* lähes tarpeettomaksi mallissa, vaikka *PET* on alunperin ollut yksityisistä selittäjistä merkitsevin. Roudan syvyys ja puuston kuutiomäärä pienentävät ja karkeiden maalajien osuus lisää kesä- ja syksyvaluntaa. Aluetekijöiden osuus yleensä on osoittautunut vähäiseksi.

Taulukko 33. Yhdistelmä selittäjien vaikutuksesta valuntasuureisiin. Merkki + osoittaa, että selittäjän vaikutus on y :n arvoa suurentava, merkki — vastaavasti, että vaikutus on y :n arvoa pienentävä. Merkki * tarkoittaa, että vaikutus on melkein merkitsevä (riski 5 %), ** = vaikutus on merkitsevä (riski 1 %), *** = vaikutus on erittäin merkitsevä (riski 1 ‰).

Selitettävä valuntasuure Dependent runoff variable	Yhteiskorre- laatiokerroin Total coeffi- cient of correlation R	Selittäjät									
		$x_1^{1/3}$	x_2	x_3	$\frac{-x_3}{0,033 x_3^2}$	x_5	x_6	x_8	x_9	x_{10}	x'_{10}
y_1	0,943					— ***	+ ***		+ ***	+ ***	
y_2	0,587			+ *		— **	+ ***				+ **
y_3	0,925		— ***	+ *				+ ***			
y_4	0,834					— *	+ *		+ ***	+ ***	
y_5	0,713		— **		+ **						
y_9	0,624	+ *	+ ***			— *					
y_{10}	0,860		+ ***			— **	+ *		+ ***	+ **	
y_{11}	0,747			— ***		+ *					
y_{12}	0,719	+ *	+ ***								
y_{13}	0,891		+ *			— *					

Kevätylivaluman analyysin tulokset on esitetty yhtälöissä (34)–(36) ja taulukossa 27. Ottaen huomioon kevätylivaluman epästabiilin luonteen järvettömillä valuma-alueilla on mallin (34) selittävyyttä ($R = 0,713$) pidettävä tyydyttävänä. Lumen vesi-arvo on ylivoimaisesti tärkein selittäjä. Ylivaluman sattumisvuorokauden ja sitä edeltäneen vuorokauden keskilämpötilasta vesi-arvon kanssa kertomalla saatu selittäjä sekä mainittujen vuorokausien sadanta parantavat mallia verraten vähän. Roudan syvyys ja maaston keskikaltevuus pienentävät kevätylivalumaa. Pellon osuuden lisääntyessä pienenee kevätylivaluma aluksi (kuva 10). Kun pellon osuus ylittää 15–24 %, alkaa ylivaluma kasvaa. Valuma-alueen alalla ei ole tässä aineistossa todettu olevan vaikutusta kevätylivalumaan.

Table 33. Effects of independent variables on dependent runoff variables. + indicates increasing effect of independent variables, — indicates decreasing effect of independent variables. * indicates that the independent variable is significant at 0,05 level, ** indicates that the independent variable is significant at 0,01 level, *** indicates that the independent variable is significant at 0,001 level.

Independent variables												
x_{11}	x_{13}	x_{14}	$x_{14} \cdot x_{21}$	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{22}	x_{23}	x_{24}
+	+			—	—	—						+
***	***			***	***	***						***
				—				+			—	
				**				***			***	
		+		—								
		***		***								
				—	—	—						
				*	***	***						
		+	+	—							+	
		***	***	**							**	
				—				+	—			
				***				***	*			
+					—	—						+
***					***	***						***
							—					
							**					
						—						
						**						

Talvialivaluman analyysin tulokset on esitetty yhtälöissä (37)–(42) ja taulukossa 28. Talvialivalumaan vaikuttavien tekijöiden ollessa erilaisia Etelä-Suomessa verrattuna Pohjois-Suomeen, on paras tulos saatu jakamalla aineisto kahteen osaan. Käsiteltäessä koko aineisto samassa analyysissä on yhteiskorrelaatiokertoimeksi saatu $R = 0,624$. Etelä-Suomen aineistolla on saatu $R = 0,721$ sekä Keski- ja Pohjois-Suomen aineistolla $R = 0,675$. Etelä-Suomessa on suojasääindeksi tärkein selittäjä, vastaavasti Keski- ja Pohjois-Suomessa roudan syvyys. Maaston keskikaltevuudella on huomattava talvialivalumaa lisäävä vaikutus. Valuma-alueen ala lisää talvialivalumaa ja puuston kuutiomäärä pienentää sitä.

Kesäalivaluman analyysin tulokset on esitetty yhtälöissä (43)–(45) ja taulukossa 29. Kesäalivaluman analyysissä on päästy oleellisesti pa-

rempaan selittävyteen ($R = 0,860$) kuin talvialivaluman analyysissa. Pelkästään sadantaselittäjät ja vuoden keskilämpötilan sisältävällä mallilla (44) on saatu yhteiskorrelaatiokertoimeksi $R = 0,764$. Vuoden keskilämpötila on osoittautunut kaikkein tärkeimmäksi selittäjäksi, jopa sadantaselittäjiäkin tärkeämmäksi, lisättynä malliin näiden jälkeen. Maaston keskikaltevuus lisää huomattavasti ja puuston kuutiomäärä pienentää melko voimakkaasti kesäalivalumaa.

Talviajan keskialivaluman pysyvyysluvun eli yhden vuorokauden ja 30 vuorokauden keskialivaluman suhdeluvun analyysin tulokset on esitetty yhtälössä (46) ja taulukossa 30. Pellon osuus alasta on osoittautunut tärkeimmäksi selittäjäksi. Joulu...maaliskuun lämpötila ja puuston kuutiomäärä parantavat myös mallia huomattavasti. Pellon osuus pienentää ja puuston kuutiomäärä suurentaa pysyvyyslukua.

Kesäajan keskialivaluman pysyvyysluvun analyysin tulokset on esitetty yhtälössä (47) ja taulukossa 31. Maaston keskikaltevuus ja valuma-alueen ala lisäävät pysyvyyslukua.

Kesäajan ja talviajan keskialivalumien suhdeluvun analyysin tulokset on esitetty yhtälössä (48) ja taulukossa 32. Vuoden keskilämpötila, tässä yhteydessä lähinnä maantieteellisen sijainnin mittana, on osoittautunut ylivoimaisesti tärkeimmäksi selittäjäksi. Se selittää yksin 75 % tämän suhdeluvun varianssista. Puuston kuutiomäärä pienentää kesäalivalumaa talvialivalumaan verrattuna ja maaston keskikaltevuus vaikuttaa päinvastoin.

Yhteenvedona selittäjien vaikutuksista varsinaisiin valuntasuureisiin voidaan taulukon 33 perusteella todeta maaston kaltevuuden pienentävän kevätajan valuntasuureita, mutta lisäävän alivalumia. Pellon osuus lisää talvi- ja kevätvaluntaa. Puuston kuutiomäärä pienentää lähes kaikkia valuntasuureita ja karkeiden maalajien osuus vastaavasti lisää niitä. Roudan syvyys pienentää kaikkia kysymykseen tulevia valuntasuureita, jopa kesä- ja syksyvaluntaakin.

Joskin aluetekijöiden vaikutukset ovat useimmissa tapauksissa tilastollisesti voimakkaasti merkitseviä, on niiden vaikutus valuntasuureisiin vähäinen, alivalumasuureita lukuunottamatta. Koska tavallisimmat meteorologiset tekijät tunnetaan ilmastoasemilla tehtyjen pitkäaikaisten havaintojen perusteella hyvin, mutta aluetekijöiden määrittäminen käytännön töissä perustuu yleensä arviointeihin, merkitsee todettu aluetekijöiden vähäinen vaikutus etua kehitettyjen mallien käyttökelpoisuudessa.

Tässä tutkimuksessa kehitetyt mallit sisältävät useita hydrologisia riippuvuussuhteita selvittäviä perussääntöjä, joiden sovellutusmahdollisuudet ovat käytetyn aineiston monipuolisuuden ansiosta suhteellisen laajat.

5. ENGLISH ABSTRACT

This investigation is an analysis of hydrologic data obtained from research basins during the years 1958 to 1964. These research basins were operated by the Hydrotechnical Research Bureau of the Board of Agriculture. The dependence of runoff variables on meteorologic and basin variables was examined by using the regression analysis method. Observations carried out in these basins were reported in detail in previous publications (Mustonen 1964, 1965a, 1965b).

The location of the research basins is shown in table 1 and in fig. 1. Basin characteristics are shown in table 2. Basin characteristics were determined by using a line survey in about 100 to 200 points. The volume of forest growing stock was determined by using a relascope, and the land slope was measured by using an inclinometer. Soil samples taken from investigation points were analyzed and soil types were determined in a laboratory.

Runoff data was obtained from measuring weirs equipped with recording gages (fig. 2). The weirs were prevented from freezing in winter, making runoff statistics available throughout the year.

Annual and seasonal runoffs are shown in table 3. The water year from November 1 to October 31 was used as a basic period. Winter runoff included runoff from November 1 to March 15, and spring runoff included runoff from March 16 to the end of snowmelt (t_e). The recession runoff resulting from snowmelt included spring runoff (fig. 3). Summer and autumn runoff included runoff from t_{e+1} to October 31, but excluded the recession part of the spring runoff.

Annual maximum runoffs are shown in table 4. Spring maximum runoff is equal to the greatest daily runoff during snowmelt. Summer maximum runoff is equal to the greatest daily runoff from t_{e+1} to October 31. Maximum runoff dates are shown in fig. 4.

Annual minimum runoffs are shown in table 5. There are four different minimum runoffs: minimum daily and minimum 30 days runoffs during the period November 1 to t_e (y_7 and y_9) and the same runoffs during the period t_{e+1} to October 31 (y_8 and y_{10}). Minimum runoff dates are shown in fig. 5.

Table 6 shows the list of Finnish Meteorological Office precipitation stations used in this investigation. Precipitation in research basins is shown in tables 7 and 8. Precipitation was computed as a mean of two stations, but in some basins only one station was used. Wild type precipitation gages, equipped with Nipher shields, were used. Snowfall measurements were corrected using coefficients shown in table 6. These correction coefficients were determined as a ratio between the snow survey line measurements and the precipitation gage measurements. The standard error of computing average rainfall in drainage basins was examined in a hypothetical drainage basin (fig. 6, table 9). Finland is mainly flat or gently sloping lowland, and consequently height and height differences have no serious effects on precipitation. In North Finland, however, some basins are quite mountainous; table 10 shows results of investigations (Sirén 1964) indicating the relation between precipitation and gage height in North Finland fjelds.

Water equivalent of snow was calculated using snow survey line measurements. Although snow survey lines were located representatively, proper measuring points on these lines were determined on a random sampling basis using measuring tape and compass. These points were marked with stakes. Snow depths were measured at 50 points on the snow survey line and the snow densities were measured at 10 of these points. Snow survey line measurements were corrected to represent basin conditions more accurately. This correction was made by means of terrain class effects on both snow depth and snow density (table 11). Corrected water equivalent of snow on March 15 is shown in table 12.

Frost depth in research basins was measured at 10 points on the snow survey lines. The frost depth was measured with steel rods. Frost depth measurements were corrected to represent basin conditions more accurately. These corrections were made by means of terrain class effects on frost depth (table 13). The corrected frost depth measurements on March 31 are shown in table 14.

Potential evapotranspiration was computed by means of U. S. Weather Bureau formula (2), using meteorologic factors measured at climatological stations shown in table 15. A method was developed for estimating solar radiation on a basis of sunshine duration (Mustonen 1964). Potential evapotranspiration is shown in table 16. The dates of the end of snowmelt t_e are also shown in this table.

Mean temperatures for various water years, mean temperatures for December to March, degree day factors and duration of winters are

shown in table 17. The degree day factor is a sum of the positive daily temperatures for January to March. Durations of winters were determined from the day when daily temperatures fell below 0°C to the day when the spring snowmelt began.

Precipitation for the day of maximum runoff and the day preceding it, and the mean temperature of these two days were used as independent variables in analysing the spring maximum runoff.

Soil moisture deficiency at the turn of the water year (October 31) was determined by means of formula (3), using precipitation, runoff and potential evapotranspiration during the period t_0 to October 31. Computations illustrating the formula (3) method are shown in table 18.

Mean soil moisture deficiencies on October 31 and the annual mean changes in soil moisture deficiency are shown in table 19.

The errors in runoff data and basin characteristics were considered to be relatively small. Snow, frost and potential evapotranspiration statistics were considered to be satisfactorily accurate in view of the importance of these variables. The accuracy of basin precipitation statistics was satisfactory in most basins. In flat basins precipitation for several months can be determined reasonably accurately by using only two gages. Errors in basin precipitation were large in North Finland, where height differences in basins were between 100 and 250 m.

Tables 20 and 21 show meteorologic conditions, mean monthly temperatures and monthly precipitation amounts during the water years 1958 to 1964 at four places in Finland. Corresponding figures for the normal period (1931 to 1960) are also shown in tables 20 and 21. The period 1958 to 1964 was normal with regard to temperature, however, precipitation was less than normal. This period included cold, warm, wet and dry years.

Figures 7 and 8 illustrate the hydrologic character of the period 1958 to 1964 compared with the normal period (1931 to 1960) in two river basins. The Mäntsälänjoki basin (780 km^2) is located on the south coast and the Kalajoki basin ($3\,025 \text{ km}^2$) is located on the north-west coast. The mean annual runoff and the mean spring maximum runoff during the period 1958 to 1964 was about 10 % less than normal, and the mean annual minimum runoff was slightly greater than normal.

The above data was investigated by using the normal linear multivariate regression analysis, formula (4). The significant independent meteorologic and basin variables were selected with the aid of the orthogonal regression method (Volk 1958). The significance limit was at 0,05 level. The most suitable model as well as other usable models, total correlation coefficients R , residual deviations of dependent variables s_0 ,

and standard deviations of regression coefficients are shown in the analysis of each runoff variable. The means of all variables and the standard deviations of variables (in brackets after the means) are also shown in analysis. The reduction on the sum of squares of dependent variables, resulting from the addition of individual independent variables, is shown in tables 23 to 32. The reduction ability of the independent variables in tables 23 to 32 depends partly on their order of sequence because these independent variables are correlated with each other. The distribution of residual errors was examined and found to be about normal.

The data, presented in this investigation is relatively large because it includes statistics from 34 basins covering a period of 2 to 7 years totaling about 180 items. Variation of dependent and independent variables is necessarily large, because of varying meteorologic and basin characteristics. This large variation of variables is of special importance in this investigation.

The correlation between independent variables greatly complicates the interpretation of the results of analysis. Correlation coefficients r between independent variables are shown in table 22. If the independent variables were uncorrelated, each meteorologic and basin characteristic variable would be an actual, primary factor affecting runoff, but because the independent variables are correlated, each one represents a large group of meteorologic and basin characteristic variables. As an example of this, it can be seen that the land slope x_2 shows to some extent the percentage of cultivated land x_3 ($r = -0,44$), the percentage of peat land x_4 ($r = -0,48$), the percentage of coarse soils x_6 ($r = 0,83$) and the water equivalent of snow x_{14} ($r = 0,42$) etc. (table 22). When the land slope proves to be a significant increasing or decreasing factor, these inter-correlations must be kept in mind when interpreting the regression analysis.

The effects of meteorologic variables and basin variables x_1 to x_{24} on runoff variables $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_9, y_{10}, y_{11}, y_{12}$ and y_{13} were evaluated by using normal linear multivariate regression analysis. Calculations were made in the computing center of the Institute of Technology using an Elliot 803 electronic computer.

The main results of the analyses are shown in table 33.

The results of the annual runoff analysis are shown in equations (5) to (21) and in table 23 and in fig. 9. Optimum model (5) explains the variance in annual runoff very well ($R = 0,943$). A good result was obtained using only precipitation and temperature variables ($R = 0,914$), equation (9). Dividing annual precipitation into seasonal amounts for regression analysis was found to be useful, especially when

there were only a few independent variables, equations (6) to (9) and (15). Mean annual temperature was a very important variable, and together with precipitation variables, it made the potential evapotranspiration variable almost unnecessary. The independent variable x_{24} which represented the annual change in soil moisture deficiency (equation 3) improved the model considerably. Frost depth and the volume of growing stock decreased annual runoff and the percentage of coarse soils correspondingly increased annual runoff. The percentage of cultivated land and the percentage of peat land did not prove to be significant variables. Basin characteristics had generally very little effect on the annual runoff. This is especially important when using the above models because we can make a good approximation of the annual runoff from readily available meteorologic data.

The results of the winter runoff analysis are shown in equation (22) and in table 24. The results of this analysis were poor ($R = 0,587$), due mainly to thaws. Moisture indexes for the previous autumn (x_{23} and x'_{10}) and the degree day factors were the most important variables. Frost depth and the volume of growing stock decreased winter runoff. The percentage of coarse soils and the percentage of cultivated land correspondingly increased winter runoff.

The results of the spring runoff analysis are shown in equations (23) to (27) and in table 25. Optimum model (23) explains the variance in spring runoff well ($R = 0,925$). Model (27) comprising only variables known before the spring runoff period explains the variance in spring runoff rather well ($R = 0,839$). Variables other than x_{14} and x_8 were of secondary importance. Frost depth and the land slope decreased spring runoff and the percentage of cultivated land correspondingly increased spring runoff.

The results of the summer and autumn runoff analysis are shown in equations (28) to (33) and in table 26. Optimum model (28) explains the variance in summer and autumn runoff rather well ($R = 0,834$). It did not, however, include factors showing seasonal precipitation evenness or soil moisture on October 31. The inclusion of these variables would probably have improved the model. Autumn precipitation was a more important variable than summer precipitation. Mean annual temperature was a very important variable. Together with the precipitation variables it made the potential evapotranspiration almost unnecessary, although PET was the most significant single variable. Frost depth and the volume of growing stock decreased the summer and autumn runoff, the percentage of coarse soils correspondingly increased it. Basin variables were of minor importance in this analysis.

The results of the spring maximum runoff analysis are shown in equations (34) to (36) and in table 27. The spring maximum runoff in lakeless basins is very unstable and therefore explaining ability of the model was not good ($R = 0,713$). The water equivalent of snow was a prime variable. The variable including the water equivalent of snow and two days temperature ($x_{14} \cdot x_{21}$) improved the model slightly. Frost depth and mean land slope decreased spring maximum runoff. When the percentage of cultivated land was low it had a decreasing effect on the spring maximum runoff but a larger percentage of cultivated land had an increasing effect (fig. 10).

The results of the winter minimum runoff analysis are shown in equations (37) to (42) and in table 28. The data used in this analysis had to be divided into two parts because certain variables had different significance in different parts of Finland. Correlation coefficient R was 0,624 using total data, 0,721 using South Finland data and 0,675 using Middle and North Finland data. The degree day factor was the most important variable in the South Finland analysis, and the frost depth was the most important variable in the Middle and North Finland analysis. The land slope increased the winter minimum runoff considerably. The drainage area increased the winter minimum runoff and the volume of growing stock decreased it.

The results of the summer minimum runoff analysis are shown in equations (43) to (45) and in table 29. This analysis was more successful ($R = 0,860$) than the same analysis of the winter minimum runoff. Model (44) which includes only precipitation and temperature variables, explains the variance in summer minimum runoff rather well ($R = 0,764$). The mean temperature variable when added to the model together with the precipitation variables proved to be the most important variable. The land slope and the percentage of coarse soils increased the summer minimum runoff and the volume of growing stock decreased it.

The results of the y_{11} analysis (ratio between mean daily and mean 30 days winter minimum runoffs) are shown in equation (46) and in table 30. The percentage of cultivated land was the most important variable here. The addition of the mean temperature in December to March and the volume of growing stock to the model improved it to some extent. The percentage of cultivated land decreased y_{11} and the volume of growing stock increased it.

The results of the y_{12} analysis (ratio between mean daily and mean 30 days summer minimum runoffs) are shown in equation (47) and in table 31. The land slope and the drainage area both increased y_{12} .

The results of the y_{13} analysis (ratio between summer and winter 30 days minimum runoffs) are shown in equation (48) and in table 32. The mean temperature variable, which was used primarily as a location indicator, was by far the most important variable; it alone accounted for 75 % of the variance in y_{13} . The volume of growing stock decreased y_{13} and the land slope increased it.

In summary it can be said that the land slope decreased the spring runoff variables but increased the minimum runoff variables (see table 33). The percentage of cultivated land decreased almost all runoff variables and the percentage of coarse soils increased them. Frost depth decreased all possible runoff variables, including the summer and autumn runoff variable.

The effects of basin characteristics on runoff were statistically highly significant in most cases, although the actual effects were generally very small. This is important when using models developed in this investigation because meteorologic variables are well known but basin variables are generally unknown or only roughly estimated.

The models developed in this investigation comprise several quantitative hydrologic laws. A relatively large variation in the data permits the wide application of these models.

MERKINNÄT

SYMBOLS

a	= Regressiokerroin	<i>Regression coefficient</i>
E_{f_s}	= Haihdunta järvestä (mm)	<i>Evaporation from lake (mm)</i>
$E_{p'}$	= Haihdunta U.S.W.B:n astiasta (mm)	<i>Evaporation from U.S.W.B. pan (mm)</i>
Hq_s	= Kesäylijaluma (l/s km ²)	<i>Summer maximum runoff (l/s km²)</i>
Hq_w	= Kevätylijaluma (l/s km ²)	<i>Spring maximum runoff (l/s km²)</i>
h	= Tuulimittarin korkeudesta riippuva parametri	<i>Coefficient dependent on height of anemometer</i>
Mq	= Keskivaluma (l/s km ²)	<i>Mean runoff (l/s km²)</i>
Nq_s	= Kesäalivaluma (l/s km ²)	<i>Summer minimum runoff (l/s km²)</i>
Nq_w	= Talvialivaluma (l/s km ²)	<i>Winter minimum runoff (l/s km²)</i>
PET	= Potentiaalinen evapotranspiraatio (mm)	<i>Potential evapotranspiration (mm)</i>
R	= Tuleva kokonaissäteily (cal/cm ² vrk)	<i>Incoming solar radiation (cal/cm² day)</i>
R	= Yhteiskorrelaatiokerroin	<i>Total correlation coefficient</i>
r	= Selittäjien keskinäisen korrelaation korrelaatiokerroin	<i>Coefficient of correlation between independent variables</i>
s_o	= Jännöshajonta	<i>Residual deviation</i>
T_{d1}	= Vuorokauden keskikastepistelämpötila (°C)	<i>Mean daily dewpoint temperature (°C)</i>
T_m	= Vuorokauden keskilämpötila (°C)	<i>Mean daily temperature (°C)</i>
t_e	= Lumen sulamisen päättymispäivämäärä	<i>Date of the end of snowmelt</i>
v	= Vuorokauden tuulen keskinopeus tuulimittarin korkeudella (m/s)	<i>Mean daily wind speed in height of anemometer (m/s)</i>
x_1	= Valuma-alueen ala (km ²)	<i>Drainage area (km²)</i>
x_2	= Maaston keskikaltevuus (%)	<i>Mean land slope (%)</i>
x_3	= Pellon osuus alasta (%)	<i>Percentage of cultivated land (%)</i>
x_4	= Suon osuus alasta (%)	<i>Percentage of peat land (%)</i>
x_5	= Puuston kuutiomäärä koko valuma-alueen alaa kohti laskettuna (m ³ /ha)	<i>Volume of growing stock in total drainage area (m³/ha)</i>
x_6	= Karkeiden maalajien osuus alasta (%)	<i>Percentage of coarse soils (%)</i>
x_7	= Talvisadanta (1.11...15.3.) (mm)	<i>Winter precipitation (1.11...15.3.) (mm)</i>
x_8	= Kevätsadanta (16.3... t_e) (mm)	<i>Spring precipitation (16.3...t_e) (mm)</i>

x_9	= Kesäsadanta (t_{e+1} ...31.7.) (mm)	Summer precipitation (t_{e+1} ...31.7.) (mm)
x_{10}	= Syksysadanta (1.8...31.10.) (mm)	Autumn precipitation (1.8...31.10.) (mm)
x'_{10}	= Edellisen syksyn sadanta (mm)	Precipitation of previous autumn (mm)
x_{11}	= Talvi- ja keväsadanta (1.11... t_e) (mm)	Winter and spring precipitation (1.11... t_e) (mm)
x_{12}	= Kesä- ja syksysadanta (t_{e+1} ...31.10.) (mm)	Summer and autumn precipitation (t_{e+1} ...31.10.) (mm)
x_{13}	= Vuosisadanta (1.11...31.10.) (mm)	Annual precipitation (1.11...31.10.) (mm)
x_{14}	= Lumen vesiarvo 15.3. (mm)	Water equivalent of snow (March 15) (mm)
x_{15}	= Roudan syvyys 31.3. (cm)	Frost depth (March 31) (cm)
x_{16}	= Potentiaalinen evapotranspiraatio PET kesän ja syksyn aikana (t_{e+1} ...31.10.) (mm)	Potential evapotranspiration PET in summer and autumn (t_{e+1} ...31.10.) (mm)
x_{17}	= Vuoden keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)	Mean annual temperature ($^{\circ}\text{C}$)
x_{18}	= Joulu...maaliskuun keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)	Mean temperature for December to March ($^{\circ}\text{C}$)
x_{19}	= Suojasääindeksi ($+^{\circ}\text{C}$ vrk)	Degree day factor ($+^{\circ}\text{C}$ days)
x_{20}	= Talven pituus (vrk)	Duration of winter (days)
x_{21}	= Kevätylivaluman sattumispäivän ja sitä edeltäneen päivän keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)	Mean temperature for the day of spring maximum runoff and the day preceding it ($^{\circ}\text{C}$)
x_{22}	= Kevätylivaluman sattumispäivän ja sitä edeltäneen päivän sadanta (mm)	Precipitation for the day of spring maximum runoff and the day preceding it (mm)
x_{23}	= Maan kosteusvajaus edellisenä syksynä 31.10. (mm)	Soil moisture deficiency on October 31 (mm)
x_{24}	= Maan kosteusvajauksen muutos vuoden aikana (mm)	Annual change in soil moisture deficiency (mm)
y_1	= Vuosivalunta (1.11...31.10.) (mm)	Annual runoff (1.11...31.10.) (mm)
y_2	= Talvivalunta (1.11...15.3.) (mm)	Winter runoff (1.11...15.3.) (mm)
y_3	= Kevätvalunta (16.3... t_e) (mm)	Spring runoff (16.3... t_e) (mm)
y_4	= Kesä- ja syksyvalunta (t_{e+1} ...31.10.) (mm)	Summer and autumn runoff (t_{e+1} ...31.10.) (mm)
y_5	= Kevätylivaluma (1/s km ²)	Spring maximum runoff (1/s km ²)
y_6	= Kesäylivaluma (1/s km ²)	Summer maximum runoff (1/s km ²)
y_7	= Yhden vuorokauden talvialivaluma (1/s km ²)	Daily winter minimum runoff (1/s km ²)
y_8	= Yhden vuorokauden kesäalivaluma (1/s km ²)	Daily summer minimum runoff (1/s km ²)
y_9	= 30 vuorokauden talvialivaluma (1/s km ²)	30 days winter minimum runoff (1/s km ²)
y_{10}	= 30 vuorokauden kesäalivaluma (1/s km ²)	30 days summer minimum runoff (1/s km ²)
y_{11}	= $\bar{y}_7 : \bar{y}_9$ = talviajan keskialivaluman pysyvyysluku	Ratio between mean daily and mean 30 days winter minimum runoffs

y_{12}	$= \bar{y}_8 : \bar{y}_{10} =$ kesäajan keskialivaluman pysyvyysluku	<i>Ratio between mean daily and mean 30 days summer minimum runoffs</i>
y_{13}	$= \bar{y}_{10} : \bar{y}_9 =$ kesäajan ja talviajan 30 vuorokauden keskialivalumien suh- deluku	<i>Ratio between summer and winter 30 days minimum runoffs</i>

KIRJALLISUUTTA

- Azarkovich, Ye. Sh. & Leyvikov, M. L.* 1962. On the annual runoff norm and its variability in small rivers. *Meteor. Hydr.* 8. Translated from Russian, *Sovjet Hydrology* 1/1962.
- Barner, J.* 1961. Die Wechselwirkungen von Wald und Wasser im Lichte der amerikanischen Forschungen. *Mitt. Arbeitskreis. Wald und Wasser* 4. Koblenz.
- Blaney, H. F.* 1956. Discussion of paper by H. L. Penman, Estimating evaporation. *Trans. Amer. Geoph. Un.* 37.
- Castren, V.* 1938. Ilmatieteellisiin havaintoihin perustuvien ennakkoarvioiden käyttäminen järvien säännöstelyssä. *Tekn. aikak.* 28: 11.
- Delfs, J. & Friedrich, W. & Kieseckamp, H. & Wagenhoff, A.* 1958. Der Einfluss des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflussvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. *Aus dem Walde* 3.
- Fritz, S.* 1948. The albedo of the ground and atmosphere. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 29.
- Gumbel, E.* 1954. Statistical theory of extreme values and some practical applications, *Nat. Bur. Stand. Appl. Math. Ser.* 33. New York.
- Hallgren, G. & Rietz, B.* 1963. Avrinningsförhållanden vid mindre nederbördsområden. *Grundförbättring* 16: 3.
- Harris, B. & Sharp, A. L. & Gibbs, A. E. & Owen, W. J.* 1961. An improved statistical model for evaluating parameters affecting water yields in river basins. *J. Geoph. Res.* 66.
- Juusela, T.* 1945. Untersuchungen über den Einfluss des Entwässerungsverfahrens auf den Wassergehalt des Bodens, den Bodenfrost und die Bodentemperatur. *Acta agr. fenn.* 59.
- Kaitera, P.* 1936. Maataloushallituksen vesistötutkimukset vuosina 1929—1935. Die Gewässeruntersuchungen der Landwirtschaftsverwaltung in den Jahren 1929—1935. *Maatal. hall. kultt. tekn. tutk.* 1. Helsinki.
- Kaitera, P.* 1939. Lumen kevätulamisesta ja sen vaikutuksesta vesiväylien purkautumissuhteisiin Suomessa. *Maatal. hall. kultt. tekn. tutk.* 2. Helsinki.
- Kaitera, P.* 1949. On the melting of snow in springtime and its influence on the discharge maximum of streams and rivers in Finland. *Suom. Tekn. kork. koul. tiet. tutk.* 1.
- Kalweit, H.* 1953. *Der Wasserhaushalt.* Berlin.
- Keller, R.* 1961. *Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes.* Berlin.
- Kohler, M. A. & Richards, M. M.* 1962. Multicapacity basin accounting for predicting runoff from storm precipitation. *J. Geoph. Res.* 67.
- Korhonen, V. V.* 1915. Die Ausdehnung und Höhe der Schneedecke. Untersuchungen über die Schnee- und Eisverhältnisse in Finnland. *I. Helsinki.*

- Korhonen, V. V.* 1927. Linienmessungen der Höhe und Dichte der Schneedecke in Finnland. S. tiedeak. toim. Sarja A. XXVI. Helsinki.
- Korhonen, V. V.* 1944. Ein neues Verfahren der Korrektion der Schneemessungen. Ann. Acad. Scient. Fenn. Series A. I. Mathematica — Physica 24. Helsinki.
- Korhonen, V. V.* 1945. Uusi lumenmittausten korjausmenetelmä. Maanvilj. ins. yhd. vuosik. 1944—1945. Helsinki.
- Krestovski, O. I.* 1962. The water balance of small drainage basins during the period of spring high water. Trans. Stat. Hydr. Inst. 95. Translated from Russian, Sovjet Hydrology 4/1962.
- Lamoureux, W. W.* 1962. Modern evaporation formulae adapted to computer use. Month. Weath. Rev. 90.
- Linsley, R. K. & Kohler, M. A. & Paulhus, J. L. H.* 1958. Hydrology for engineers. New York.
- Lyshede, J. M.* 1955. Hydrologic studies of Danish watercourses. Folia geogr. dan. VI.
- Maasilta, A.* 1959. Roudan syvyydestä peltomailla Suomessa (moniste).
- Molchanow, A. A.* 1963. The hydrological role of forests. Translated from Russian. Jerusalem.
- Mustonen, S. E.* 1963. Kesäsateiden aiheuttamasta valunnasta. Summary: On the runoff due to summertime rainfall. Maatal. hall. ins. os. maa- ja vesitekn. tutk. toim. tied. 2/1963.
- Mustonen, S. E.* 1964. Potentiaalisen evapotranspiraation määrittämisestä. Summary: Estimating potential evapotranspiration. Acta agr. fenn. 102,2.
- Mustonen, S. E.* 1965a. Ilmasto- ja aluetekijöiden vaikutuksesta lumen vesiarvoon ja roudan syvyyteen. Summary: Effect of meteorologic and terrain factors on water equivalent of snow cover and on frost depth. Acta for. fenn. 79.
- Mustonen, S. E.* 1965b. Maataloushallituksen hydrologiset tutkimukset vuosina 1957...1964. Hydrologic investigation by the Board of Agriculture during the years 1957 to 1964. Maa- ja vesitekn. tutk. 11. Helsinki.
- Niinivaara, K.* 1953. Haihtumisesta pienehköillä vesistöalueilla Suomessa. Maa- ja vesitekn. tutk. 7. Helsinki.
- Niinivaara, K.* 1958. Alivalumien todennäköisestä vaihtelusta Suomessa. Maa- ja vesirakentaja 3. Helsinki.
- Norvatov, A. M.* 1962. Condition of formation of low water flow of the Bactic area and long range forecasts of their streamflow. Trans. Stat. Hydr. Inst. 96. Translated from Russian, Sovjet Hydrology 5/1962.
- Penman, H. L.* 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. Land. Ser. A. Math. Phys. Se. 193.
- Penman, H. L.* 1956. Estimating evaporation. Trans. Amer. Geoph. Un. 37.
- Romanenko, V. A.* 1963. Investigations of snowmelt losses. Trans. Ukr. Scient. Res. Hydromet. Inst. 39. Translated from Russian, Sovjet Hydrology 1/1963.
- Schröder, G.* 1950. Die Korrelationsrechnung und ihre Anwendung in der Wasserwirtschaft. Bielefeld.
- Searcy, J. K.* 1960. Graphical correlation of gaging-station records. Geol. surv. wat. suppl. pap. 1541-c. Washington.
- Seppänen, M.* 1964. Vesisateen jakautumisesta männiköissä. Acta for. fenn. 76.
- Sharp, A. L. & Gibbs, A. E. & Owen, W. J. & Harris, B.* 1960. Application of the multiple regression approach in evaluating parameters affecting water yields of river basins. J. Geoph. Res. 65.

- Simojoki, H.* 1947. Über die Zeitpunkte des Entstehens und des Verschwindens der dauernden Schneedecke in Finnland. *Fennia* 70.
- Simojoki, H.* 1959. Evaporation during the spring snowmelt season. *Geophysica* 7.
- Sirén, A.* 1958. Die Bestimmung der Verdunstung und ihre Einwirkung auf die Wasserläufe in Finnland. *Geophysica* 3.
- Sirén, A.* 1964. Enöaccumulation och avrinning inom Peerajärvi fjällområde. Pohjoism. hydr. konf. Reykjavíkissa pidetty esitelmä.
- Snyder, V. M.* 1962. Some possibilities for multivariate analysis in hydrologic Studies. *J. Geoph. Res.* 67.
- Tulvakomitean mietintö 1939. Komiteamietintö n:o 14—1939.
- Volk, W.* 1958. Applied statistics for engineers. New York.
- Wallén, A.* 1930. Die Verdunstung in Mittel- und Südschweden. III balt. hydr. konf. Warszawa.
- Williams, G. P.* 1961. Evaporation from water, snow and ice. *Proc. Hydrol. Symp.* 2, Evaporation. Toronto.
- Wundt, W.* 1937. Beziehungen zwischen den Mittelwerten von Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und Lufttemperatur für die Landflächen der Erde. *Dt. Wasserwirtsch.* 32: 5/6.
- Wäre, M.* 1951. Om lågvattenavrinningen i Finlands vattendrag. Föredrag vid NIM i Helsingfors, juni 1951.
- Wäre, M.* 1957. Om högvattenavrinningen på små nederbördsområden. Nordisk jordbruksforskning 39.
- Wäre, M.* 1961. Pienehköiltä alueilta purkautuvan veden määrästä ja laadusta. Maa- ja vesitekn. tutk. 9.3. Helsinki.

Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia
Jord- och vattentekniska forskningar
Soil and Hydrotechnical Investigations
Boden- und wassertechnische Untersuchungen

1. Kaitera, Pentti. Maataloushallituksen vesistötutkimukset vuosina 1929—1935. Helsinki 1936. Die Gewässeruntersuchungen der Landwirtschaftsverwaltung in den Jahren 1929—1935. Helsinki 1936.
2. Kaitera, Pentti. Lumen kevätsumamisesta ja sen vaikutuksesta vesiväylien purkautumissuhteisiin Suomessa. Helsinki 1939.
3. Kaitera, Pentti. Vedenkorkeusvaihteluiden vaikutuksesta rantamaiden pelto- ja niittyviljelykseen. Referat: *Über den Einfluss der Wasserstandsschwankungen auf den Acker- und Wiesenbau der Ufergelände in Finland.* Helsinki 1941.
4. Saukko, Pentti, Saimaan rantapelloilla suoritettuja viljelyskasvien vesivahinkotutkimuksia. Referat: *Untersuchungen über Wasserschaden von Kulturpflanzen auf Uferäckern am Saimaa.* Helsinki 1946.
5. Wäre, Matti. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939—1944. Referat: *Über die Wasserhältnisse des Bodens und die Erträge von Kulturpflanzen auf dem wasserwirtschaftlichen Versuchsfeld Maasoja in den Jahren 1939—1944.* Helsinki 1947.
6. Helenelund, K. V. Om konsolidering och sättning av belastade marklager. *Summary: On Consolidation and Settlement of Loaded Soil-Layers.* Helsinki 1951.
7. Niinivaara, K. Haihtumisesta pienehköillä vesistöalueilla Suomessa. *Summary: Evaporation from watersheds in Finland.* Helsinki 1953.
8. Juusela, Taneli & Wäre, Matti. Suomen peltöjen kuivatustila. *Draining condition of the cultivated fields in Finland.* Helsinki 1956.
- 9.1 Wäre, Matti, Talousveden laatu ja vedenottopaikat Suomen maalaiskunnissa vuonna 1958 lääneittäin. *The quality of household water and the water supplies in the rural communities of Finland in 1958, by the administrative districts.* Helsinki 1961.
- 9.2 Wäre, Matti. Sateiden rankkuus touko-lokakuussa lähinnä Vihdissä vuosina 1939—1958 (1960) suoritettujen havaintojen perusteella. *The intensity of rainfall in the period May to October mainly on the basis of observations made at Vihti in the years 1939—1958 (1960).* Helsinki 1961.
- 9.3 Wäre, Matti. Pienehköiltä alueilta purkautuvan veden määrästä ja laadusta. Ennakkotietoja vuosina 1958—1960 uudelleen järjestetyiltä maataloushallituksen hydrologisilta havaintoalueilta. *On the quantity and quality of the water discharged from fairly small areas. Preliminary data from the hydrological observation areas (rearranged in 1958—1960) of the Board of Agriculture.* Helsinki 1961.
- 9.4 Airaksinen, Urpullisa, Korhonen, K-H & Wäre, Matti. Maalajien lujuusominaisuuksista vesirakennustöissä. *Abstract: On the strength characteristics of soils in hydraulic engineering projects.* Helsinki 1961.
10. Korhonen, K-H. Liukumalla tapahtuvista vesiväylien sortumista ja niiden ehkäisemiseen käytetyistä menetelmistä. *English abstract: On failures of draining channels by sliding and on the methods employed for their prevention.* Helsinki 1962.
11. Mustonen, Seppo E. Maataloushallituksen hydrologiset tutkimukset vuosina 1957...1964. *Hydrologic investigations by the Board of Agriculture during the years 1957 to 1964.* Helsinki 1965.
12. Mustonen, Seppo E. Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksesta valuntaan. *English abstract: Effects of meteorologic and basin characteristics on runoff.* Helsinki 1965.

Postiosoite: Maataloushallituksen insinööriosasto, Helsinki
Adress: Lantbruksstyrelsens ingenjöravdelning, Helsingfors
Address: Engineering Department of the Board of Agriculture, Helsinki