

VESIHALLITUS—NATIONAL BOARD OF WATERS, FINLAND

Tiedotus  
Report

**236**

ANNA-LIISA PENTTINEN

**LUMEN VESIARVOSTA MÄNTYHARJUN REITIN  
VALUMA-ALUEELLA 1977—1979**

JUKKA MUOTKA

**MÄNTYHARJUN REITIN VESITASE JA  
ENNUSTEIDEN LAADINTA REITIN TÄRKEIMPIEN  
JÄRVIEN SÄÄNNÖSTELYJÄ VARTEN**

PEKKA HÄKKINEN

**TULVAVIRTAAMIEN MUUTOKSET JA  
ETENEMINEN MÄNTYHARJUN REITILLÄ**

VESIHALLITUKSEN  
KIRJASTO

HELSINKI 1984

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesihallituksen virallisena kannanottona.

VESIHALLITUKSEN TIEDOTUKSIA koskevat tilaukset: Valtion painatuskeskus PL 516, 00101 Helsinki 10,  
puh. 90-539011/julkaisutilaukset

ISBN 951-46-7485-5  
ISSN 0355-0745

## A L K U S A N A T

Mikkelin vesipiirin vesitoimistossa on vuosina 1980-81 tehty kolme diplomityötä, joissa on käsitelty Mäntyharjun reitin hydrologiaa ja vesistön käyttöä erityisesti tulvatilanteissa. Käsillä olevassa julkaisussa on lyhennelmät näistä kolmesta työstä.

Ensimmäisenä on dipl.ins. Anna-Liisa Penttisen diplomityö "Lumen vesiarvosta Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1977-79". Tekijällä on ollut käytettävissään mm. 30 kerran viikossa havaitun lumilinjan mittaustulokset ko. valuma-alueella näiltä vuosilta. Penttinen tutkii sitä, miten lumipeitteen paksuus, tiheys ja vesiarvo riippuvat mittaustaikojen sijainnista, peitteisyydestä sekä pinnanmuodostuksesta ja yrittää saadun tuloksen avulla lähestyä entistä tarkemmin koko Mäntyharjun reitin lumen aluevesiarvoa.

Toisena on dipl.ins. Jukka Muotkan diplomityö "Mäntyharjun reitin vesitase ja ennusteiden laadinta reitin tärkeimpien järvien säännöstelyjä varten". Tässä työssä keskitytään Penttisen lumen kerääntymisestä saadun aineiston pohjalta valunnan ja lumen sulamisen tarkasteluun ko. reitillä. Lisäksi muodostetaan Mäntyharjun reitin tärkeimmille säännöstelyille järville, Puulavedelle ja Vuohijärvelle, tulvan ja kevään kokonaistulovirtaaman ennusteet, jotka palvelevat säännöstelyiden hoitoa.

Kolmantena on dipl.ins. Pekka Häkkisen diplomityö "Tulvavirtaamien muutokset ja eteneminen Mäntyharjun reitillä". Työ muodostaa pohjan vesitoimistossa tehdyille Mäntyharjun reitin tulvantorjunnan toimintasuunnitelmalle. Siinä selvitetään Mäntyharjun reitin virtaama- ja vedenkorkeussuhteita poikkeuksellisen voimakkaassa tulvatilanteessa ja mahdollisuuksia varastoida lyhytaikaisesti vettä lähinnä Puulaveteen ja Vuohijärveen, mikäli Kymijokivarressa odotettavissa oleva tai sattuva tulvakatastrofi tätä edellyttäisi.

Penttisen ja Muotkan töitä on vesitoimistossa ohjannut vanh.ins. Matti Miekko ja Häkkisen työtä vanh.ins. Heikki Teräsvirta.



LUMEN VESIARVOSTA MÄNTYHARJUN  
REITIN VALUMA-ALUEELLA  
VUOSINA 1977 - 1979



S I S Ä L L Y S L U E T T E L O		sivu
1	JOHDANTO	9
2	MÄNTYHARJUN REITIN HYDROLOGINEN KUVAUS	9
3	LUMEN VESIARVOHAVAINNOT MÄNTYHARJUN REITILLÄ	11
	3.1 Havaintoverkon suunnittelu	11
	3.2 Suoritetut mittaukset	11
	3.3 Havaintoverkon kuvaus	20
	3.4 Havaintovuosien sääolosuhteet	24
	3.41 Lämpötila	24
	3.42 Sadanta	25
	3.5 Lumen tiheyden, syvyyden ja vesi-arvon laskeminen	26
4	LUMEN TIHEYS, SYVYYS JA VESIARVO MÄNTYHARJUN REITILLÄ	33
	4.1 Lumen tiheys, syvyys ja vesi-arvo eri havaintovuosina 1977 - 79	33
	4.11 Tiheys	33
	4.12 Syvyys	40
	4.13 Vesi-arvo	44
	4.2 Lumen tiheyden, syvyyden ja vesi-arvon erot eri maastoluokissa	46
	4.21 Tiheys	46
	4.22 Syvyys	47
	4.23 Vesi-arvo	49
	4.3 Alueelliset erot lumen vesi-arvossa	51
5	LUMEN ALUEVESIARVO	56
	5.1 Havaintoverkon tiheyden vaikutus lumen vesi-arvon tarkkuuteen	56
	5.2 Aluevesi-arvon määrittäminen	62
6	TULOSTEN TARKASTELUA	65





## 1 JOHDANTO

Lumen vesi-arvon säännöllisiä mittauksia suorittavat Suomessa vesihallituksen vesientutkimuslaitoksen hydrologian toimisto ja ilmatieteen laitos. Yhteensä noin 250 havaintopaikasta suurin osa on lumilinjoja, joilla lumen tiheyden ja syvyyden mittausten ohella on tehty maastoa ja kasvillisuutta koskevia havaintoja.

Eri maastotekijöiden vaikutusta lumen vesi-arvoon on selvitetty useissa tutkimuksissa. Maastotyyppin vaikutusta ovat tutkineet mm. Sirén (1936), Kaitera (1939), Seppänen (1961, 1966, 1968) ja Mustonen (1965). Aineistona näissä tutkimuksissa ovat olleet enimmäkseen valtakunnalliset lumen vesi-arvon linjamittaukset. Korkeusaseman ja viettosuunnan vaikutusta ovat käsitelleet mm. Hooli (1973) ja Ollila (1974). Hydrologian toimiston linjamittauksien tuloksista lasketaan myös eri vesistö-alueille aluevesi-arvot, joita käytetään mm. mitoitusuurena vesistöihin kohdistuvia toimenpiteitä suunniteltaessa.

Käsillä olevaa tutkimusta varten on Mäntyharjun reitin valuma-alueella suoritettu lumen vesi-arvon mittauksia huomattavasti runsaammin kuin mitä hydrologian toimisto alueella normaalisti suorittaa. Mittausten perusteella on pyritty selvittämään lumen tiheyden, syvyyden ja vesi-arvon vaihteluja eri maastoluokissa kyseisellä alueella. Lisäksi on pyritty selvittämään havaintojen määrän vaikutusta vesi-arvon tarkkuuteen.

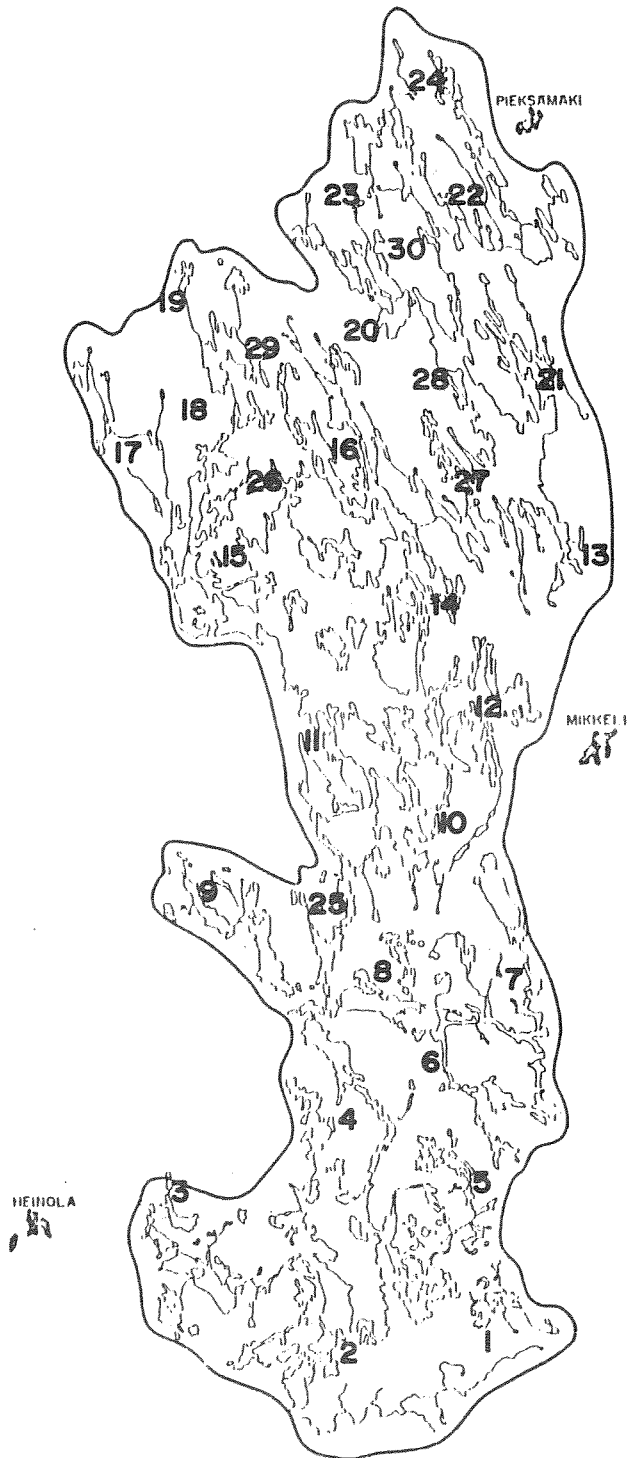
## 2 MÄNTYHARJUN REITIN HYDROLOGINEN KUVAUS

Mäntyharjun reitti kuuluu Kymijoen vesistöön ja se sijaitsee Päijätjärven itäpuolella. Reitin valuma-alueen pinta-ala on 5750 km<sup>2</sup>, josta vesialuetta 1160 km<sup>2</sup> eli 20,4 %. Suurimmat järvet ovat Puulavesi 325 km<sup>2</sup>, Kyyvesi 133 km<sup>2</sup> ja Vuohijärvi 86 km<sup>2</sup>. Kaikkiaan reitillä on 1700 yli 1 hehtaarin suuruista järveä. Mäntyharjun reitin kartta on esitetty kuvassa 1.

Reitin valuma-alue on pinnanmuodostukseltaan vaihtelevaa, vaikkakin korkeuserot ovat pieniä. Alueen eteläosa sijaitsee korkeustasossa +50,00 - +100,00 m ja pohjoisosa pääosiltaan tasossa +100,00 - +150,00 m. Luoteisosassa mäet kohoavat paikoin +200,00 m yläpuolelle.

Alueen kokonaispinta-alasta 53 % on moreenimaita, 19 % turvemaita ja noin 5 % savi-, sora- ja hiekkamaita tai kalliota. Maapeite on ohut, joten pinnanmuodostus kuvaa kallion pinnan kulkua. Maa-alasta 80 % on metsää, noin 10 % peltoa ja loput 10 % tontti- ja joutomaata. Metsistä 45 % on mäntyvaltaisia, 40 % kuusivaltaisia ja 15 % lehtipuuvallaisia. Mäntymetsät ovat vallitsevia alueen etelä- ja keskiosissa, kun taas pohjoisosassa on enimmäkseen kuusimetsää. Puulaveden eteläpuoleisilla alueilla on lehtipuuvallaista metsää poikkeuksellisen paljon eli noin kolmannes metsäalasta. Soita maa-alasta on alueen pohjoisosassa 20 - 30 % ja eteläosassa 10 - 20 %.

Sadanta on alueella keskimäärin 610 mm vuodessa. Sadanta-arvo on korjaamaton ja todellinen sadanta siten 10 - 15 % suurempi. Valunnan osuus vuosisadannasta on 190 - 250 mm ja keskivaluma siten 6 - 8 l/s km<sup>2</sup>. Keskivirtaama Puulaveden eteläpuolella sijaitsevan Vahvajärven luusuaassa on 28 m<sup>3</sup>/s, keskiylivirtaama 42 m<sup>3</sup> ja keskialivirtaama 16 m<sup>3</sup>/s vuosien 1941 - 70 havaintojen mukaan. Reitin alapäässä Jaalajoen laskussa vesistön hydrologisten ominaisuuksien mukaan arvioidut virtaamat ovat keskivirtaama 43 m<sup>3</sup>/s, keskiylivirtaama 71 m<sup>3</sup>/s ja keskialivirtaama 28 m<sup>3</sup>/s.



Kuva 1. Mäntyharjun reitin valuma-alue ja lumilinjojen sijainti

### 3 LUMEN VESIARVOHAVAINNOT MÄNTYHARJUN REITILLÄ

#### 3.1 HAVAINTOVERKON SUUNNITTELU

Tätä tutkimusta varten suoritettujen maastomittausten tavoitteena oli saada mahdollisimman edustavat vesi-arvohavainnot Mäntyharjun reitin valuma-alueelta. Mittauksia varten perustettiin 30 yhden kilometrin pituista lumilinjaa. Linjojen havainnointi suoritettiin viikottain. Lumilinjojen lukumäärä ja pituus valittiin niin, että kolme mittausryhmää pystyi suorittamaan mittaukset.

Lumilinjojen alustava sijoitus tehtiin 1:200 000 mittakaavaiselle kartalle. Ne sijoitettiin tutkimusalueelle tasaisesti kuitenkin siten, että jokaiselle osavaluma-alueelle tuli vähintään yksi linja. Linjojen sijainti on esitetty kuvassa 1. Lopullinen sijoitus tehtiin peruskartoille, jolloin kiinnitettiin huomiota linjojen maastotyyppeihin ja saavutettavuuteen. Linjat on esitetty kuvissa 2 - 9.

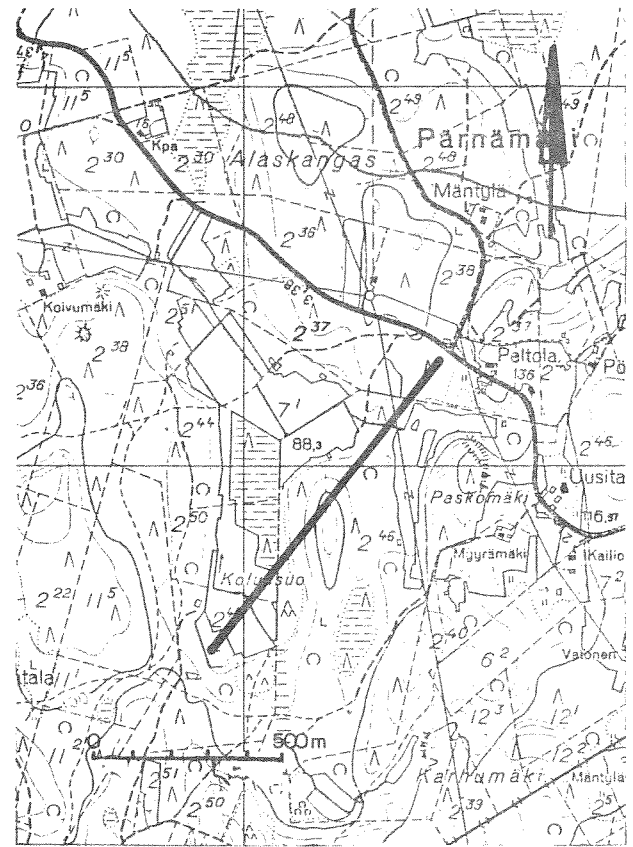
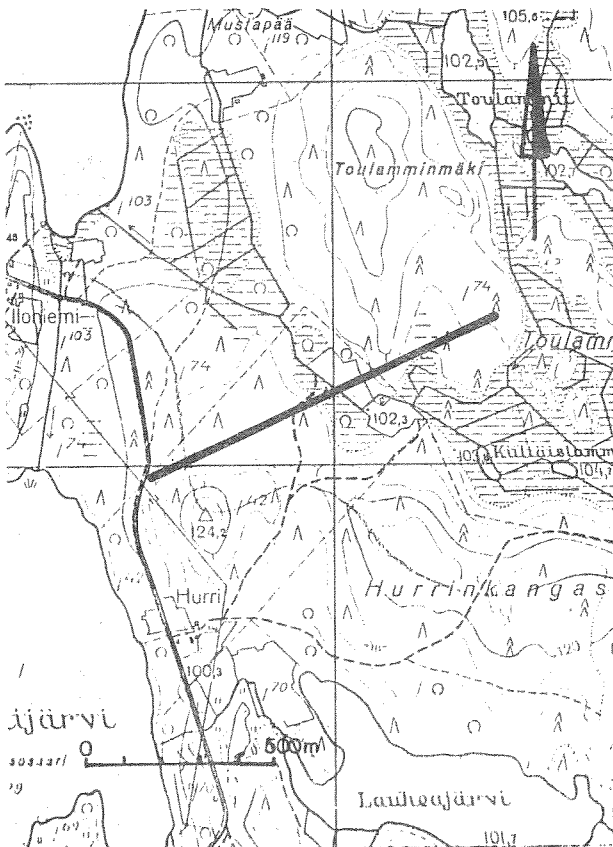
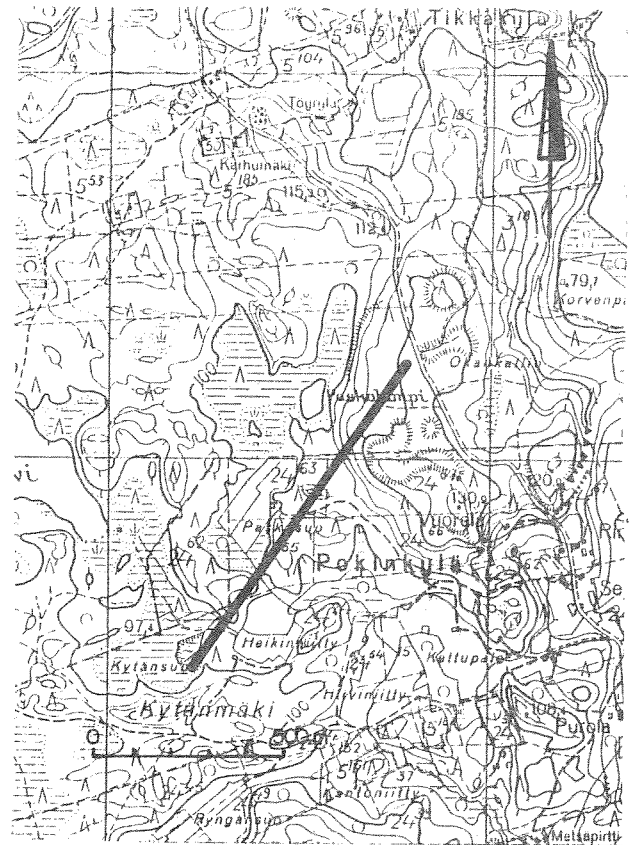
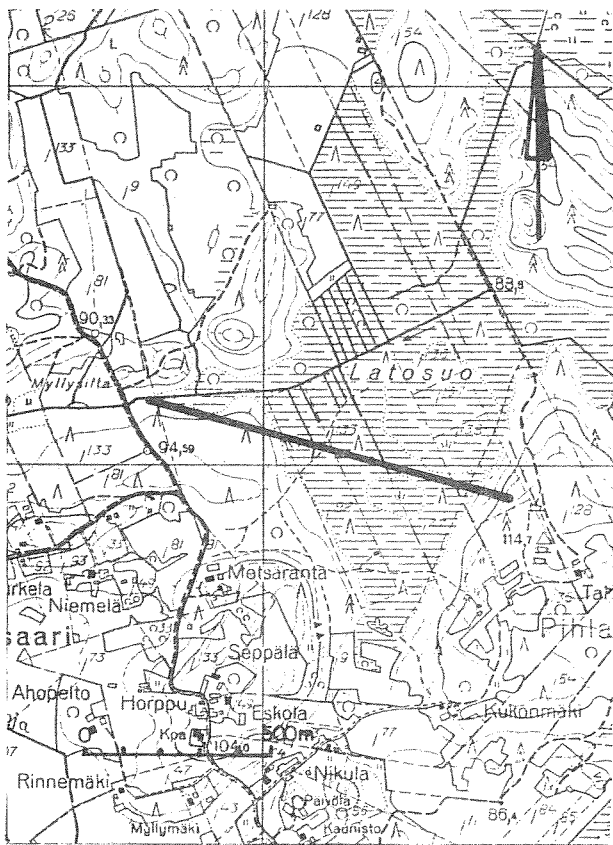
#### 3.2 SUORITETUT MITTAUKSET

Vesi-arvon mittaukset aloitettiin talvella 1976/77 helmikuun puolessa välissä ja talvena 1977/78 ja 1978/79 joulukuussa ja niitä jatkettiin huhtikuun loppuun. Linjat käytiin läpi keran viikossa. Talvella 1976/77 mittauskertoja oli keskimäärin 10, talvella 1977/78 18 ja talvella 1978/79 21. Viikottainen mittausohjelma ilmenee seuraavasta jaotelmasta:

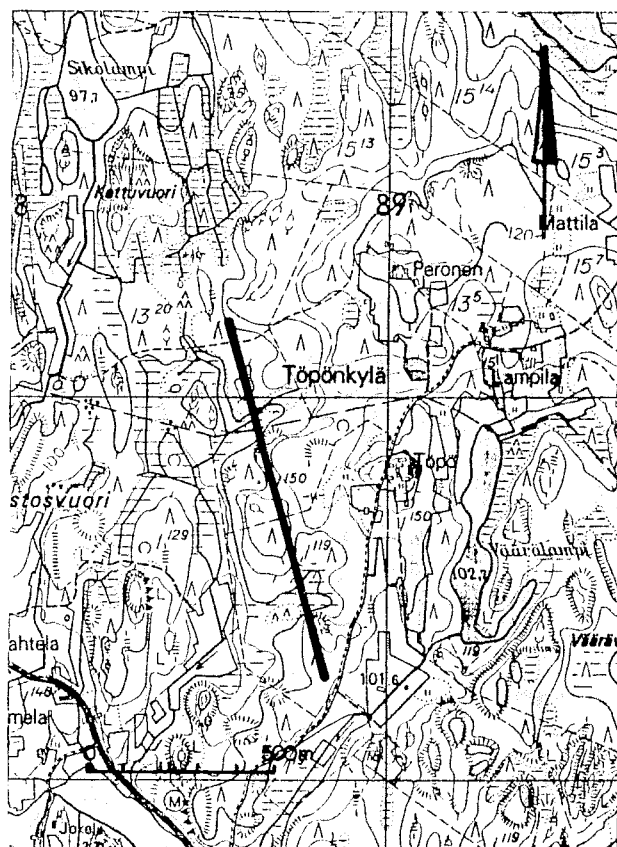
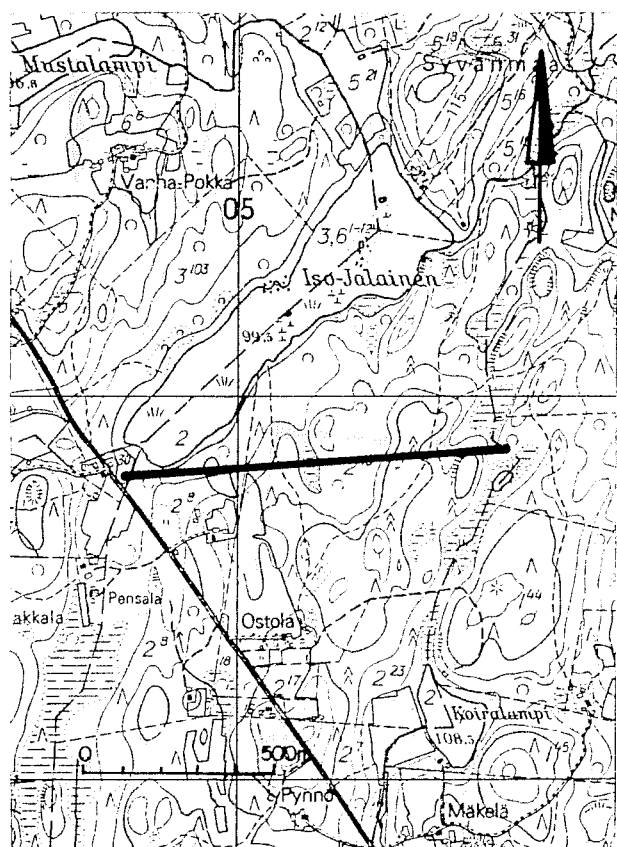
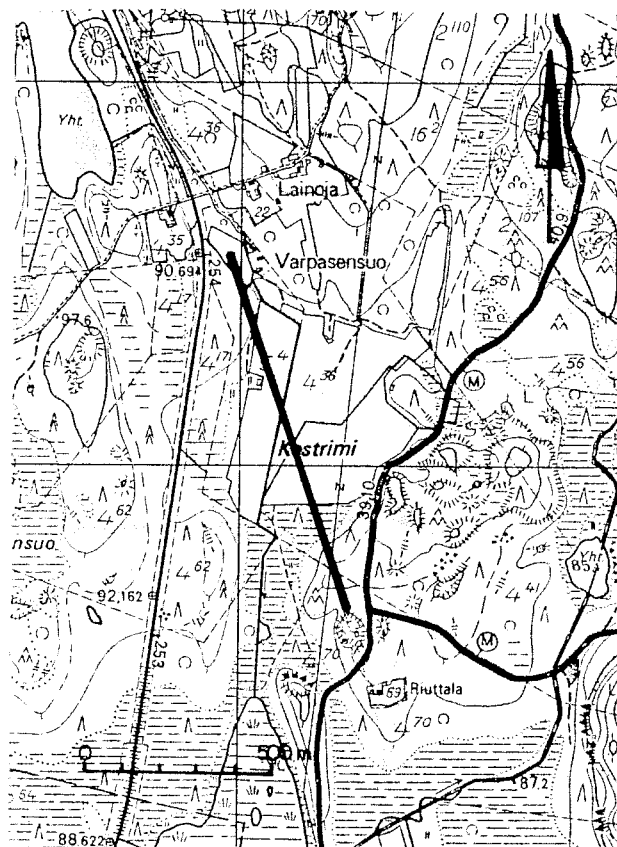
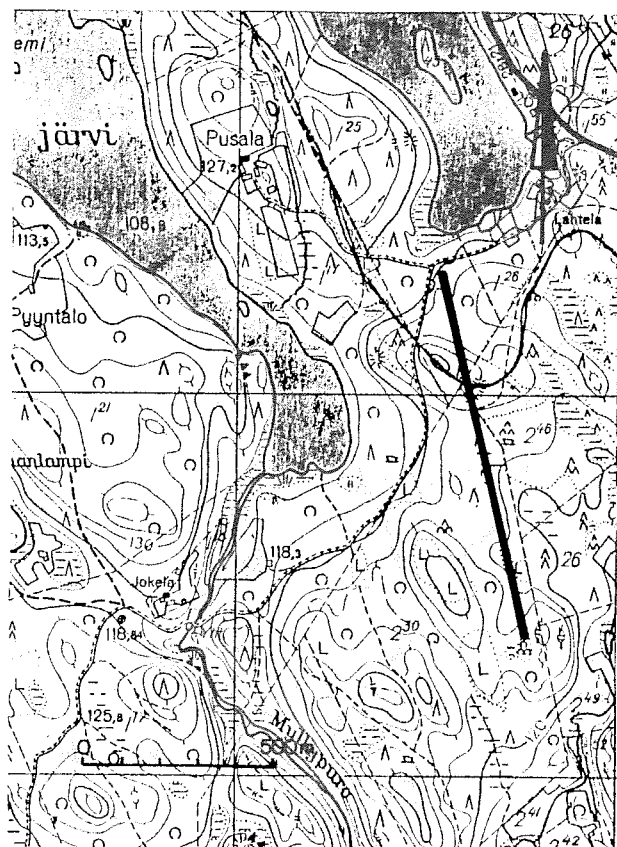
päivä	linjat
maanantai	1, 2, 3, 4, 5, 6
tiistai	7, 8, 9, 10, 11, 25
keskiviikko	12, 14, 16, 26, 27, 28
torstai	15, 17, 18, 19, 20, 29
perjantai	13, 21, 22, 23, 24, 30

Linjat merkittiin maastoon ensimmäisellä mittauskerralla. Linjan alkupiste paikallistettiin peruskartalta ja suunta määritettiin kompassilla. Mittauspisteitten väli 20 metriä mitattiin mittanauhalla. Pisteet merkittiin kepillä ja muovinauhalla. Pelloilla sijainneet pisteet jouduttiin merkitsemään uudestaan joka vuosi, muissa pisteissä merkkikepit pidettiin paikallaan myös kesäisin.

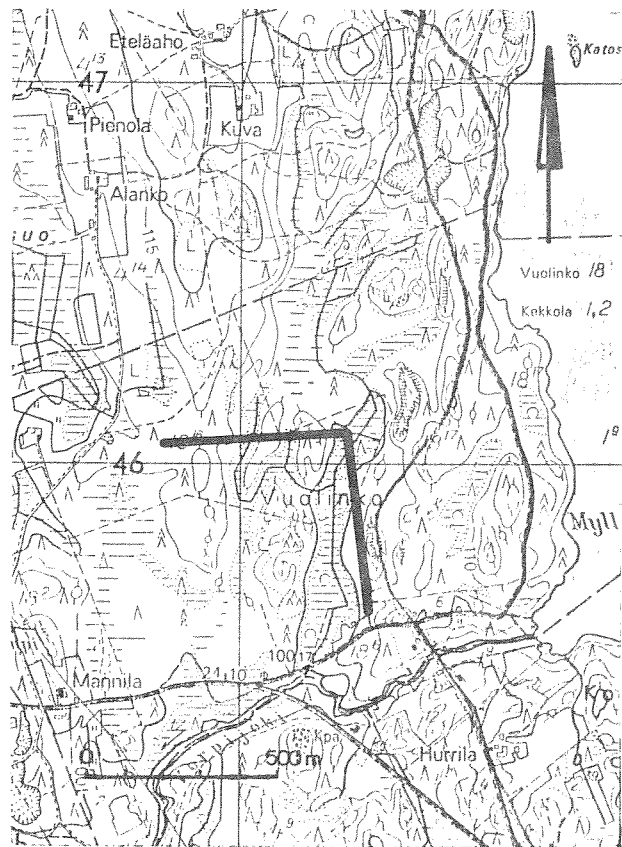
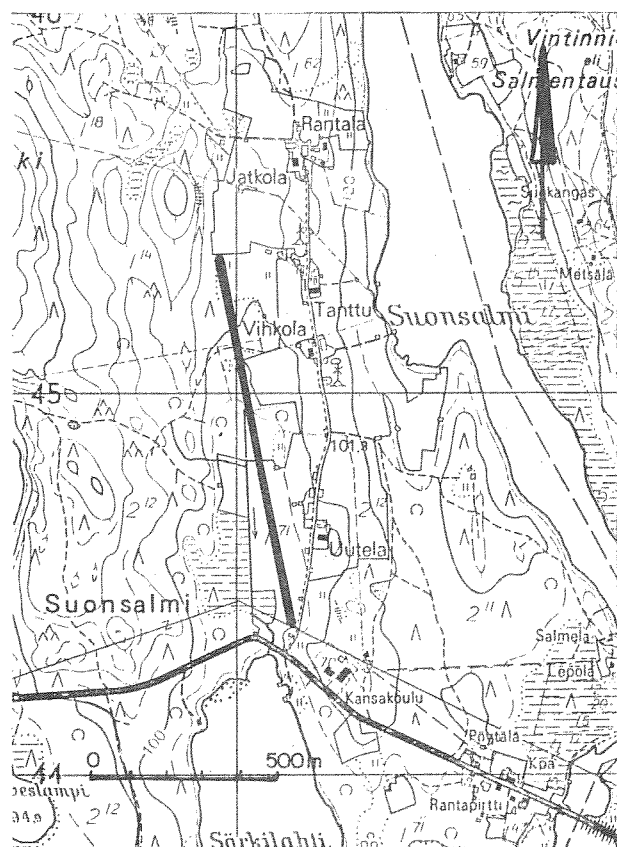
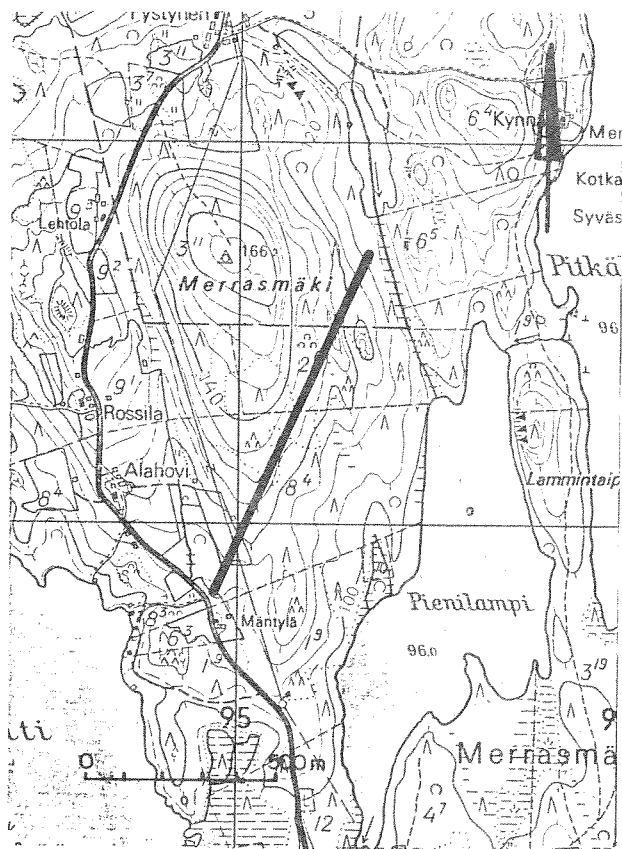
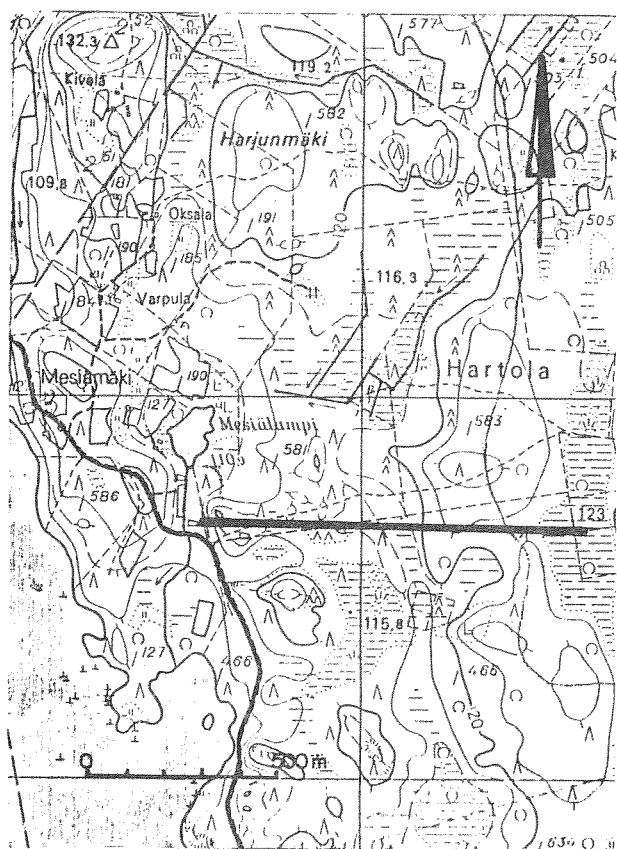
Lumen syvyys mitattiin jokaisessa pisteessä. Mittaus tehtiin mittakepillä, jossa oli senttimetrijaotus. Keppi painettiin 2 - 5 kertaa lumeen välittömästi merkkikepin vieressä. Syvydeksi merkittiin useimmin esiintynyt lukema. Usealla mittauksella pyrittiin ehkäisemään maassa esiintyneiden epätasaisuuksien aiheuttamat mittausvirheet. Lumen tiheys mitattiin Melanderin ja Korhosen kehittämällä lumipuntarilla 200 metrin välein. Näytteet otettiin mahdollisimman läheltä merkkikeppiä ja mittauspaikat merkittiin oksilla, jotta voitiin välttää mittausten tekoa samoilta paikoilta.



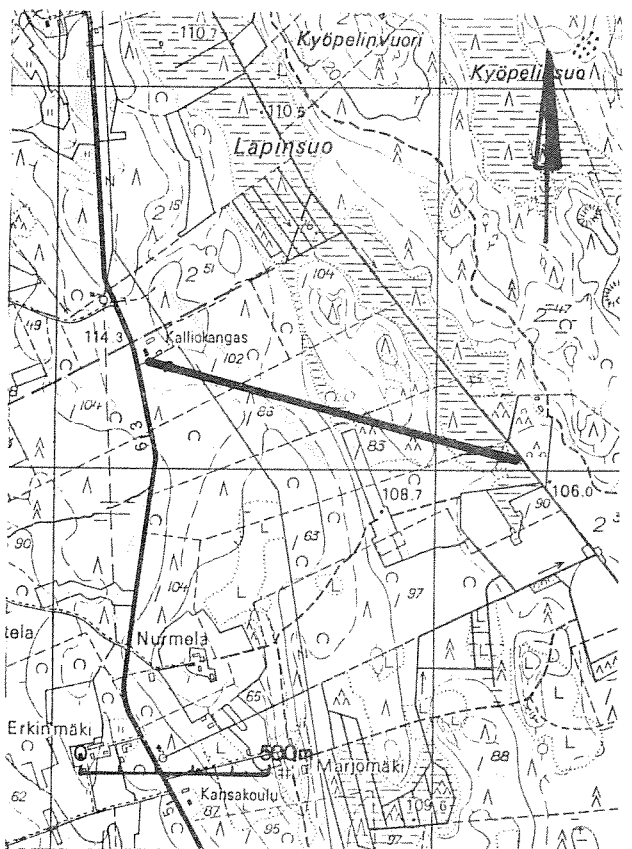
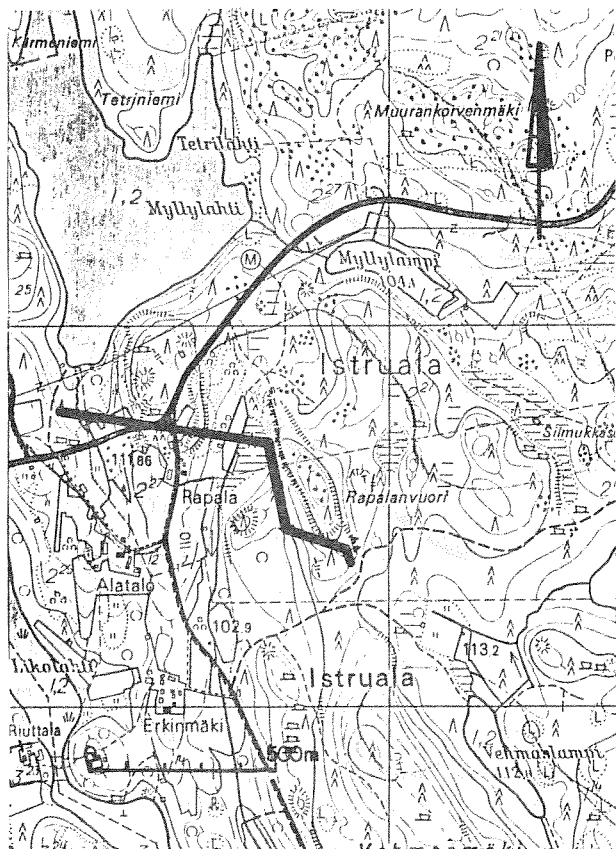
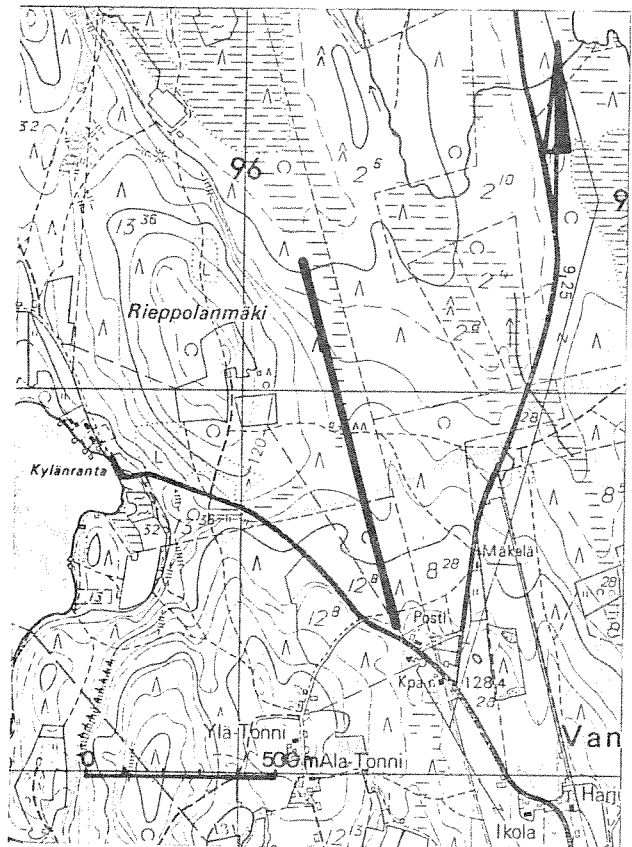
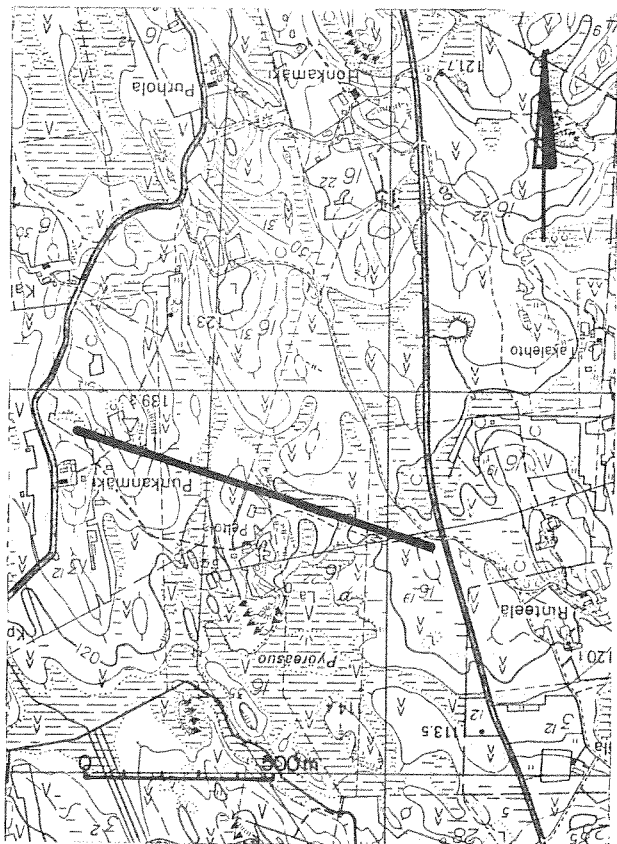
Kuva 2. Lumilinjat 1-4



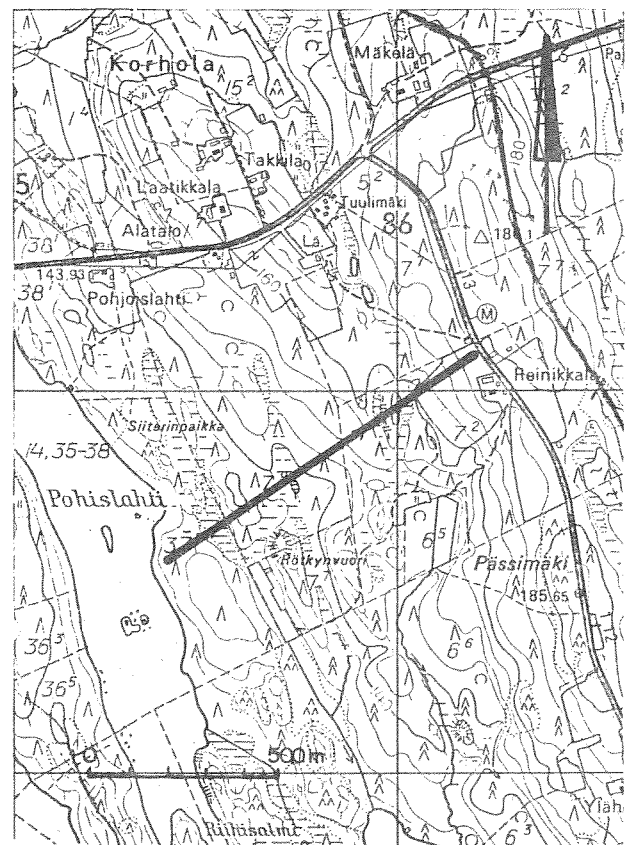
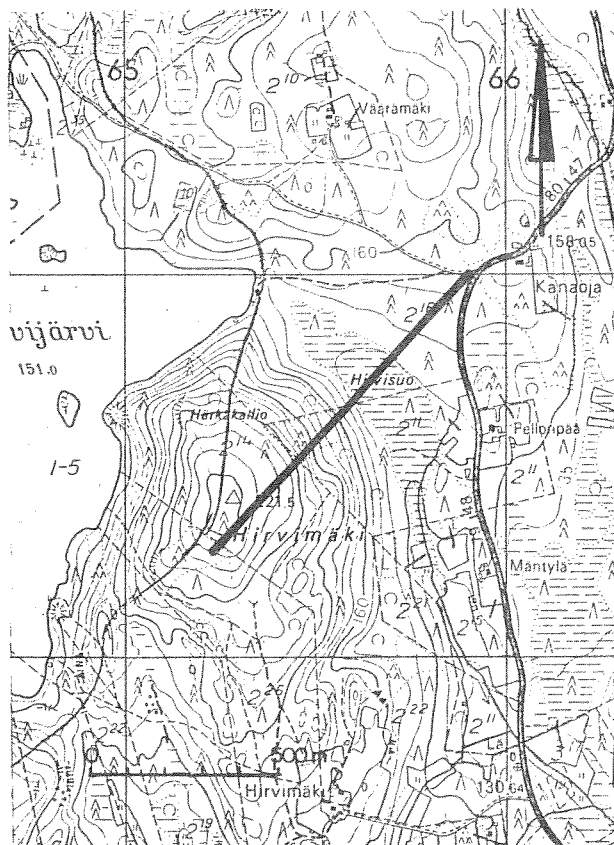
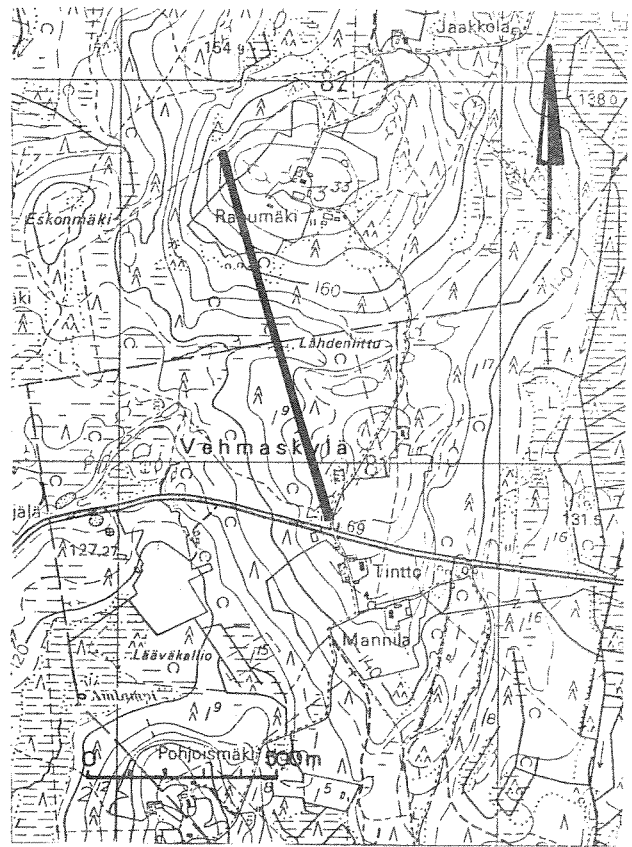
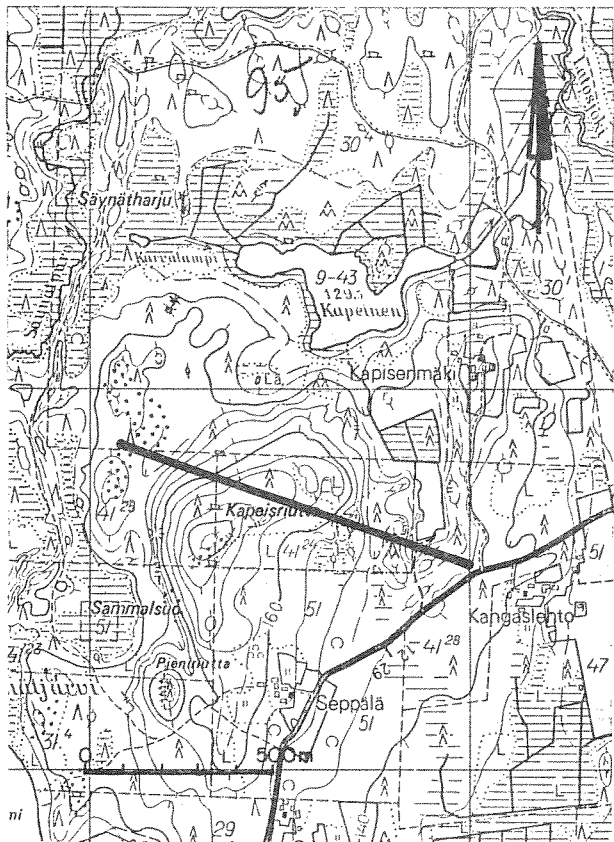
Kuva 3. Lumelinjat 5-8



Kuva 4. Lumilinjat 9-12

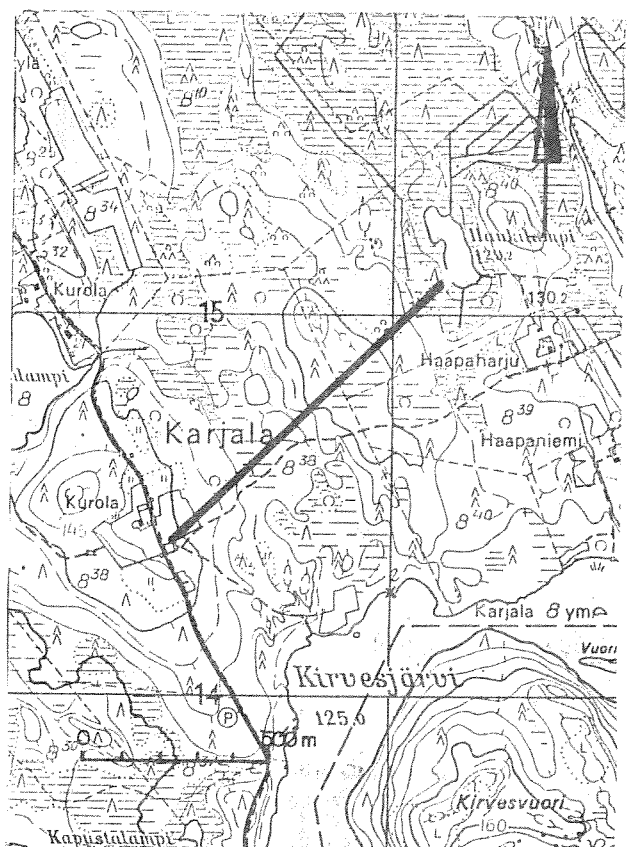
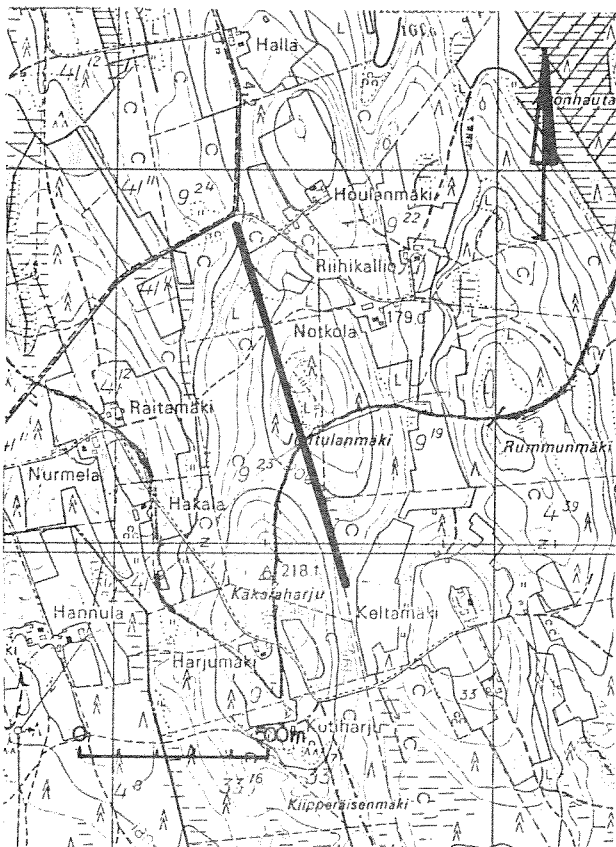
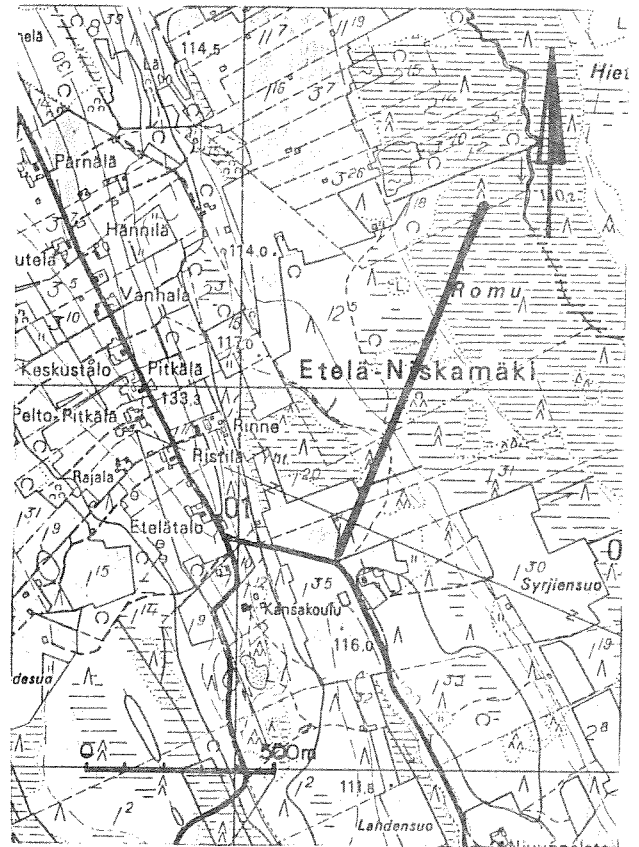
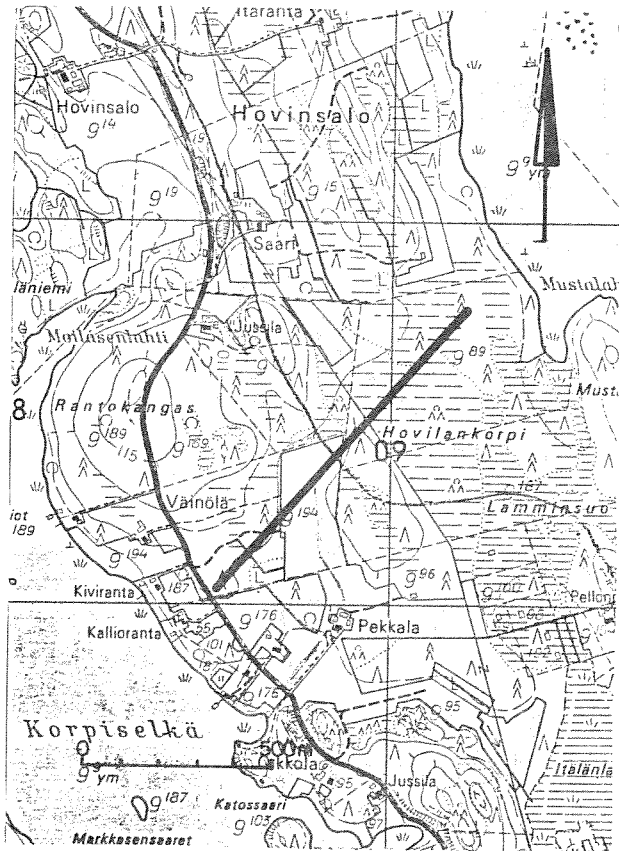


Kuva 5. Lumilinjat 13-16

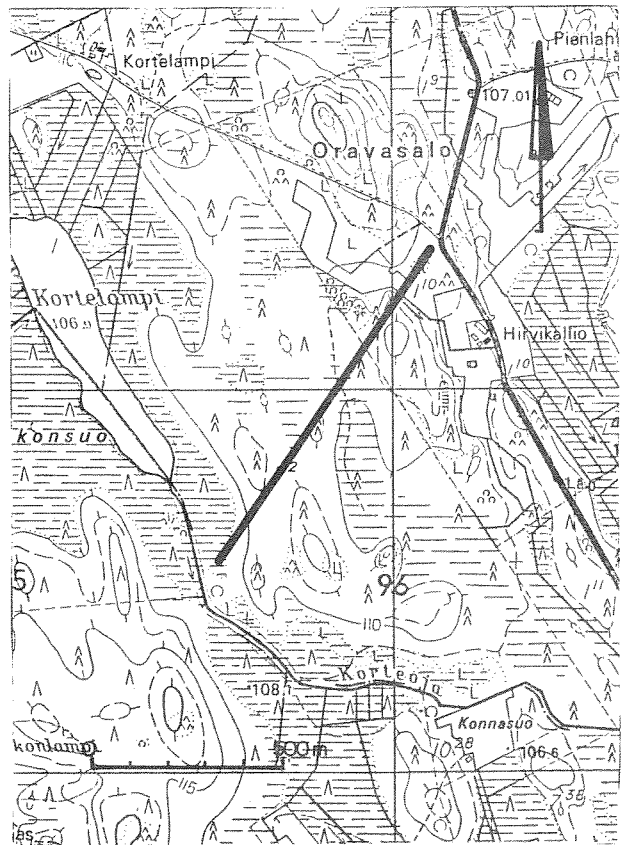
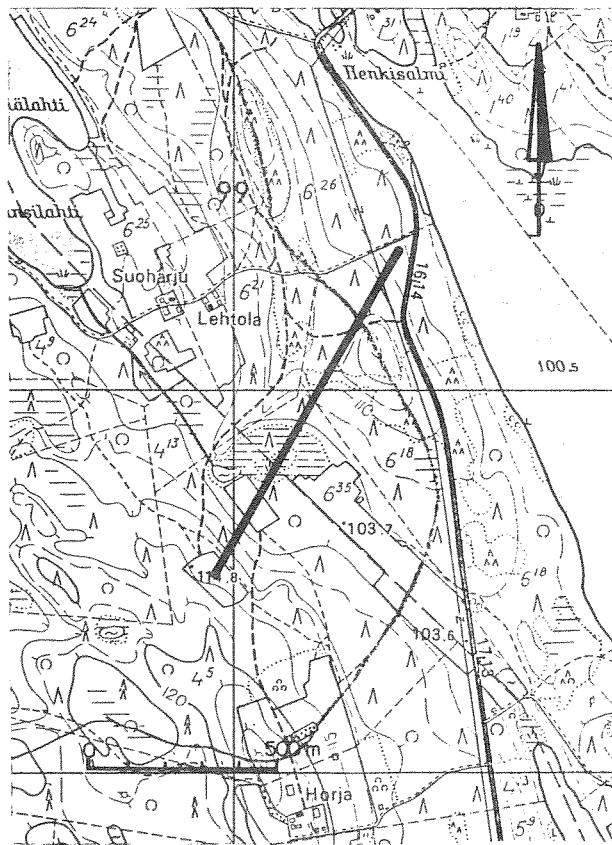
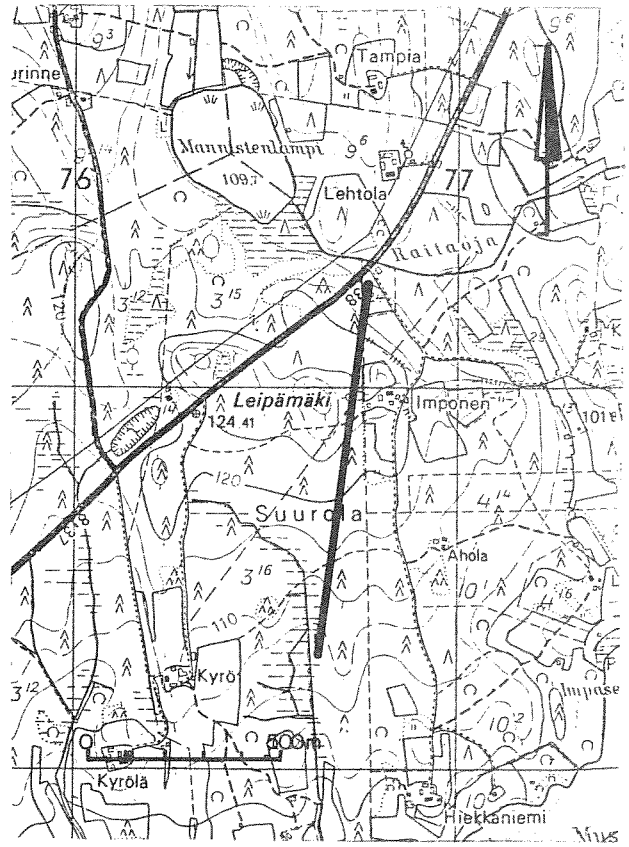
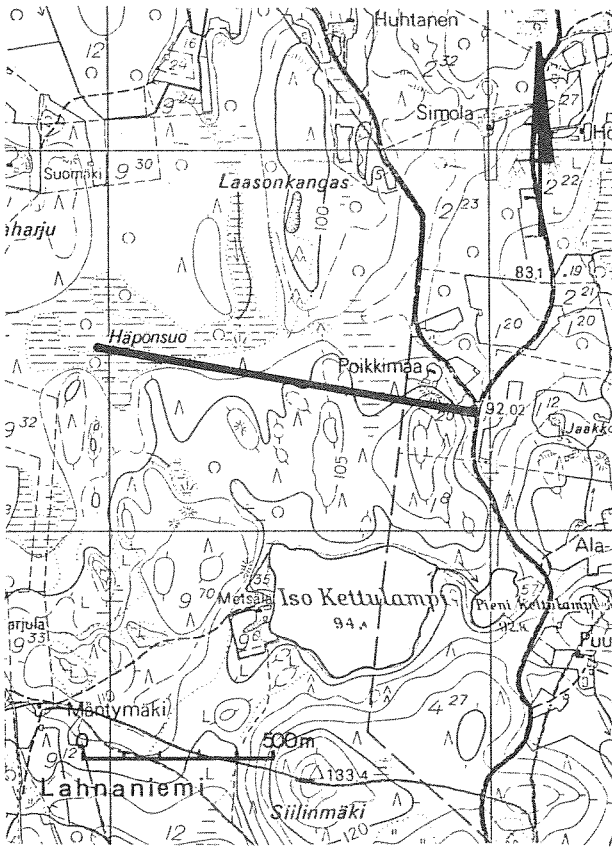


Kuva 6. Lumilinjat 17-20

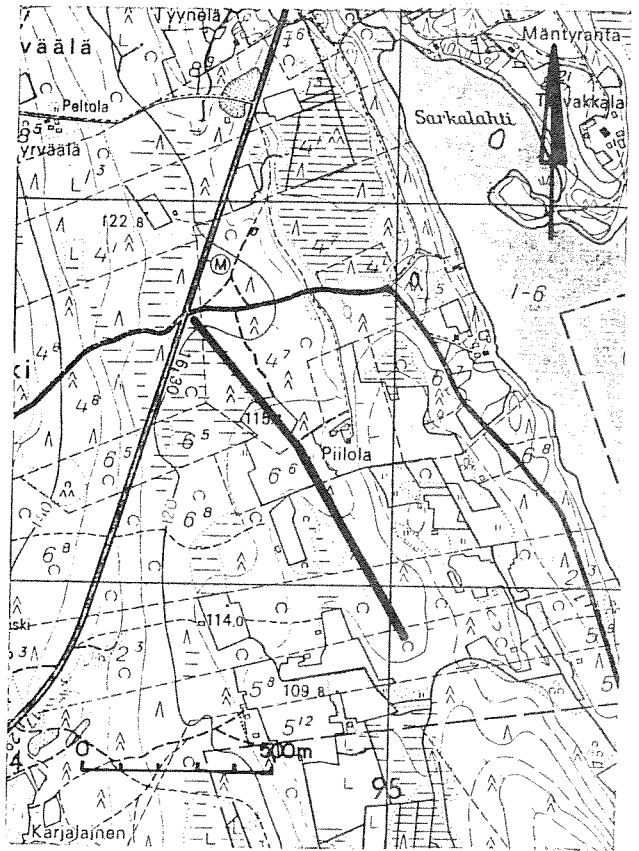
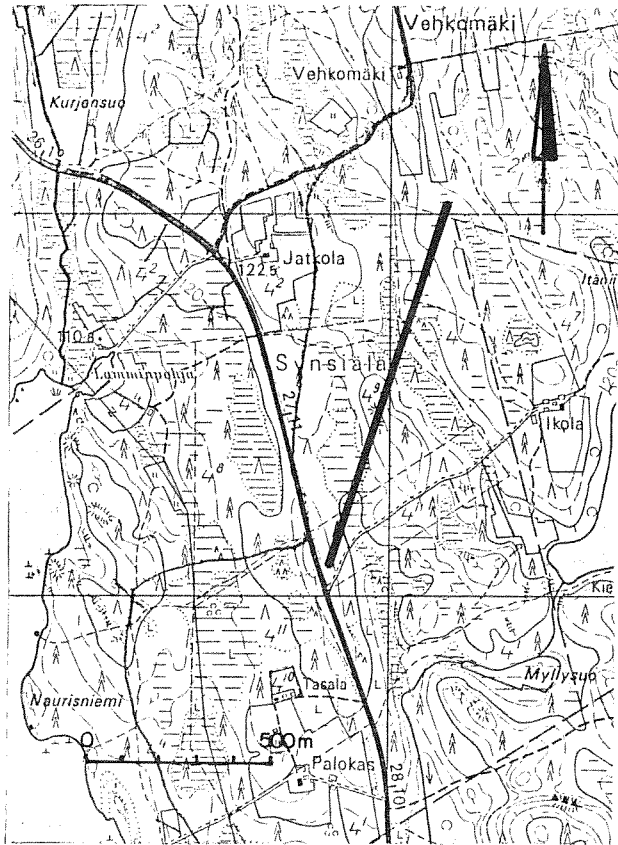




Kuva 7. Lumilinjat 21-24



Kuva 8. Lumilinjat 25-28



Kuva 9. Lumilinjat 29-30

### 3.3 HAVAINTOVERKON KUVAUS

Havaintopisteet luokiteltiin maastossa keskeisten ominaisuuksien: puulajien, metsän tiheyden, kaltevuuden ja viettosuunnan suhteen. Lisäksi pisteiden korkeusasema määritettiin peruskartoilta.

Puustoa koskevat arvioinnit tehtiin silmävaraisesti. Eri puulajien määrä arvioitiin prosenttiosuuksina. Pituutensa puolesta puusto jaettiin luokkiin alle 5 m, 5 - 15 m ja yli 15 m. Metsän tiheyden määrittämisessä käytettiin luokkia harva, keskitiheä ja tiheä. Maaston muodossa käytettiin jakoa tasainen ja rinne. Rinteen viettosuunta määritettiin kompassilla ja kaltevuus arvioitiin silmävaraisesti loivaksi, jyrkähköksi ja jyrkäksi. Aukeaksi määritettiin pellot ja suuret hakkuualueet. Halkaisijaltaan arviolta alle 20 metriä pienemmät aukiot olivat metsäaukkoja. Havaintopisteitten väli mitattiin mittanauhalla pisteitten sijainnin satunnaisuuteen säilyttämiseksi. Tämän vuoksi mukaan tuli pisteitä, jotka sijaitsivat metsän ja aukean reunavyöhykkeessä siten, että ne eivät kuuluneet selvästi kumpaankaan tyyppiin. Nämä pisteet määritettiin kuuluviksi metsän reunaan. Avosuolla sijainneet pisteet erotettiin omaksi ryhmäkseen, koska niissä mittakepin painumisen vuoksi mittausvirheen syntyminen oli ilmeistä.

Tutkimusta varten mittauspisteet jaettiin maastoluokkiin pelkästään puulajien perusteella. Käytetyt maastoluokat olivat aukea, kuusimetsä, mäntymetsä, lehtimetsä, sekametsä, avosuo, metsäaukko ja metsän reuna. Mittauspisteitten jakautuminen ko. maastoluokkiin havaintolinjoittain on esitetty taulukossa 1.

Jokainen mittauslinja sisälsi usean maastoluokan pisteitä. Aukealla sijainneita pisteitä oli kahdella linjalla yli puolet kaikista pisteistä. Vastaavasti neljällä linjalla oli kuusimetsän pisteitä, kahdella linjalla mäntymetsän ja yhdellä linjalla lehtimetsän pisteistä kaikista pisteistä yli puolet. Lopuilla linjoilla mittauspisteet jakautuivat tasaisemmin eri luokkiin.

Tutkimusalueen pinnanmuodostuksesta johtuen linjat olivat kaltevuussuhteiltaan vaihtelevia, vaikkakin korkeuserot olivat niillä vähäisiä. Suurin korkeusero oli linjalla 19 ja se oli noin 80 metriä. Enimmäkseen korkeuserot olivat alle 40 metriä. Mittauspisteitten jakautuminen eri korkeusvyöhykkeisiin on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 1. Mittauspisteitten jakautuminen maastoluokkiin linjoittain Mäntyharjun reitillä vuosina 1977 - 79 suoritettussa tutkimuksessa 1 = aukea, 2 = kuusimetsä, 3 = mäntymetsä, 4 = lehtimetsä, 5 = sekametsä, 6 = avosuo, 7 = metsäaukko, 8 = metsän reuna. Jälkimmäiset luvut ovat vesi-arvon mittauspisteitten lukumääriä.

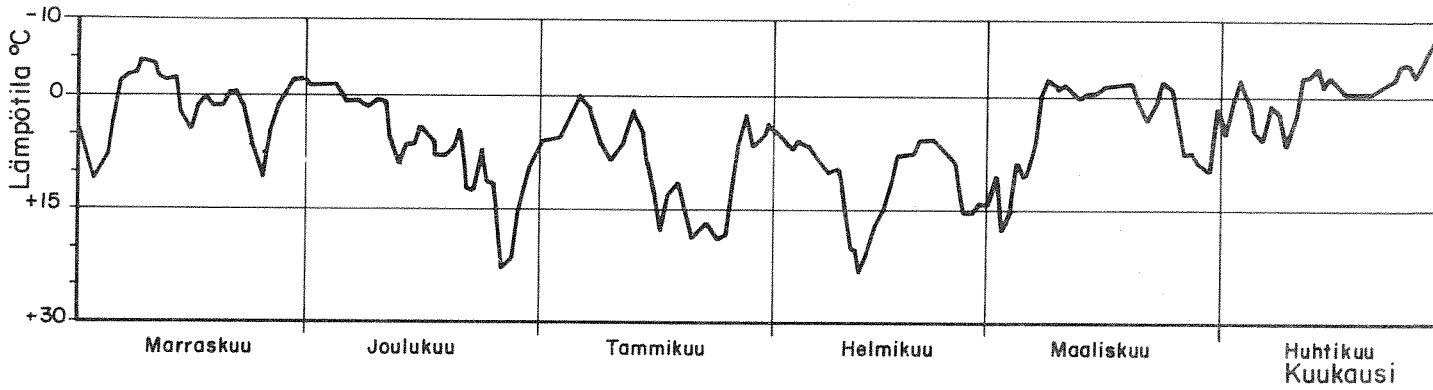
linja	maastoluokka								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1		18,3	5	2	4	18,2	1	2	
2	3		25,3	3	8,1	8,1		3	
3	5,2	17,2	4	3	7		11,1	3	
4	23,2		13,1	4	3,1		4,1	3	
5	5	11	26,5	3	1		1	3	
6	28,4	3	12,1					7	
7	9,1	6	5,1	9	8,1	3,1	4	6,1	
8	3	3	33,5	4	1		2	4	
9		14,2	5,1	23,2	5		3	1	
10	9	10,1	10,2	9,1			4	8,1	
11	28,2		2	9,1				11,2	
12	4,1	29,2	4,1	5	3,1			5	
13	7	16,1	3,1	15,2	2		2	6,1	
14	4	3	3	27,4	5,1		4	4	
15	3	9,1	9,1	7	9,1		5,1	9,1	
16	22,3	5	1	14,1	4			4,1	
17	4,2	29,2	8	1	2,1			6	
18	11,1	19,2		5,2	7	1		7	
19	1	17,1		12,1	5,1	5	8,2	3	
20	16,2	13	6	4,1	3,1		3,1	6	
21	16,2	20,2	2,1	7	1		4	1	
22	8	6	5,2	5	6,1	15,2	2	4	
23	10	22,3		10,1	2		2	5,1	
24	4	21,3	2	5	11,1	1,1	2	4	
25	23,4		5	16	2,1		1	4	
26	1	29,2	9,1		2		5	4,2	
27	6,2	8	20,3	5	2	6	2	2	
28	6	22,3		6,1	3	9,1	3	2	
29		32,2	10,1	1,1		4,1	2	2	
30	16	27,4	1	5,1	1		1		
Yht.	275	409	228	219	107	70	76	129	1513
%	18,2	27,0	15,1	14,5	7,1	4,6	5,0	8,5	100
Vesi- arvon mittaus- pisteitä	28	36	30	19	12	9	6	10	150
%	18,6	24,0	20,0	12,7	8,0	6,0	4,0	6,7	100

Taulukko 2. Mittauspisteitten jakautuminen korkeusaseman mukaan Mäntyharjun reitillä vuosina 1977 - 79 suoritetussa tutkimuksessa.

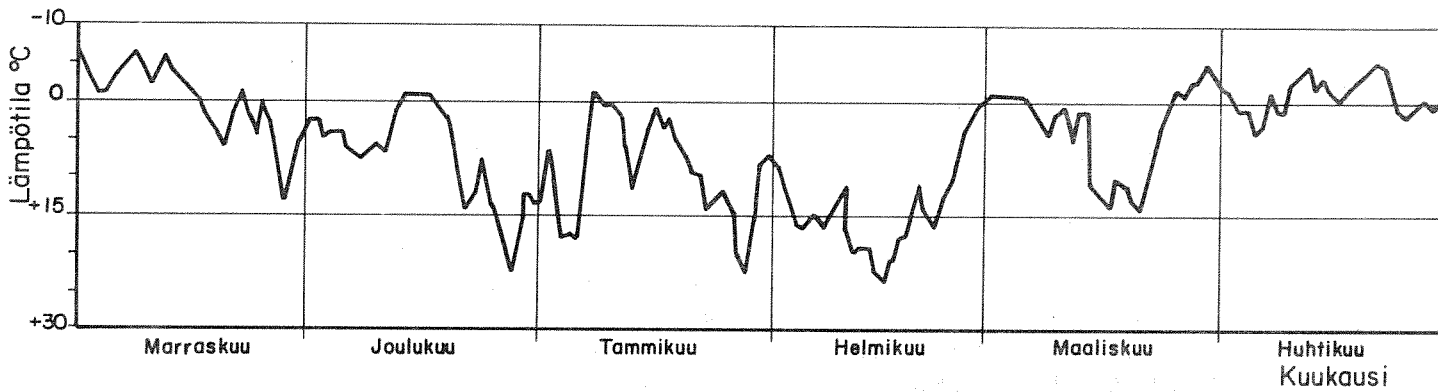
korkeusasema N <sub>43</sub> m	pisteitä kpl	%
80 - 100	258	17,1
100 - 120	670	44,3
120 - 140	341	22,5
140 - 160	122	8,1
160 - 180	50	3,3
180 - 200	28	1,9
200 - 220	36	2,4
220 - 240	6	0,4
Yhteensä	1513	100

Havaintoverkon ja tutkimusalueen keskimääräisiä maastotyyppisuhteita on vertailtu toisiinsa taulukossa 3. Maastoluokitukset eivät täysin vastaa toisiaan, mutta jos havaintoverkon luokituksessa sekametsän, metsän reunan ja metsäaukon osuudet jaetaan kuusi-, mänty- ja lehtimetsän osuuksiin sekä aukean ja avosuon osuudet lasketaan yhteen, voitaneen havaintoverkon ja tutkimusalueen maastoluokajakautumien yhteensopivuutta arvioida. Havaintoverkon aukean ja avosuon yhteenlaskettu osuus vastaa likimain tutkimusalueen pellon sekä tontti- ja joutomaan osuuksien summaa. Metsätyypeistä kuusimetsän osuudet tutkimusalueella ja havaintoverkossa ovat suunnilleen yhtä suuret, mutta mänty- ja lehtimetsän osuuksissa on eroja. Mäntymetsän osuus havaintoverkossa on noin 15 %-yksikköä pienempi kuin tutkimusalueella yleensä ja vastaavasti lehtimetsän osuus on noin 10 %-yksikköä suurempi kuin tutkimusalueella keskimäärin.

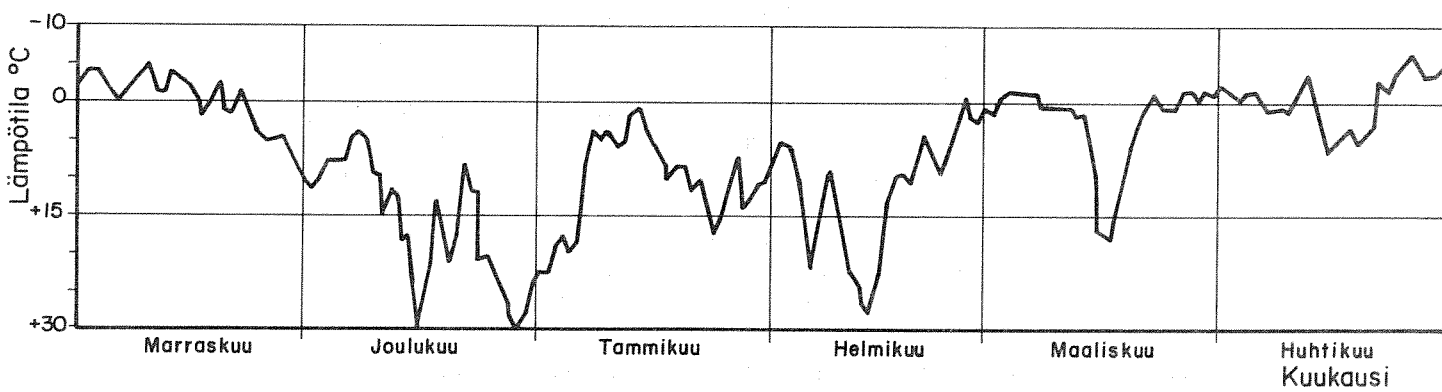
1976-77



1977-78



1978-79



Kuva 10. Vuorokauden keskilämpötilat havaintotalvina Mäntyharjun reitillä.

Taulukko 3. Tutkimusalueen ja havaintoverkon prosentuaalinen jakautuminen eri maastoluokkiin Mäntyharjun reitillä vuosina 1977 - 79 suoritetussa tutkimuksessa.

maastoluokka	tutkimusalue %	havaintoverkko %
pelto (aukea)	10	18,2
tontti- ja joutomaa	10	-
kuusimetsä	32	27,0
mäntymetsä	36	15,1
lehtimetsä	12	14,5
sekametsä	-	7,1
avosuo	-	4,6
metsäaukko	-	5,0
metsänreuna	-	8,5
yhteensä		

### 3.4 HAVAINTOVUOSIEN SÄÄOLOSUHTEET

#### 3.41 L ä m p ö t i l a

Havaintovuodet olivat normaalia kylmempää lukuunottamatta tammikuuta 1977, marraskuuta 1978 ja kaikkien vuosien maaliskuuta. Suurin ero pitkäaikaisiin keskiarvoihin oli joulukuussa 1978, jolloin oli yli 10°C normaalia kylmempää. Helmi-kuussa 1978 ero oli noin 5°C kylmempään päin, muulloin poikkeamat olivat alle 2°C luokkaa. Kuukauden keskilämpötilat on esitetty taulukossa 4. Lukemat on saatu Mikkelin säähavaintoasemalta, joka sijaitsee tutkimusalueen itälaidassa ja pohjois-eteläsuunnassa alueen puolella välissä.

Vuorokauden keskilämpötilat on esitetty kuvassa 10. Maaliskuun 1977 puolella välissä oli poikkeuksellisen lämmin kausi, joka aiheutti lumen sulamista. Maaliskuun loppu ja huhtikuun alku olivat pakkaskautta, jolloin alkanut sulaminen pysähtyi. Vuorokauden keskilämpötila nousi pysyvästi nollan yläpuolelle huhtikuun 10. päivän jälkeen. Vuonna 1978 maaliskuun ensimmäisellä viikolla oli lämmin jakso, jonka jälkeen oli pakkasta kuukauden loppupuolelle asti. Huhtikuun alkupuolella keskilämpötilat olivat nollan alapuolella. Kuukauden 10 ja 26 päivän välillä oli lämmin kausi, jonka jälkeen kuukauden viimeisellä viikolla keskilämpötila laski vielä nollan alapuolelle. Myös vuonna 1979 oli maaliskuun alussa lämmin jakso. Toinen lämmin jakso oli maaliskuun lopussa ja huhtikuun alussa, minkä jälkeen oli vielä noin kanden viikon pakkaskausi, ennenkuin keskilämpötila nousi pysyvästi nollan yläpuolelle.



Taulukko 4. Tutkimusajanjaksolla vallinneet kuukauden keskilämpötilat Mikkelin ilmastoasemalla.

kuukausi	lämpötila °C			
	1976/77	1977/78	1978/79	1931 - 60
marraskuu	-1,6	-0,4	0,2	-1,1
joulukuu	-6,4	-7,4	-15,9	-5,4
tammikuu	-8,6	-9,5	-10,6	-9,1
helmikuu	-10,7	-14,7	-11,7	-9,2
maaliskuu	-3,7	-3,8	-2,4	-5,3
huhtikuu	1,0	0,5	0,4	1,8

## 3.42 S a d a n t a

Sadannan suhteen havaintovuodet poikkesivat eri suuntiin pitkäaikaisista keskiarvoista. Ensimmäinen vuosi oli normaalia sateisempi ja kaksi seuraavaa vähäsateisempia. Taulukossa 5 on esitetty kuukausisadannat, jotka on laskettu vesihallituksen hydrologian toimistossa.

Talvella 1976/77 marras-huhtikuun sadesumma oli noin 30 % suurempi kuin normaalisti. Huhtikuun jälkimmäisellä puoliskolla satoi huhtikuun pitkäaikaisia keskiarvoja vastaava määrä, muuten sateet jakautuivat kuukausijaksolle melko tasaisesti. Talvella 1977/78 marraskuu ja maaliskuu olivat huomattavasti normaalia sateisempia. Tammikuun puolesta välistä helmikuun loppuun oli lähes sateeton kausi. Kokonaissademäärä oli talvella 1977/78 8 % normaalia pienempi. Talvella 1978/79 joulukuu ja huhtikuu olivat vähäsateisia ja tammikuu normaalia sateisempi. Sadesumma oli kokonaisuudessaan noin 15 % pitkäaikaisia keskiarvoja pienempi.

Taulukko 5. Tutkimusajanjakson kuukausisadannat Mäntyharjun reitin valuma-alueella.

kuukausi	sadanta mm			
	1976/77	1977/78	1978/79	1931 -60
marraskuu	59	72	47	47
joulukuu	51	23	15	42
tammikuu	36	25	56	41
helmikuu	45	7	23	29
maaliskuu	31	50	38	26
huhtikuu	56	22	16	33
Yhteensä	278	199	185	218

### 3.5 LUMEN TIHEYDEN, SYVYYDEN JA VESIARVON LASKEMINEN

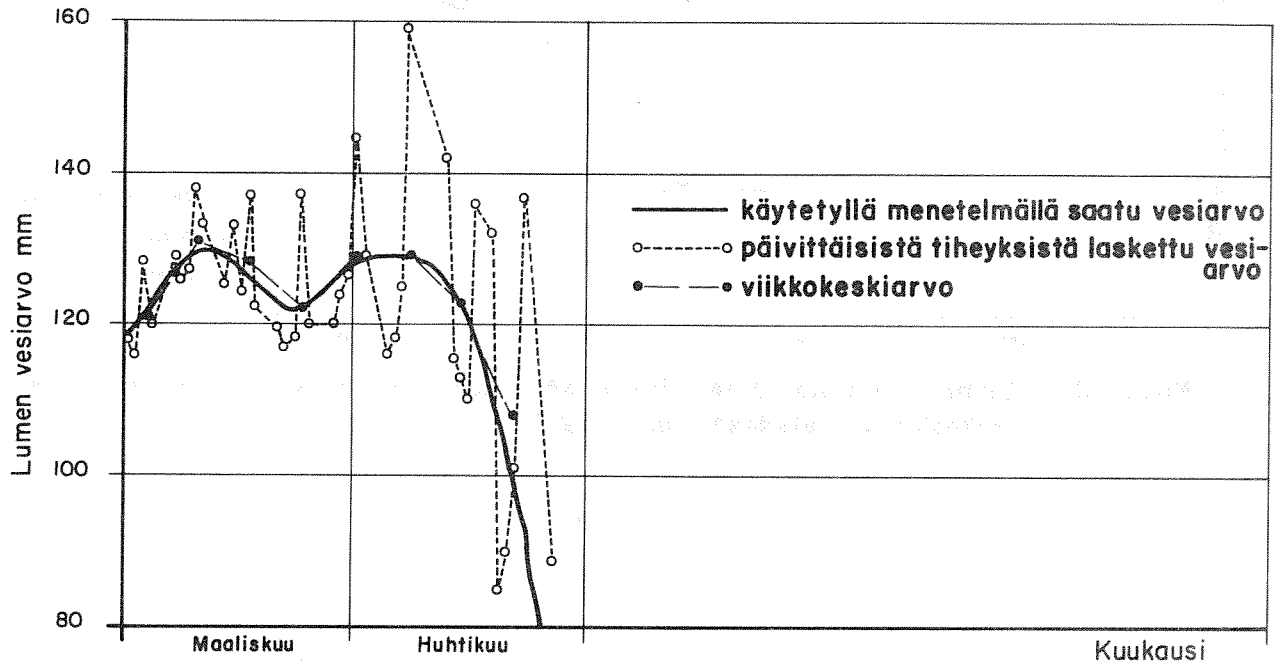
Lumen tiheys, syvyys ja vesi-arvo laskettiin erikseen kaikille maastotyypeille. Lisäksi laskettiin ko. suureiden keskiarvot koko aineistosta ja kaikkien metsähavaintopisteiden mittaus-tuloksista.

Lumen vesi-arvon laskeminen suoritettiin tietokoneella. Laskenta tapahtui pääperiaatteissaan seuraavasti:

1. Valittiin halutun maastoluokan pisteet
2. Laskettiin jokaiselle mittauspäivälle lumen tiheyden ja syvyyden keskiarvot
3. Laskettiin jokaiselle mittauspäivälle lumen vesi-arvo tiheyden ja syvyyden tulona
4. Aina saman viikonpäivän vesi-arvosta eli samojen havaintolinjojen mittaustuloksista interpoloitiin välipäiville arvot, jolloin jokaista päivää kohti tuli yksi päivän mittaustuloksista laskettu ja neljä interpoloitua vesi-arvoa.
5. Laskettiin lopulliset päivittäiset vesi-arvot em. viiden luvun keskiarvona.

Tällä laskentatavalla tasoittuvat eri päivien mittauspisteiden erilaisuudesta aiheutuneet epäsäännöllisyydet vesi-arvoissa. Toisaalta todelliset äkilliset vesi-arvon muutokset eivät tulleet esille. Päivittäisistä tiheyksistä ja syvyyksistä suoraan laskettujen vesi-arvojen viikkokeskiarvot yhtyvät lähes täysin käytettyihin vesi-arvokäyriin. Eri menetelmillä saaduista vesi-arvoista on esimerkki kuvassa 11.

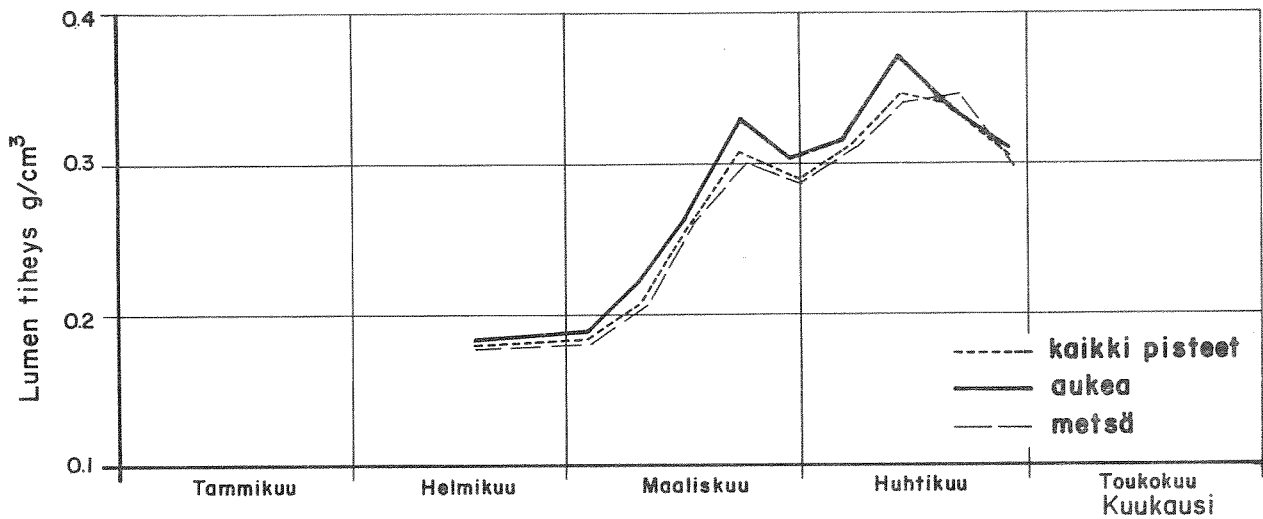
Esitetyt tiheys- ja syvyysarvot ovat tietokoneella jokaiselle mittauspäivälle laskettujen tiheyksien ja syvyyksien viikkokeskiarvoja. Siten huhtikuun lopun tiheydet ja syvyydet eivät ole täysin vertailukelpoisia vesi-arvojen kanssa, jotka ovat huhtikuun viimeiselle päivälle laskettuja arvoja, kun em. tiheydet ja syvyydet ovat huhtikuun viimeisen viikon keskiarvoja.



**Kuva II. Esimerkki eri laskentatavoilla saaduista vesiarvoista vuosina 1977-79**

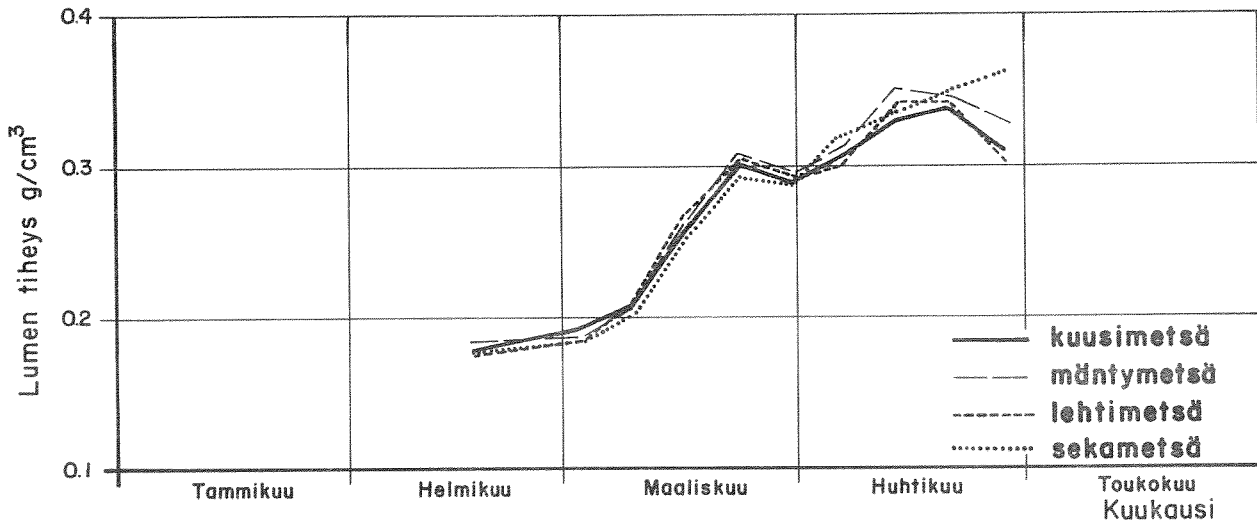
Lumen tiheys eri maastoluokissa ja eri havaintovuosina on esitetty kuvissa 12 - 20, lumen syvyys kuvissa 21 - 29 ja lumen vesiarvo kuvissa 30 - 38.

1977



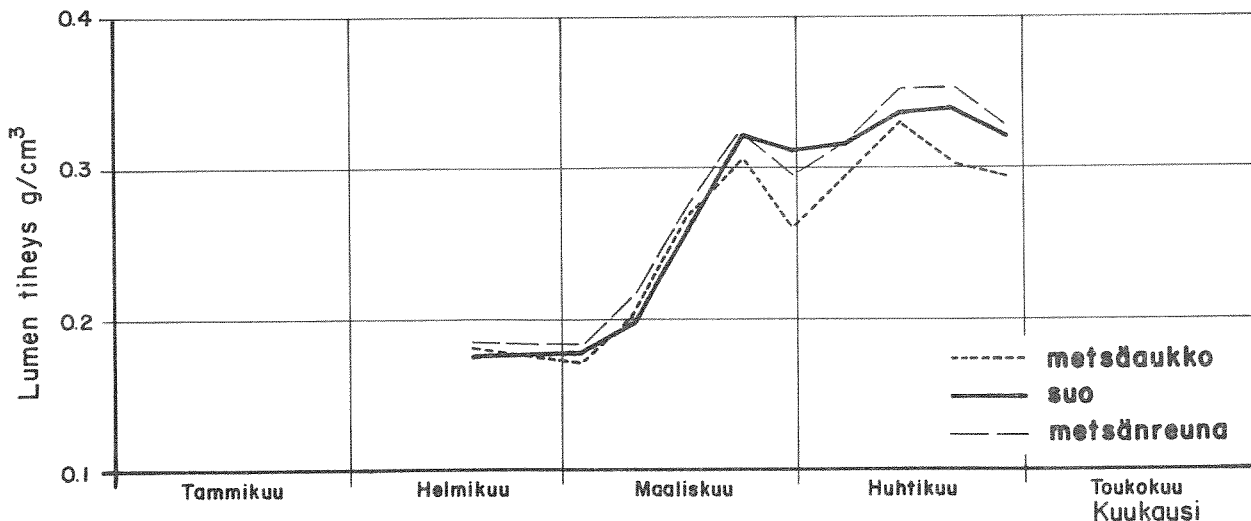
Kuva 12. Lumen keskimääräinen tiheys Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1977

1977



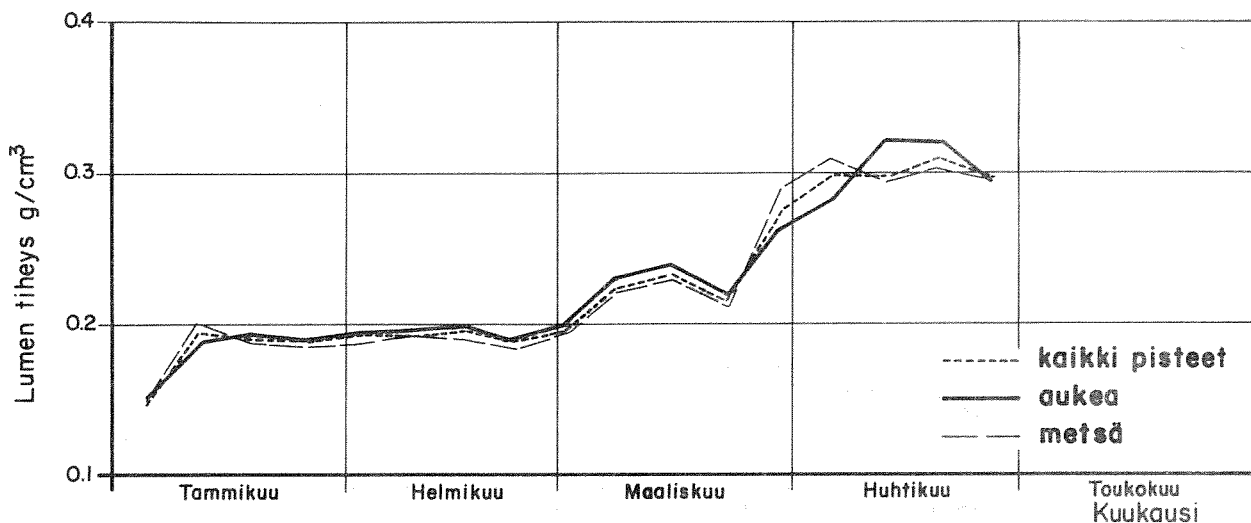
Kuva 13. Lumen tiheys kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1977

1977



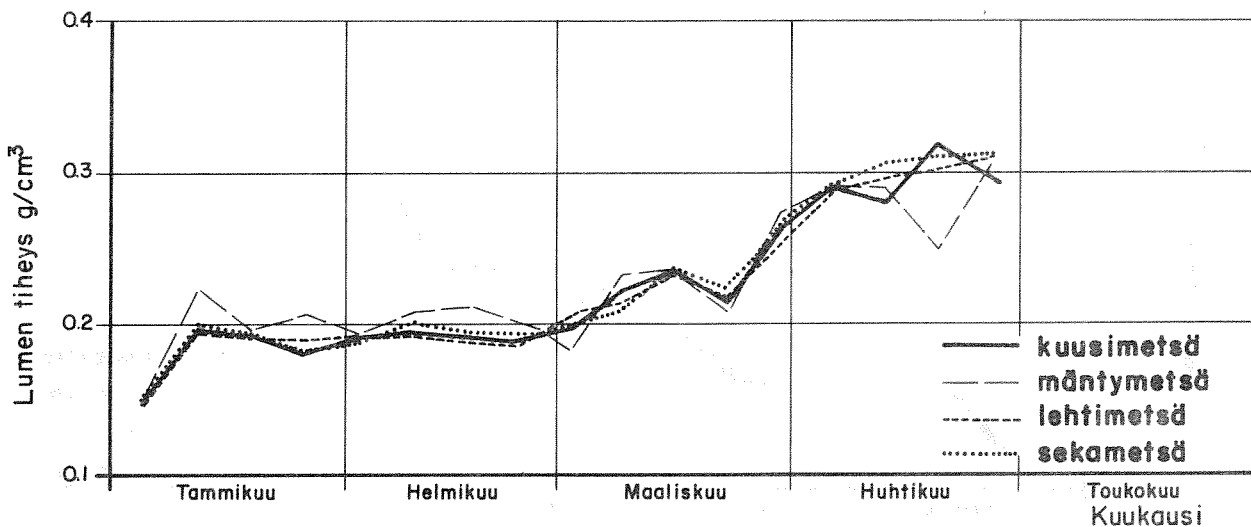
Kuva 14. Lumen tiheys metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1977

1978



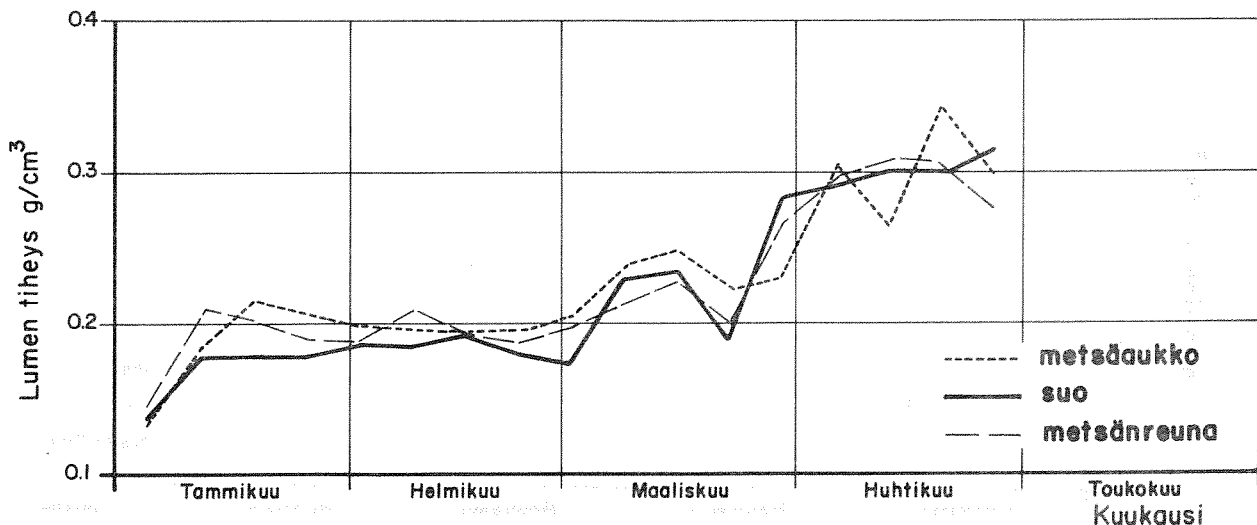
Kuva 15. Lumen keskimääräinen tiheys Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1978

1978



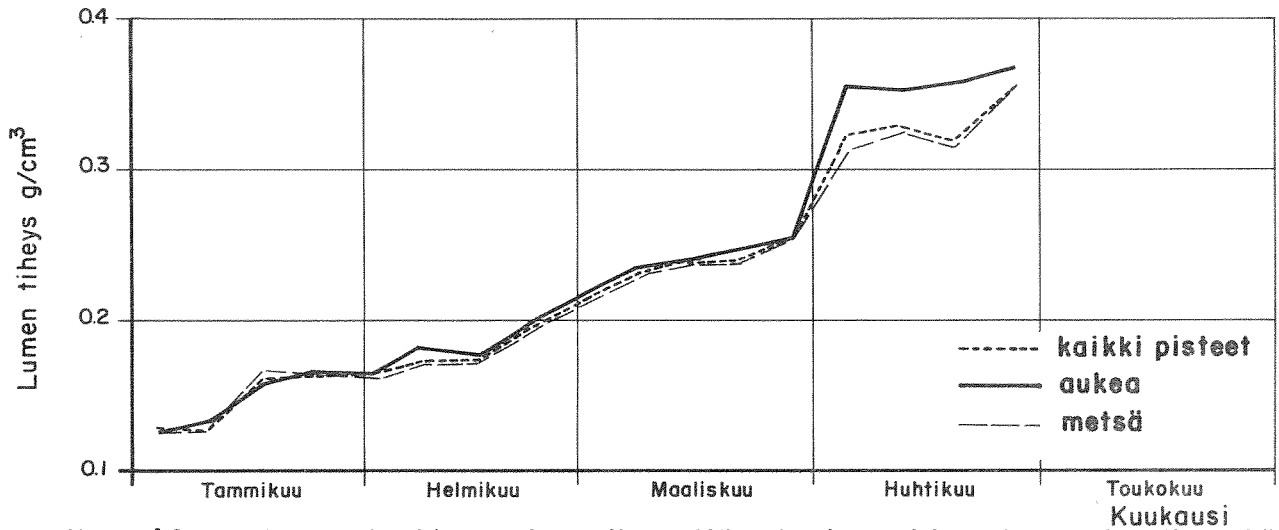
Kuva 16. Lumen tiheys kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1978

1978



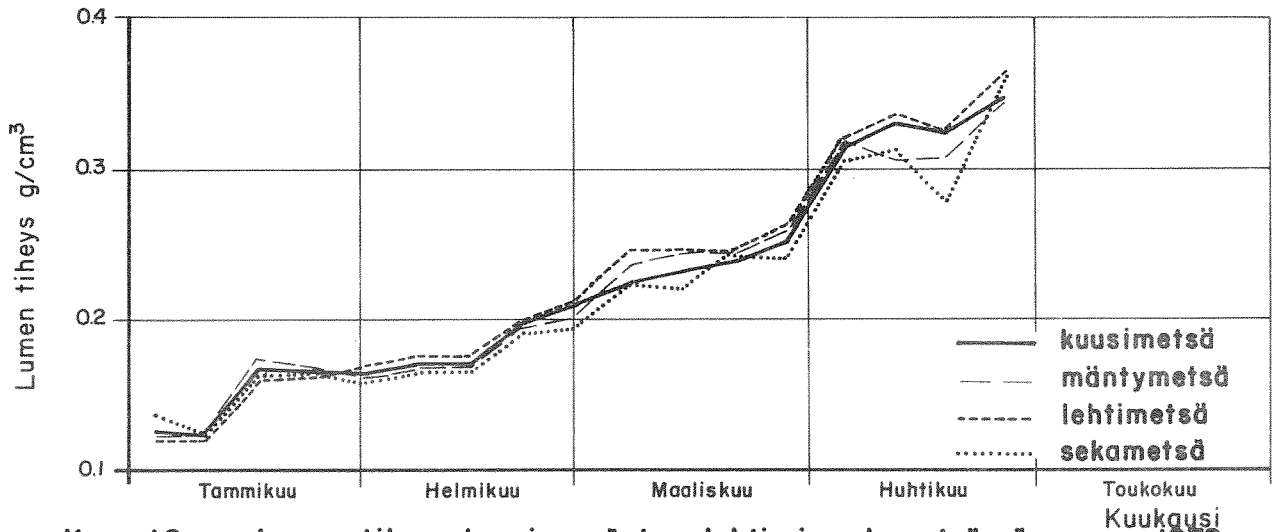
Kuva 17. Lumen tiheys metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1978

1979



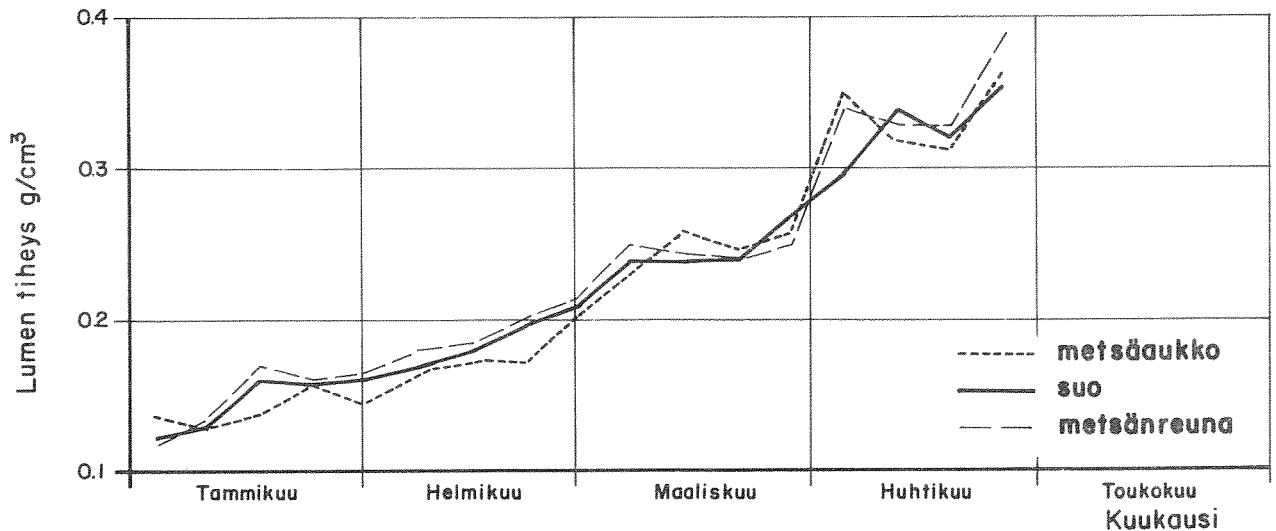
Kuva 18. Lumen keskimääräinen tiheys Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1979

1979

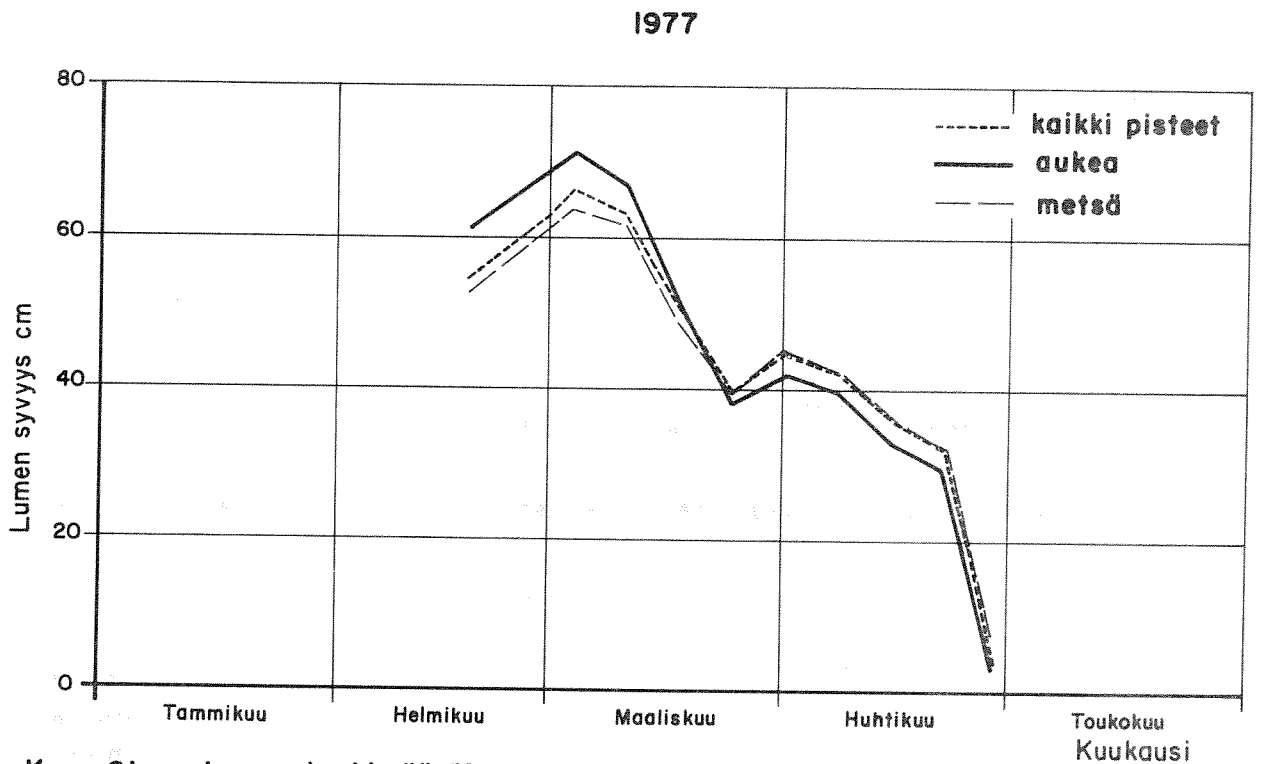


Kuva 19. Lumen tiheys kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1979

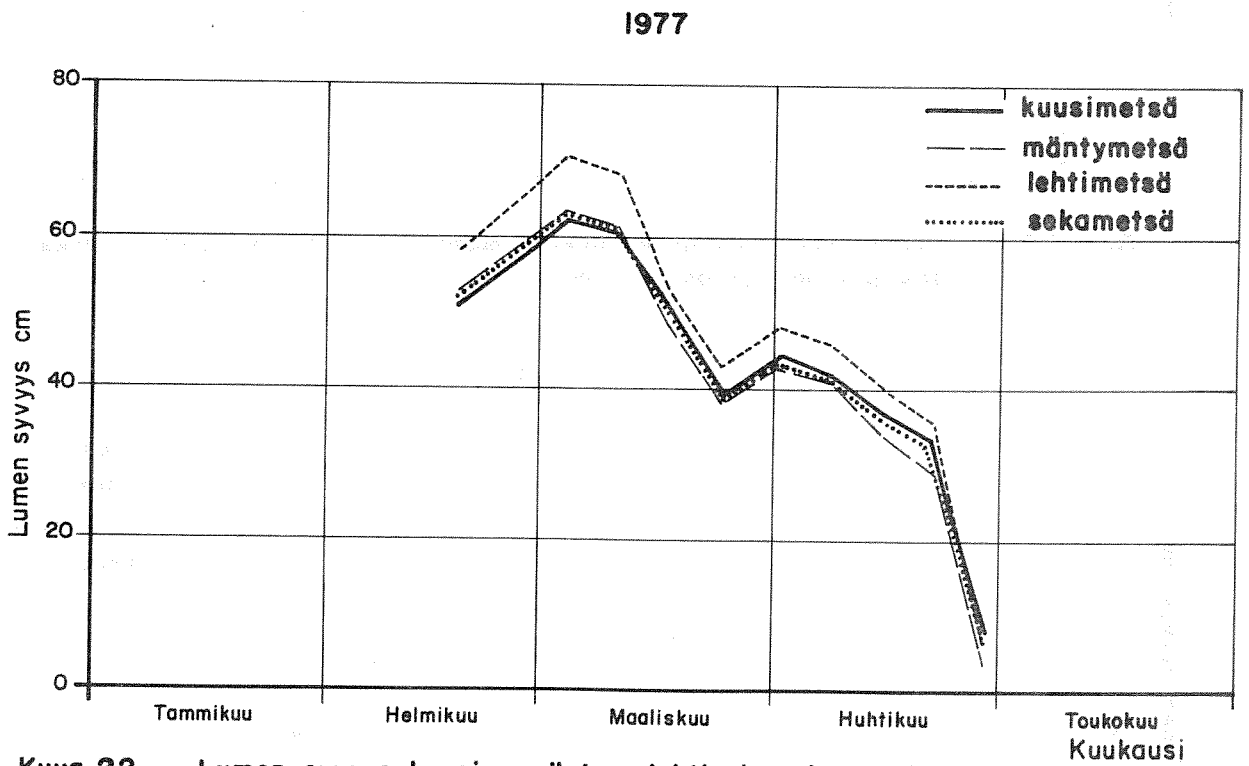
1979



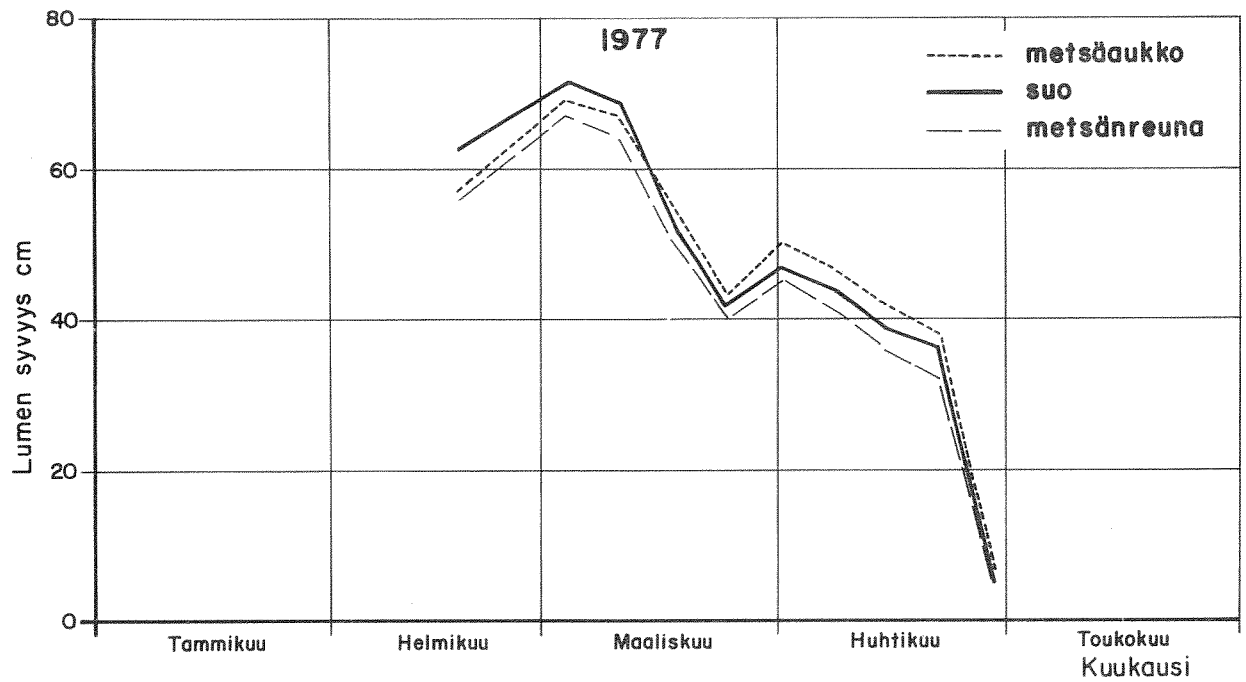
Kuva 20. Lumen tiheys metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1979



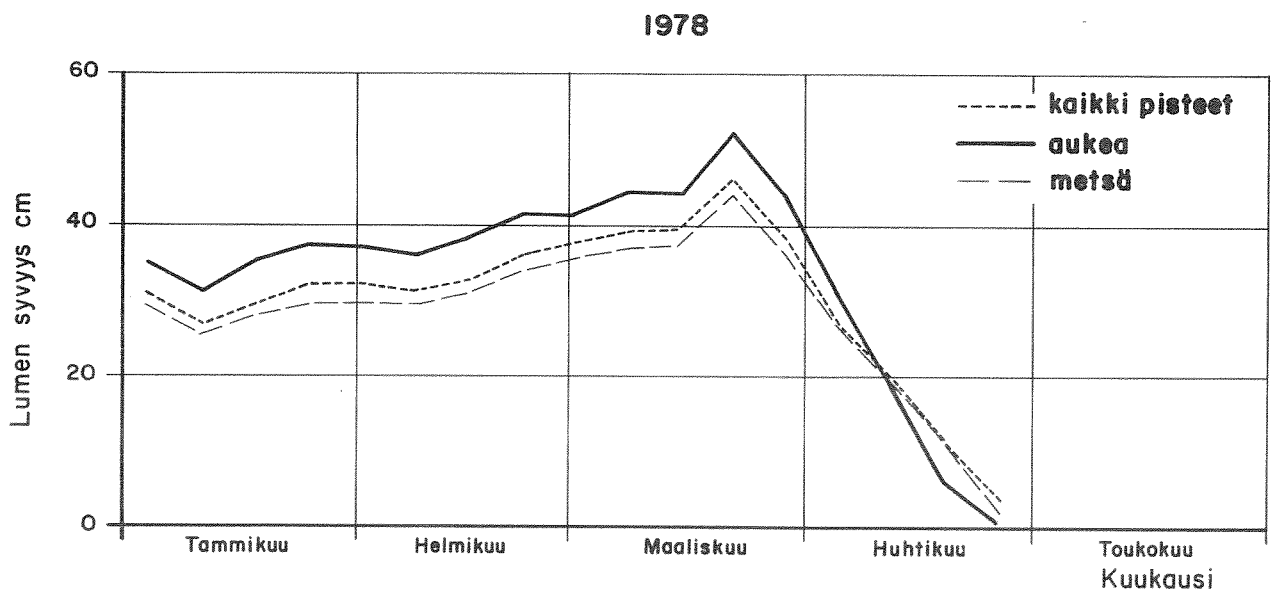
Kuva 21. Lumen keskimääräinen syvyys Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1977



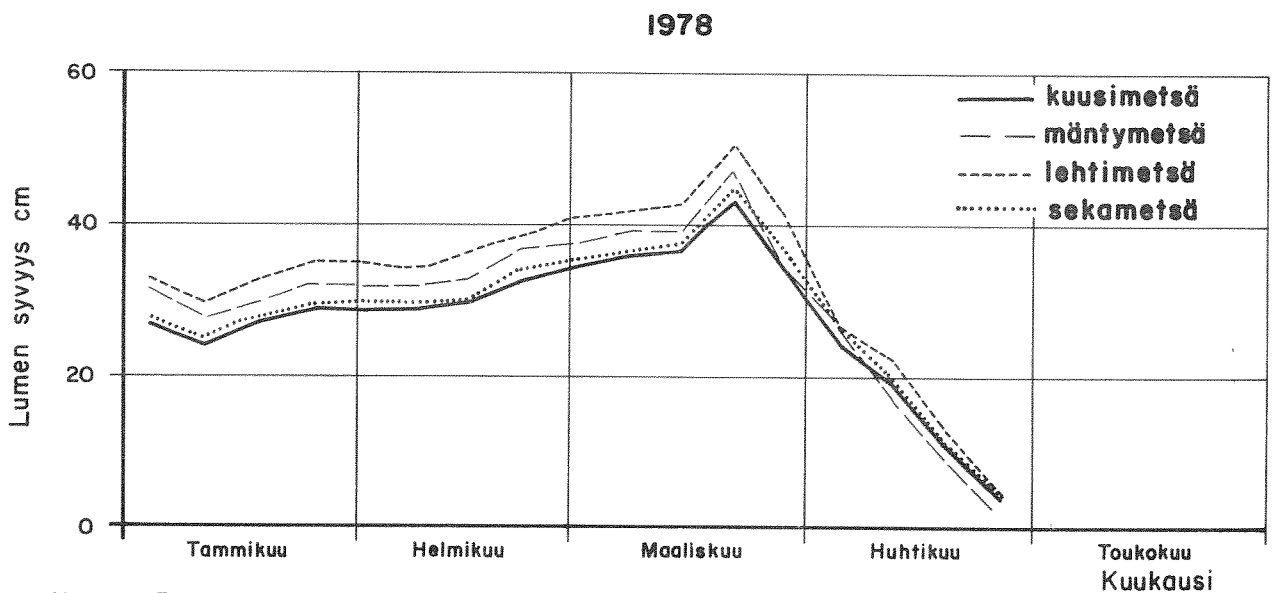
Kuva 22. Lumen syvyys kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1977



**Kuva 23.** Lumen syvyys metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1977



**Kuva 24.** Lumen keskimääräinen syvyys Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1978



**Kuva 25.** Lumen syvyys kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1978

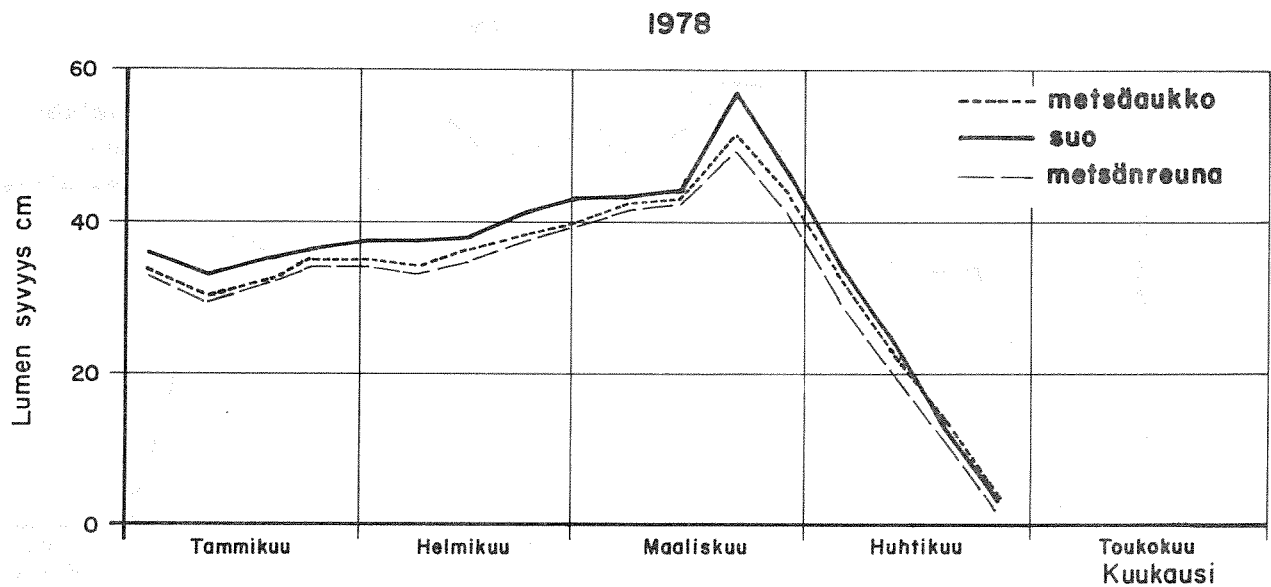


#### 4 LUMEN TIHEYYS; SYVYYS JA VESIARVO MÄNTYHARJUN REITILLÄ

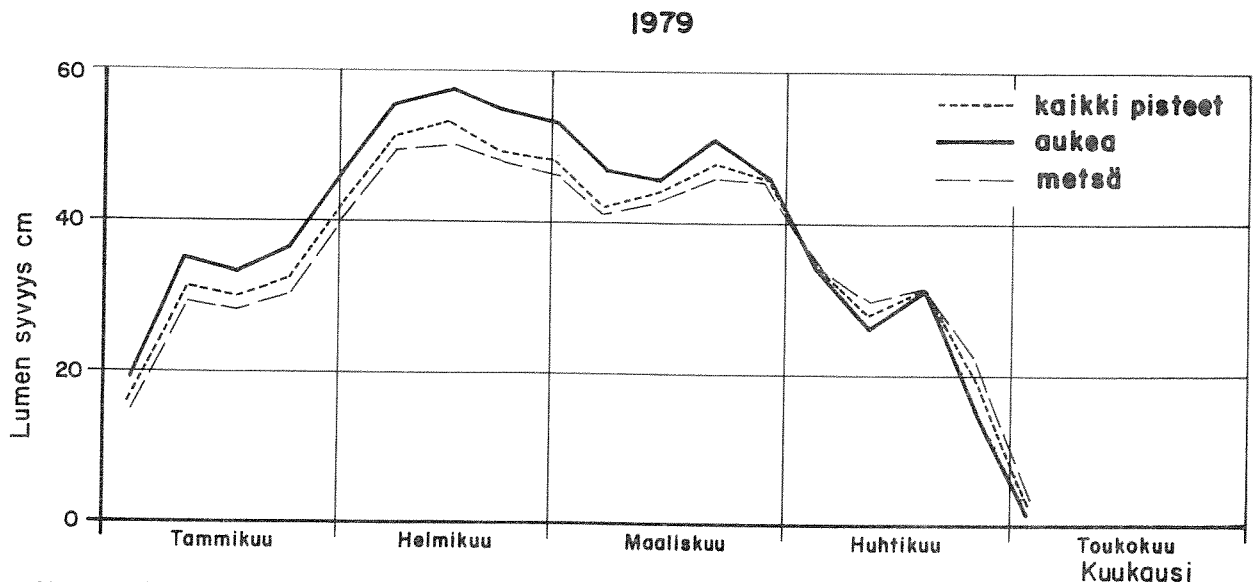
##### 4.1 LUMEN TIHEYYS, SYVYYS JA VESIARVO ERI HAVAINTOVUOSINA 1977 -79

##### 4.11 Tiheys

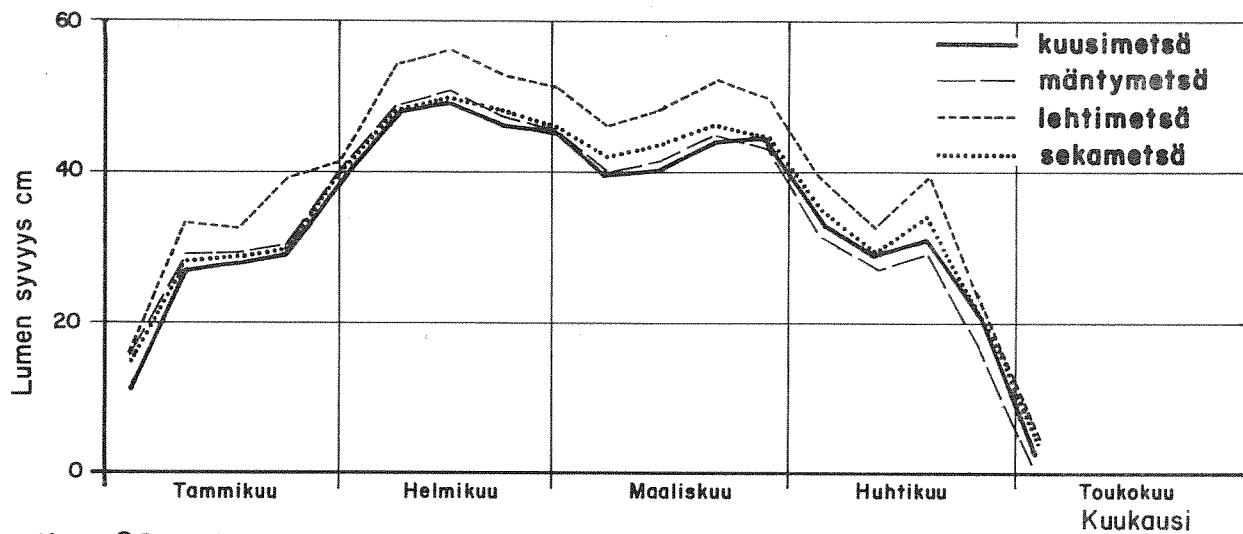
Havaintovuosien välisiä eroja lumen tiheydessä on tarkasteltu aukean ja metsän osalta. Tammikuun alussa lumen tiheys oli  $0,15 \text{ g/cm}^3$  vuonna 1978 ja  $0,13 \text{ g/cm}^3$  vuonna 1979. Tiheys kasvoi vuonna 1978 tammikuun alkupuolella jyrkästi ja pysyi sen jälkeen muuttumattomana maaliskuun alkuun asti. Vuonna 1979 tiheyden kasvu sen sijaan oli melko tasaista tammi- ja helmikuun aikana. Vuonna 1977 havaintojen alkamisajankohtana helmikuun puolessa välissä tiheys oli  $0,18 \text{ g/cm}^3$ . Keskitalvel- la lumen tiheys oli aukealla ja metsässä lähes sama.



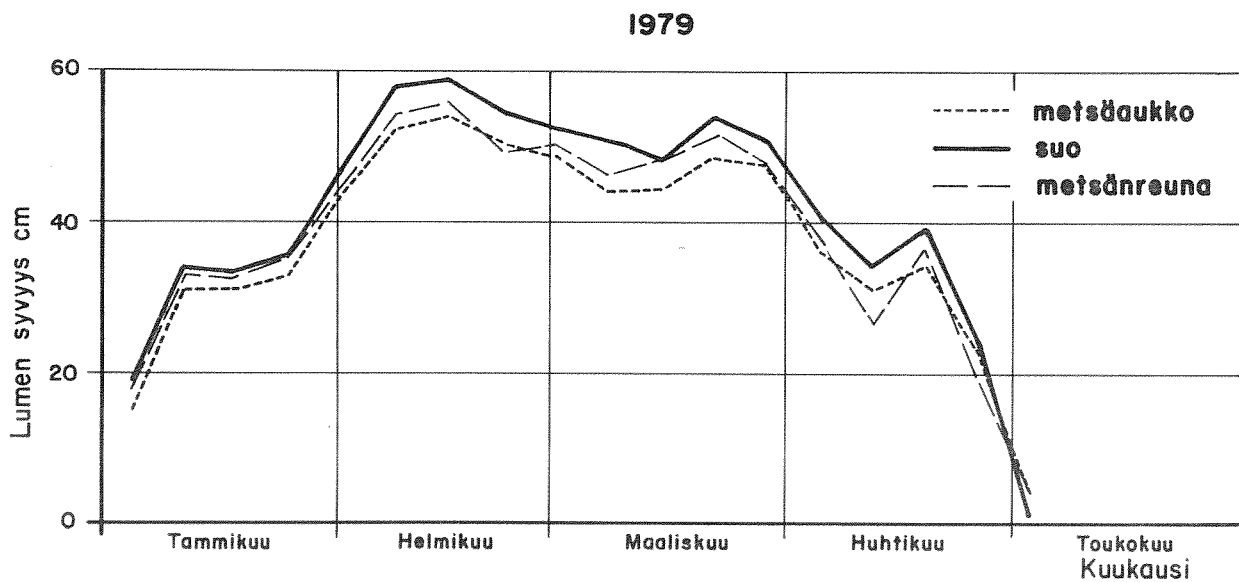
Kuva 26. Lumen syvyys metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1978



Kuva 27. Lumen keskimääräinen syvyys Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1979

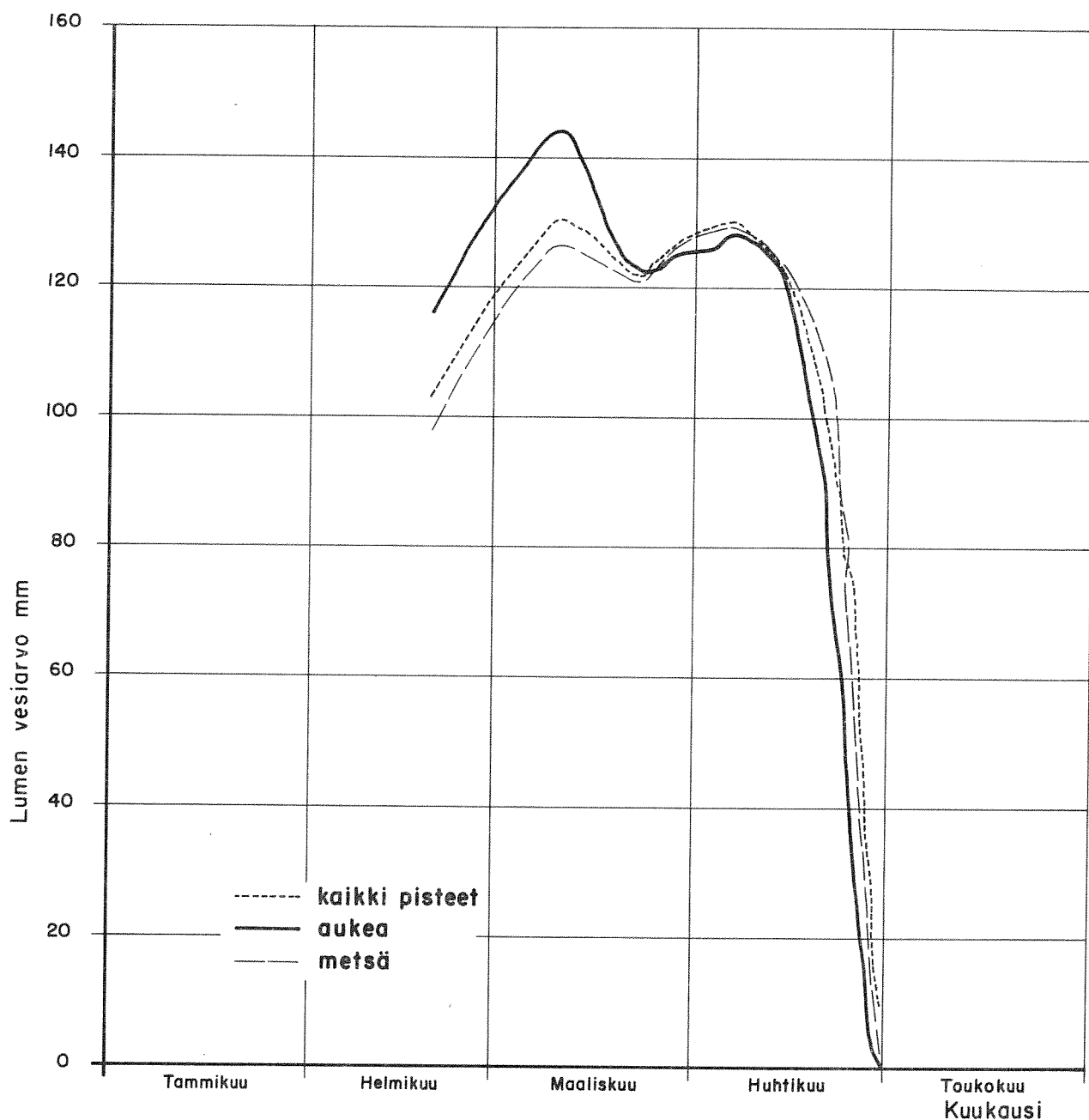


Kuva 28. Lumen syvyys kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1979



Kuva 29. Lumen syvyys metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1979

1977

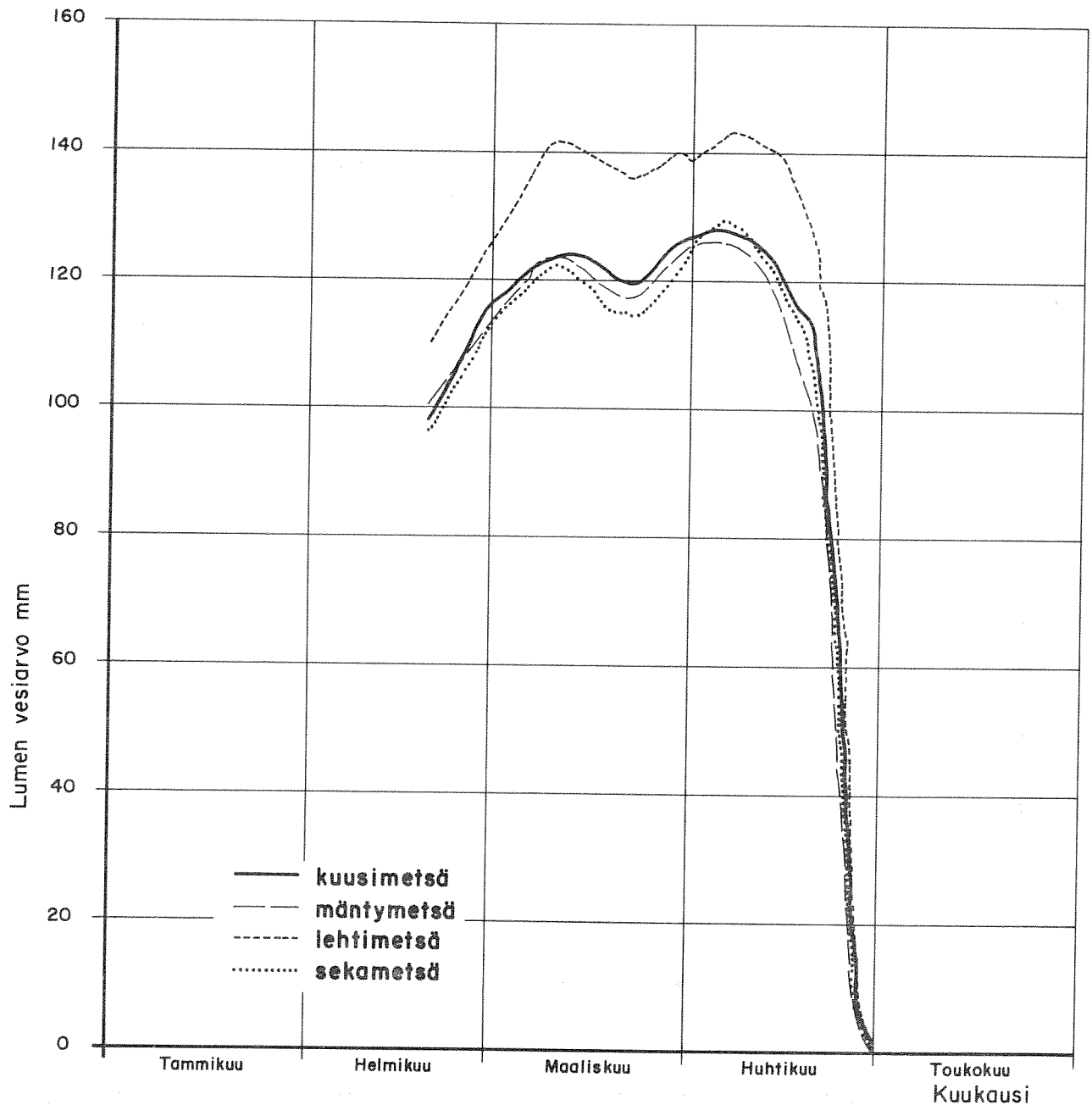


**Kuva 30. Lumen keskimääräinen vesiarvo Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1977.**

Tiheys oli kaikkina havaintovuosina maaliskuun alussa  $0,20 \text{ g/cm}^3$  ja maaliskuun puolella välissä  $0,25 \text{ g/cm}^3$ . Vuonna 1977 tiheys kasvoi jyrkästi maaliskuun 2. ja 3. viikon aikana nousten arvoon  $0,33 \text{ g/cm}^3$  aukealla ja arvoon  $0,30 \text{ g/cm}^3$  metsässä. Lumen vesiarvo saavutti aukealla maksimiarvonsa vähän sen jälkeen, kun tiheyden kasvun vaihe alkoi.



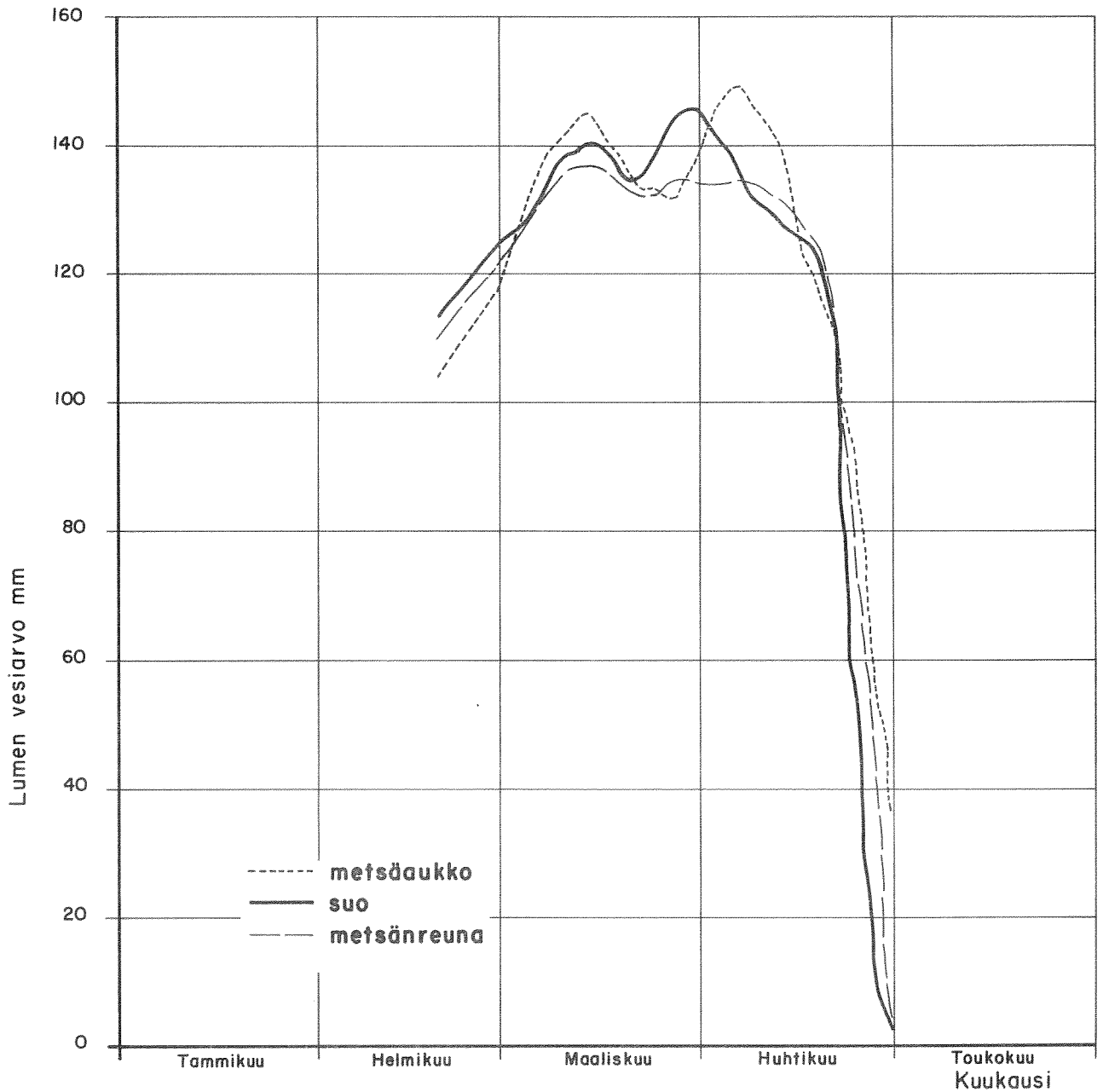
1977



Kuva 31. Lumen vesiarvo kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1977

Tiheys alkoi pienentyä, kun vesiarvon huippukohtaan jälkeinen sulamisjakso loppui maaliskuun loppupuolella. Huhtikuun alussa tiheys oli aukealla  $0,31 \text{ g/cm}^3$  ja metsässä  $0,29 \text{ g/cm}^3$ . Vuonna 1978 tiheys pieneni maaliskuun puolen välin jälkeen ja kasvoi taas kuukauden lopussa ollen huhtikuun alussa metsässä  $0,29 \text{ g/cm}^3$  ja aukealla  $0,27 \text{ g/cm}^3$ . Vuonna 1979 tiheyden kasvu oli tasaista ja tiheys oli huhtikuun alussa sekä aukealla että metsässä  $0,28 \text{ g/cm}^3$ .

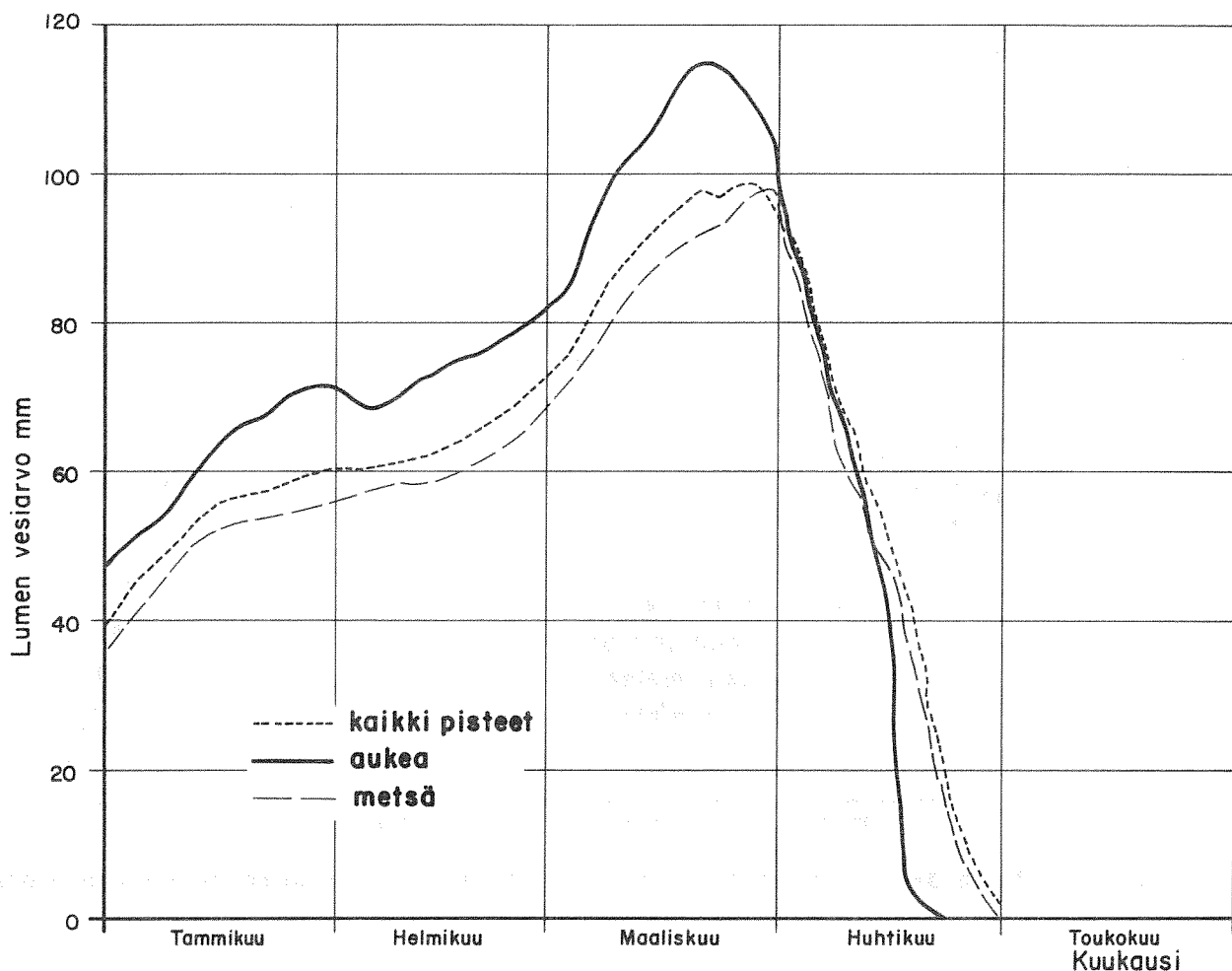
1977



Kuva 32. Lumen vesiarvo metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1977

Tiheys saavutti vuonna 1977 maksiminsa aukealla huhtikuun puolella välissä ja metsässä noin viikkoa myöhemmin. Tällöin lumen sulaminen oli alkuvaiheessa. Tiheyden maksimiarvo oli aukealla  $0,37 \text{ g/cm}^3$  ja metsässä  $0,34 \text{ g/cm}^3$ . Vuosien 1978 ja 1979 tiheys alkoi kasvaa jyrkästi vähän ennen kuin vesiarvo saavutti maksiminsa ja kasvua jatkui sulamiskauden loppupuolelle asti. Vuonna 1978 tiheyden maksimi sattui metsässä huhtikuun 5. päivän vaiheille ja se oli

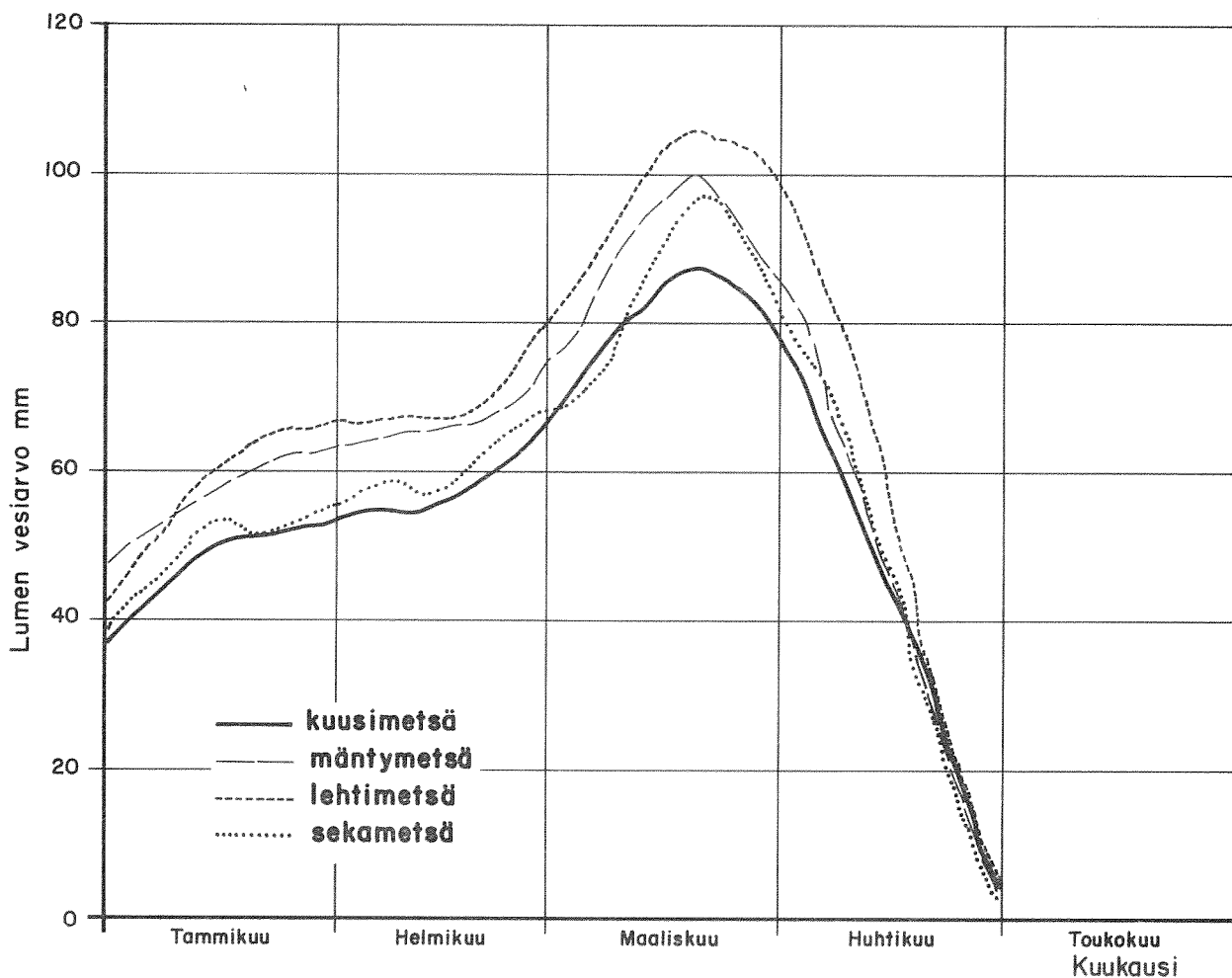
1978



**Kuva 33.** Lumen keskimääräinen vesiarvo Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1978.

suuruudeltaan  $0,31 \text{ g/cm}^3$ . Aukealla tiheyden maksimiarvo  $0,33 \text{ g/cm}^3$  havaittiin huhtikuun 13. päivän tienoilla. V. 1979 tiheys nousi maksimiinsa vasta aivan huhtikuun lopussa. Se oli tällöin aukealla  $0,37 \text{ g/cm}^3$  ja metsässä  $0,35 \text{ g/cm}^3$ . Tiheys pieneni vuosina 1977 ja 1978 maksimin ajankohdan jälkeen ollen sulamiskauden lopussa kumpanakin vuonna sekä aukealla että metsässä  $0,30 \text{ g/cm}^3$ .

1978

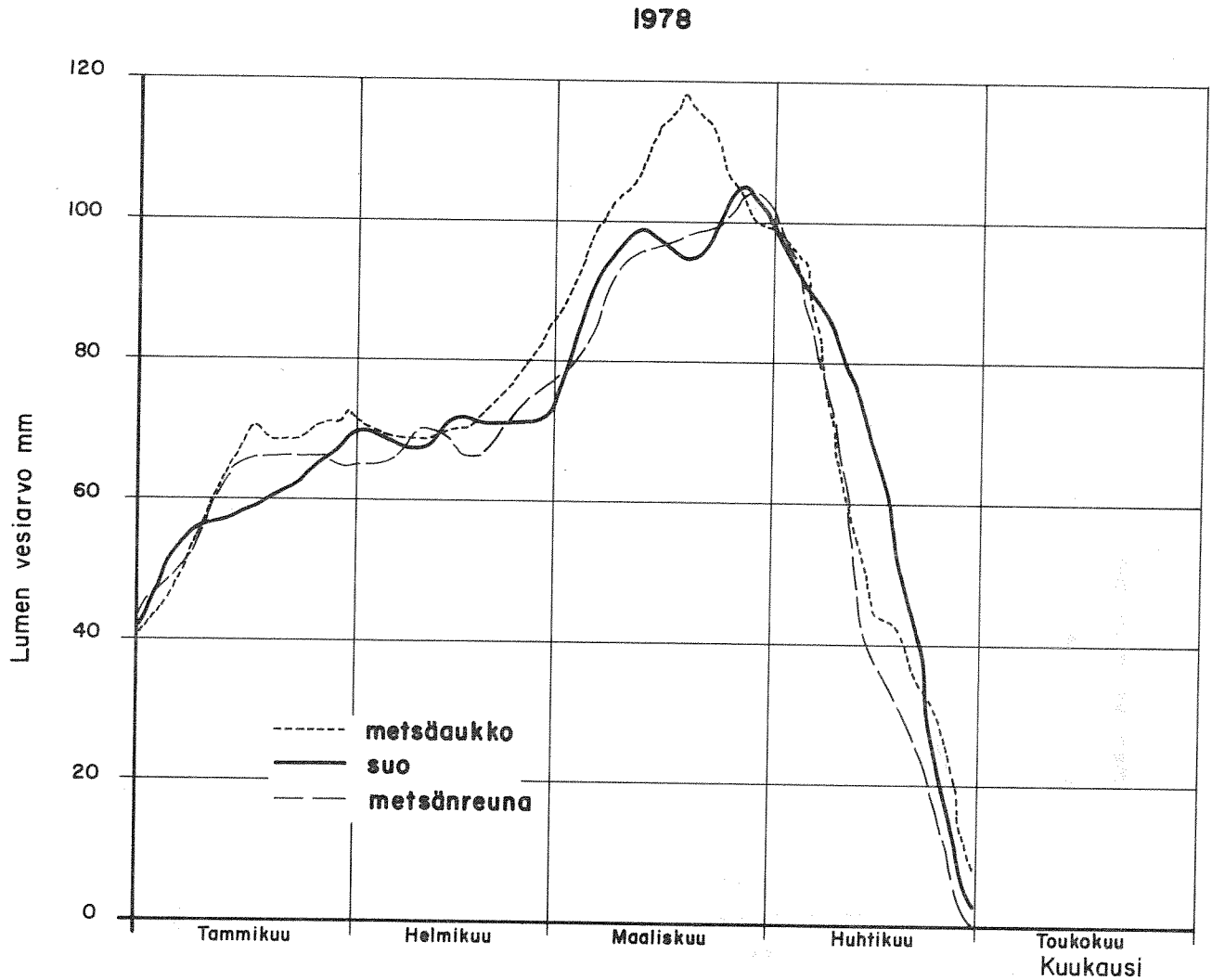


Kuva 34. Lumen vesiarvo kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1978

#### 4.12 S y v y s

Lumipeitteen syvyys oli tammikuun alussa vuonna 1978 aukealla 35 cm ja metsässä keskimäärin 28 cm. Vuonna 1979 vastaavat lukemat olivat vain runsaat puolet edellisen vuoden arvoista eli aukealla 19 cm ja metsässä 15 cm. Vuonna 1978 syvyys kasvoi tasaisesti tammi- ja helmikuun puolella välissä talven maksimiarvoonsa, joka oli aukealla 57 cm ja metsässä 50 cm. Maaliskuun alkuun syvyys pieneni hieman ja se oli tällöin 53 cm aukealla ja 46 cm metsässä. Vuonna 1977 maaliskuun alussa lunta oli aukealla 69 cm ja metsässä 61 cm.

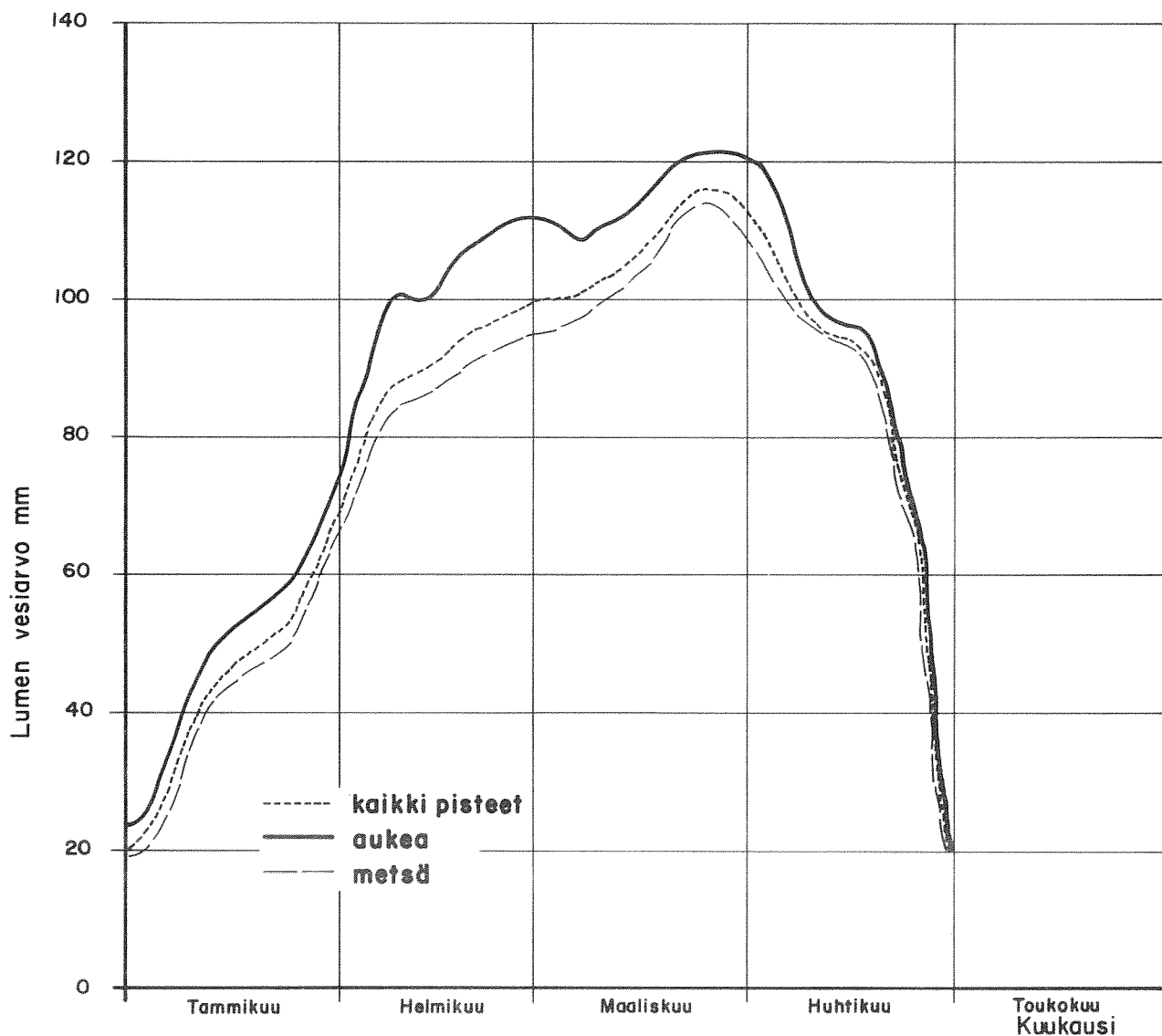




**Kuva 35. Lumen vesiarvo metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1978**

Vuonna 1977 syvyyden maksimi sattui maaliskuun ensimmäiselle viikolla. Maksimin suuruus oli aukealla 71 cm ja metsässä 64 cm. Vuonna 1978 maksimisyyvyys 51 cm aukealla ja 44 cm metsässä havaittiin maaliskuun 20 päivän vaiheilla. Lumen syvyyden maksimin ajankohta oli kaikkina havaintovuosina ennen vesiaron maksimiajankohtaa. Vuonna 1977 eroa syvyyden ja vesiaron maksimien ajankohdilla oli aukealla noin viikko ja metsässä noin kuukausi. Vastaava ero oli vuonna 1978 aukealla vajaa viikko ja metsässä runsas viikko ja vuonna 1979 noin kuukausi sekä metsässä että aukealla. Maksimi oli kaikkina vuosina aukealla 7 cm suurempi kuin metsässä.

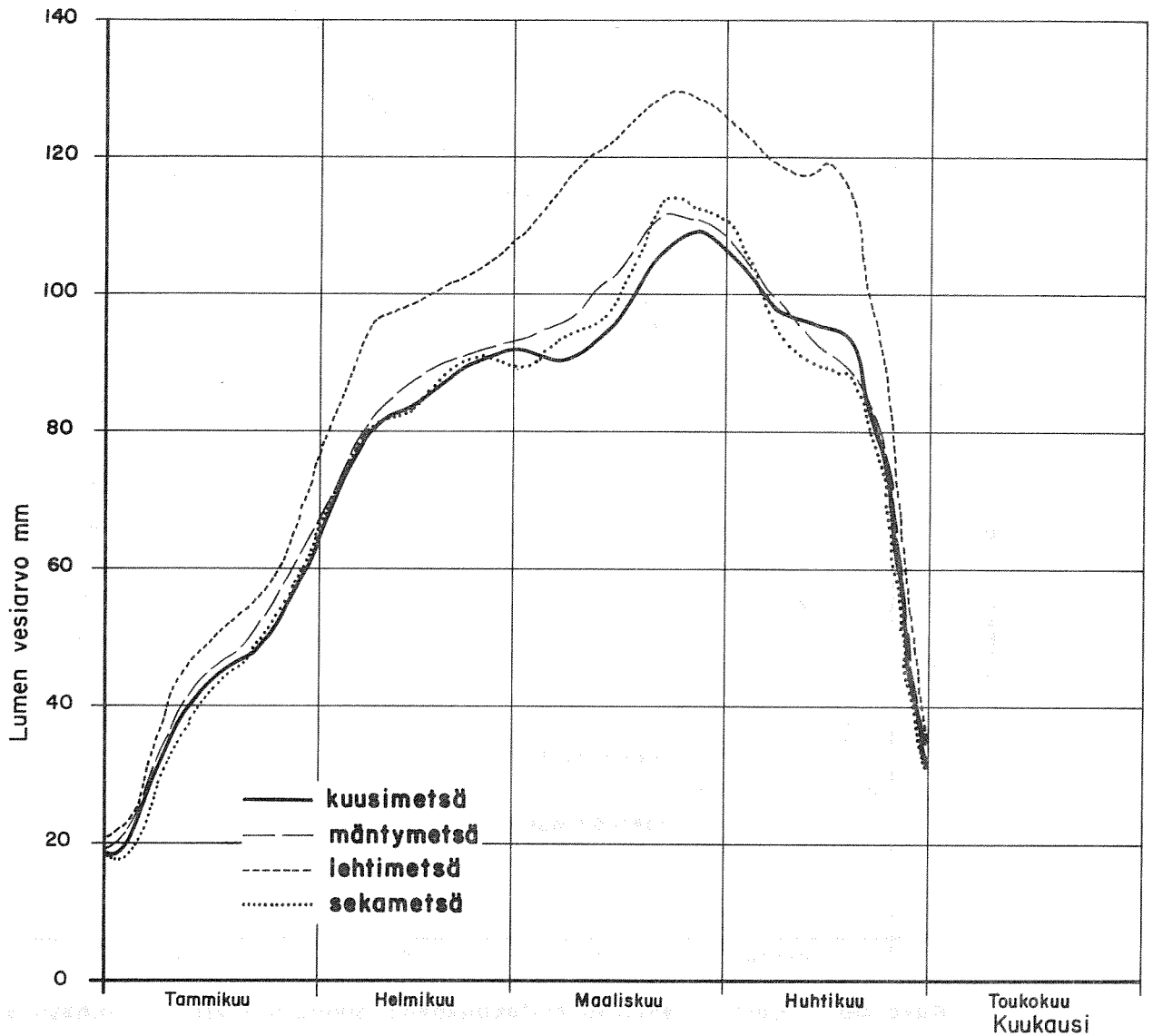
1979



Kuva 36. Lumen keskimääräinen vesiarvo Mäntyharjun reitin valuma-alueella sekä aukealla ja metsässä vuonna 1979.

Vuonna 1977 syvyys pieneni maksimiajankohdan jälkeen maaliskuun aikana nopeasti, mutta kasvoi sitten hieman aivan kuukauden lopulla ollen huhtikuun alussa aukealla 38 cm ja metsässä 40 cm. Vuonna 1978 syvyyden pieneneminen oli maksimin jälkeen tasaista. Syvyys oli huhtikuun alussa aukealla 40 cm ja metsässä 32 cm. Maaliskuussa 1979 syvyys pieneni aluksi jonkin verran ja kasvoi sitten takaisin kuukauden alun lukemiin ennen kuin alkoi pienentyä lopullisesti kuukauden puolen välin jälkeen. Huhtikuun alussa vuonna 1979 syvyys oli sekä aukealla että metsässä 40 cm.

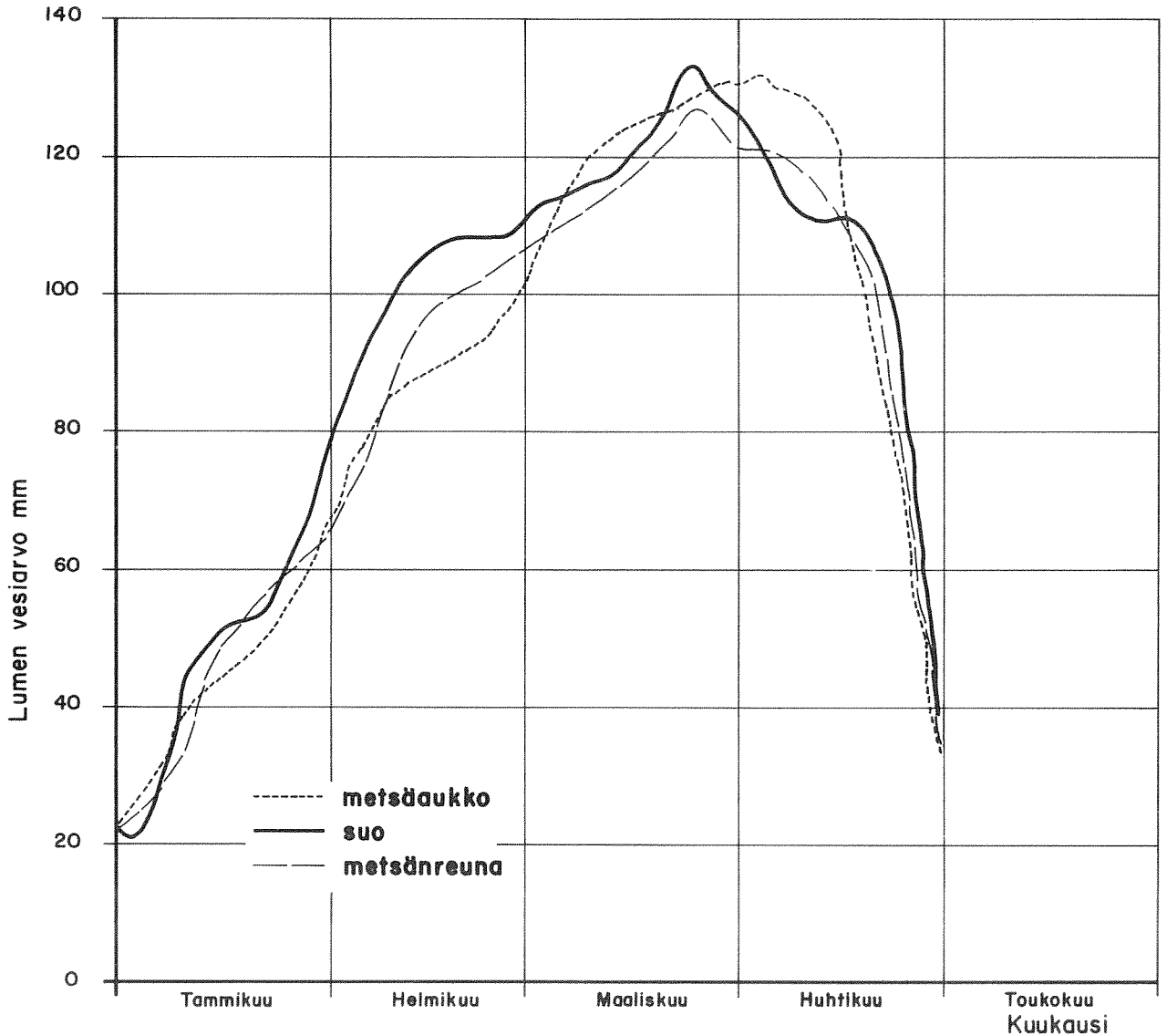
1979



Kuva 37. Lumen vesiarvo kuusi-, mänty-, lehti- ja sekametsässä vuonna 1979

Huhtikuun 1977 alkupuolella syvyys väheni keskimäärin 4 cm viikossa. Kuukauden viimeisen 10 päivän aikana pieneneminen oli nopeaa ja syvyys pieneni aukealla 30 cm:stä 3 cm:in ja metsässä 32 cm:stä 6 cm:in kuun loppuun mennessä. Vuonna 1978 pieneneminen jatkui tasaisena huhtikuun aikana. Kuukauden lopussa syvyys oli aukealla alle 1 cm ja metsässä 2 cm. Vuoden 1979 huhtikuussa syvyys pieneni aluksi, mutta kasvoi vielä hieman kuukauden puolen välin vaiheilla. Kuukauden lopussa syvyys oli huomattavasti suurempi kuin edellisinä vuosina, nimittäin aukealla 15 cm ja metsässä 21 cm.

1979



Kuva 38. Lumen vesiarvo metsäaukossa, suolla ja metsän reunassa vuonna 1979

#### 4.13 Vesiarvo

Tammikuun alussa lumen vesiarvo oli vuonna 1978 aukealla 48 mm ja metsässä 36 mm. Vuonna 1979 vastaavat lukemat olivat 24 mm ja 20 mm. Helmikuun alussa vesiarvo oli aukealla vuonna 1978 71 mm ja vuonna 1979 4 mm enemmän. Metsässä vesiarvoilla oli suurempi ero, vuonna 1978 vesiarvo oli 55 mm ja vuonna 1979 65 mm. Vuonna 1978 vesiarvon kasvu oli helmikuun aikana vähäistä. Maaliskuun alussa vesiarvo oli aukealla 82 mm ja metsässä 68 mm. Vuonna 1979 vesiarvo kasvoi jyrkästi helmikuussa

ja oli maaliskuun alussa huomattavasti suurempi kuin edellisenä vuonna, aukealla vesi-arvo oli 112 mm ja metsässä 95 mm. Maaliskuun alun vesi-arvo oli vuonna 1977 aukealla 133 mm ja metsässä 116 mm.

Vuonna 1977 vesi-arvo nousi aukealla maksimivesi-arvoonsa maaliskuun 10. päivän vaiheilla. Maksimin suuruus oli 144 mm. Vesi-arvo oli metsässä samaan aikaan 126 mm, josta se kasvoi vielä saavuttaen maksiminsa 130 mm vasta huhtikuun 10. päivän vaiheilla. Vesi-arvo oli aukealla tällöin myös 130 mm. Vuonna 1978 vesi-arvo oli aukealla maksimissa maaliskuun 20. päivän vaiheilla ja metsässä aivan maaliskuun lopussa. Maksimivesi-arvo oli aukealla 114 mm ja metsässä 97 mm. Vuonna 1979 vesi-arvon maksimisuuruus oli aukealla 121 mm ja metsässä 114 mm. Vesi-arvo pysyi aukealla maksimi-arvossaan maaliskuun 20 päivästä huhtikuun alkupäiviin. Metsässä maksimin ajankohta sattui maaliskuun 25. päivän vaiheille.

Vuonna 1977 lumen sulaminen tapahtui kahdessa vaiheessa. Maaliskuun 10. päivän vaiheilla aukealla havaitun vesi-arvon maksimin ajankohdan jälkeen vesi-arvo pieneni aukealla noin 20 mm ja metsässä 5 mm. Huhtikuun 10. päivän vaiheelle asti vesi-arvo kasvoi uudestaan saavuttaen tällöin metsässä maksiminsa. Tämän jälkeen vesi-arvo alkoi pienentyä nopeasti. Huhtikuun puolen välin jälkeen keskimääräinen sulamisnopeus oli 60 mm viikossa. Metsässä vesi-arvo saavutti aukean tason noin kolme päivää myöhemmin. Huhtikuun lopussa aukealla ei enää ollut lunta ja metsässä vesi-arvo oli noin 4 mm. Vuonna 1978 vesi-arvo pienentyi tasaisesti maksimin ajankohdan jälkeen. Huhtikuun jälkimmäisellä puoliskolla sulaminen tapahtui aukealla huomattavasti nopeammin kuin metsässä. Aukealta lumi oli hävinnyt kokonaan huhtikuun 25. päivään mennessä. Metsässä vesi-arvo oli tällöin 20 mm. Kuukauden lopussa vesi-arvo oli metsässä noin 2 mm. Vuonna 1979 sulaminen alkoi vesi-arvon maksimin jälkeen huhtikuun alussa nopeana, mutta kuukauden puolella välissä oli noin viikon jakso, jolloin sulamista ei tapahtunut lainkaan. Kuukauden loppupuolella vesi-arvo pieneni noin 35 mm viikossa ja kuukauden lopussa vesi-arvo oli vielä aukealla 20 mm ja metsässä noin 25 mm.

## 4.2 LUMEN TIHEYDEN, SYVYYDEN JA VESIARVON EROT ERI MAASTOLUOKISSA

## 4.21 T i h e y s

Myöskin lumen tiheyden eroja eri maastoluokissa on tutkittu. Suhteellinen tiheys eri luokissa on esitetty taulukossa 6. Tiheyksiä on verrattu aukealla havaittuun tiheyteen, jota on aina merkitty 100:lla. Muuten luvut on saatu laskemalla viikot-  
taisista keskiarvotiheyksistä suhteelliset kuukausikeskiarvot.

Taulukko 6. Lumen tiheys eri maastoluokissa prosentteina lumen tiheydestä aukealla

vuosi	maastoluokka	tiheys %			
		tammikuu	helmikuu	maaliskuu	huhtikuu
1977	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	-	98,0	96,6	98,0
	mäntymetsä	-	99,0	96,0	101,3
	lehtimetsä	-	96,0	95,8	97,0
	sekametsä	-	97,0	94,0	103,3
	avosuo	-	96,0	96,8	99,0
	metsäaukko	-	99,0	92,8	92,5
	metsän reuna	-	96,0	96,8	99,0
1978	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	98,8	97,8	97,4	97,8
	mäntymetsä	106,5	104,5	98,2	93,5
	lehtimetsä	99,5	95,8	96,6	98,0
	sekametsä	103,3	98,0	97,8	99,8
	avosuo	93,0	96,3	96,2	99,3
	metsäaukko	101,5	100,3	99,4	100,0
	metsän reuna	102,5	99,5	95,8	96,3
1979	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	101,0	98,5	97,2	94,3
	mäntymetsä	101,8	97,5	101,0	97,0
	lehtimetsä	98,5	98,8	101,2	96,0
	sekametsä	103,0	95,6	95,2	90,8
	avosuo	99,0	98,5	99,4	94,3
	metsäaukko	98,8	90,8	101,0	97,8
	metsän reuna	101,3	101,8	100,0	100,0
1977 - 79	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	99,9	98,1	97,1	96,7
	mäntymetsä	104,1	100,8	98,4	97,3
	lehtimetsä	99,0	97,1	97,9	97,0
	sekametsä	101,6	96,8	95,7	97,9
	avosuo	96,0	97,2	97,5	97,5
	metsäaukko	100,1	95,9	97,7	96,8
	metsän reuna	101,9	100,7	98,2	99,3

Lumen tiheydessä ei maastoluokkien välillä ollut huomattavia poikkeamia. Suurimmat erot kuukausikeskiarvoissa olivat alle 10 % luokkaa ja kaikista havaintovuosista lasketuissa keskiarvoissa alle 5 %. Maastoluokkien tiheyksien väliset erot vaihtelivat vuosittain, eikä erityisen selviä säännönmukaisuuksia ollut havaittavissa.

Tammikuussa erot olivat pienimmillään ja eri vuosina samansuuntaiset ja lähes samansuuruiset. Suolla ja lehtimetsässä tiheys oli kaikkina vuosina pienempi kuin aukealla, mutta mäntymetsässä, sekametsässä ja metsän reunassa sitä vastoin tätä suurempi. Kuusimetsässä ja metsäaukossa erojen suunnat vaihtelivat vuosittain. Helmikuusta lähtien tiheys oli aukealla suurempi kuin muissa maastoluokissa lukuunottamatta mäntymetsää ja metsän reunaa, joissa helmikuun kaikkien havaintovuosien keskiarvotiheys oli hieman suurempi kuin aukealla. Sulamisen alkamisesta aiheutunut tiheyden kasvu oli aukealla suurempi kuin muualla, joten keväällä tiheyksien erot olivat suurempia kuin keskitalvella. Muissa maastoluokissa tiheyksien keskinäiset suuruussuhteet vaihtelivat kuukausittain ja vuosittain.

#### 4.22 S y v y y s

Lumen syvyydessä erot maastoluokkien välillä olivat suurempia kuin tiheydessä. Taulukossa 7 on esitetty lumen syvyys eri maastoluokissa prosentteina lumen syvyydestä aukealla. Tulokset ovat kuukausikeskiarvoja.

Keskitalvella lumen syvyys oli suurin aukealla ja suolla. Lehtimetsässä ja metsän reunassa syvyys oli noin 5 % pienempi kuin aukealla. Aukean ero metsäaukkoon oli keskimäärin 7 %, mäntymetsään 15 %, sekametsään 20 % ja kuusimetsään 22 %. Helmikuussa erot olivat jonkin verran pienemmät kuin tammikuussa. Eri havaintovuosien suhteellisten erojen suuruudet vaihtelivat muutamia prosenttiyksikköjä.

Maaliskuussa eri maastoluokkien väliset erot lumen syvyyksissä olivat pienimmillään. Syvyys oli suolla noin 5 % suurempi kuin aukealla. Lehtimetsässä, metsän aukossa ja metsän reunassa syvyys oli likimain sama sekä mänty-, kuusi- ja sekametsässä ja noin 10 % pienempi kuin aukealla. Eri maastoluokissa havaittujen lumen syvyyksien suhteet lumen syvyyteen aukealla olivat suurimmat vuonna 1977, jolloin syvyyden absoluuttiset arvot olivat suurimmat. Vastaavasti vuonna 1978, kun lumen syvyys oli pieni, muissa maastoluokissa syvyys oli aukeaan verrattuna pieni.

Taulukko 7. Lumen syvyys eri maastoluokissa prosentteina lumen syvyydestä aukealla .

vuosi	maastoluokka	syvyys %			
		tammikuu	helmikuu	maaliskuu	huhtikuu
1977	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	-	84,0	96,4	112,0
	mäntymetsä	-	87,0	95,0	102,7
	lehtimetsä	-	96,0	107,8	121,8
	sekametsä	-	84,0	96,2	106,5
	avosuo	-	103,0	106,8	114,3
	metsäaukko	-	95,0	107,6	125,8
	metsän reuna	-	93,0	101,6	110,3
1978	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	77,5	78,0	81,0	159,8
	mäntymetsä	87,0	88,3	87,2	118,5
	lehtimetsä	93,3	95,0	95,4	189,0
	sekametsä	79,5	80,8	83,6	164,5
	avosuo	100,8	101,5	103,4	186,8
	metsäaukko	94,0	95,3	98,0	213,0
	metsän reuna	92,3	91,8	94,0	136,0
1979	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	75,3	85,0	88,6	113,5
	mäntymetsä	82,5	87,3	88,4	101,8
	lehtimetsä	97,5	95,8	102,2	132,3
	sekametsä	81,3	87,0	91,4	116,5
	avosuo	99,0	102,5	105,4	136,3
	metsäaukko	90,0	93,3	95,8	121,5
	metsän reuna	98,3	94,5	100,8	116,3
1977- 1979	aukea	100	100	100	100
kuusimetsä	76,4	81,8	88,7	128,4	
mäntymetsä	84,8	87,7	90,2	108,1	
lehtimetsä	95,4	95,4	101,8	147,7	
sekametsä	80,4	83,9	90,4	129,2	
avosuo	99,9	102,1	105,2	145,8	
metsäaukko	92,0	94,3	100,5	153,4	
metsän reuna	95,5	93,1	98,6	120,8	



Syvyyden pieneneminen tapahtui aukealla aikaisemmin kuin muissa maastoluokissa. Huhtikuun keskiarvosyvyys olikin aukealla kaikkina vuosina pienempi kuin muissa luokissa. Lehtimetsässä, metsäaukossa ja suolla syvyys oli kaikkien havaintovuosien keskiarvona noin 50 % suurempi kuin aukealla. Kuusi- ja sekametsässä syvyyden ero aukean lumen syvyyteen oli noin 30 %, metsän reunassa 20 % ja mäntymetsässä 10 %. Vuonna 1978 erot olivat huomattavasti suuremmat kuin muina vuosina, koska huhtikuun lopussa lumi sulii aukealta selvästi aikaisemmin kuin muualta. Metsäaukossa sekä mänty- ja kuusimetsässä erot aukeaan olivat vuosina 1977 ja 1979 suunnilleen yhtä suuret. Metsän reunassa ero oli noin 5 prosenttiyksikköä, lehti- ja sekametsässä noin 10 prosenttiyksikköä ja suolla noin 20 prosenttiyksikköä suurempi vuonna 1979 kuin vuonna 1977.

#### 4.23 V e s i a r v o

Lumen vesi-arvoja eri maastoluokissa on verrattu vesi-arvoon aukealla taulukossa 8. Vesi-arvokäyristä on laskettu viikon välein suhdeluvut, joista on edelleen laskettu kuukausikeskiarvot. Vuoden 1978 huhtikuun keskiarvoista on jätetty pois viimeisen viikon äärettömän suuret arvot, jotka johtuvat siitä, että aukealla ei ollut enää lunta ko. vertailupäivänä.

Tammikuussa vesi-arvo oli suurin aukealla. Suolla vesi-arvo oli 3 %, lehtimetsässä, metsän reunassa ja metsäaukossa 6 %, mäntymetsässä 10 % sekä kuusi- ja sekametsässä noin 20 % pienempi kuin aukealla kaikkien havaintovuosien keskiarvona. Helmikuussa erot aukeaan olivat hieman suuremmat kuin tammikuussa lukuunottamatta suota sekä kuusi- ja sekametsää. Helmikuussa 1978 oli vesi-arvo kuusimetsässä suhteessa aukean vesi-arvoon selvästi pienempi kuin muina vuosina. Mäntymetsässä ja metsäaukossa sitä vastoin vuoden 1978 tammi- ja helmikuun vesi-arvot olivat suhteessa suuremmat kuin vuosina 1977 ja 1979. Muissa maastoluokissa vesi-arvot verrattuna aukean vesi-arvoon eivät vaihdelleet huomattavasti eri vuosina.

Maaliskuussa erot aukean ja muiden maastoluokkien vesi-arvojen välillä olivat pienemmät kuin keskitalvella. Metsäaukossa maaliskuun vesi-arvo oli kaikkina havaintovuosina suurempi kuin aukealla. Lehtimetsässä, metsän reunassa ja suolla vesi-arvo oli vuonna 1978 keskimäärin 7 % pienempi kuin aukealla, mutta muina vuosina hieman tätä suurempi. Kuusi-, seka- ja mäntymetsässä vesi-arvo oli maaliskuussa runsaat 10 % pienempi kuin aukealla kaikkien vuosien keskiarvona. Näissä luokissa ero aukeaan oli suurin vuonna 1978 ja pienin vuonna 1977.

Taulukko 8. Lumen vesi-arvo eri maastoluokissa prosentteina lumen vesi-arvosta aukealla.

vuosi	maastoluokka	vesiarvo %			
		tammikuu	helmikuu	maaliskuu	huhtikuu
1977	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	-	85,0	92,6	108,8
	mäntymetsä	-	85,0	91,4	104,3
	lehtimetsä	-	95,0	104,2	133,0
	sekametsä	-	83,0	89,8	107,0
	avosuo	-	95,0	103,6	114,8
	metsäaukko	-	89,0	102,2	117,0
	metsän reuna	-	93,0	100,8	112,3
1978	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	77,5	76,0	80,4	87,5
	mäntymetsä	91,8	89,0	87,4	96,5
	lehtimetsä	94,8	92,0	93,6	116,5
	sekametsä	80,3	80,8	83,0	99,5
	avosuo	98,0	96,0	91,6	104,8
	metsäaukko	98,0	97,3	101,4	114,0
	metsän reuna	94,0	93,0	92,6	106,5
1979	aukea	100	100	100	100
	kuusimetsä	80,8	81,3	85,0	93,8
	mäntymetsä	84,8	83,8	88,8	96,5
	lehtimetsä	94,0	95,3	103,8	113,8
	sekametsä	78,5	81,3	87,0	92,3
	avosuo	96,0	101,0	104,8	111,8
	metsäaukko	91,0	85,3	104,2	110,0
	metsän reuna	93,8	89,8	101,4	107,8
1977 - 1979	aukea	100	100	100	100
kuusimetsä	79,1	79,3	86,0	96,7	
mäntymetsä	88,3	86,2	89,2	99,1	
lehtimetsä	94,4	93,8	100,5	122,0	
sekametsä	79,4	81,2	86,6	99,6	
avosuo	97,0	97,6	100,0	116,5	
metsäaukko	94,5	91,0	102,6	113,2	
metsän reuna	93,9	91,6	98,3	109,0	

Huhtikuussa vesi-arvo oli lehtimetsässä noin 20 %, metsäaukossa ja suolla noin 15 % sekä metsän reunassa noin 10 % suurempi kuin aukealla. Mänty- ja sekametsässä vesi-arvo oli likimain sama ja kuusimetsässä noin 3 % pienempi kuin aukealla kaikkien havaintovuosien keskiarvoina. Vuoden 1977 huhtikuussa vesi-arvo oli kaikissa maastoluokissa suurempi kuin aukealla. Vuosien 1978 ja 1979 suhteellisissa arvioissa oli huomattavia eroja kuusi- ja sekametsän sekä suon osalla. Suolla huhtikuun 1978 vesi-arvo oli suhteessa aukeaan noin 15 prosenttiyksikköä suurempi kuin vuosina 1977 ja 1979. Sekametsässä oli ero aukeaan noin 6 prosenttiyksikköä suurempi vuonna 1978 kuin vuonna 1979. Kuusimetsässä ero oli sen sijaan vuonna 1978 noin 6 prosenttiyksikköä pienempi kuin vuonna 1979.

Taulukossa 9 on esitetty lumen vesi-arvon maksimit eri maastoluokissa. Vesi-arvon maksimien ajankohdissa eri luokissa ei ollut selviä eroja paitsi vuonna 1977, jolloin aukealla maksimin ajankohta oli lähes kuukautta aikaisemmin kuin muissa luokissa. Vesi-arvon maksimi oli kaikkina havaintovuosina suurin metsäaukossa. Pienin maksimi oli kuusimetsässä lukuunottamatta vuotta 1977, jolloin mäntymetsässä maksimi oli yhden prosenttiyksikön pienempi kuin kuusimetsässä. Vuonna 1979 olivat eri luokkien maksimivesi-arvot suhteessa aukean vesi-arvon maksimiin huomattavasti suuremmat kuin muina vuosina. Silloin ainoastaan kuusi- ja sekametsässä maksimi oli pienempi kuin aukealla. Muina vuosina vain metsäaukossa maksimivesi-arvo oli suurempi kuin aukealla.

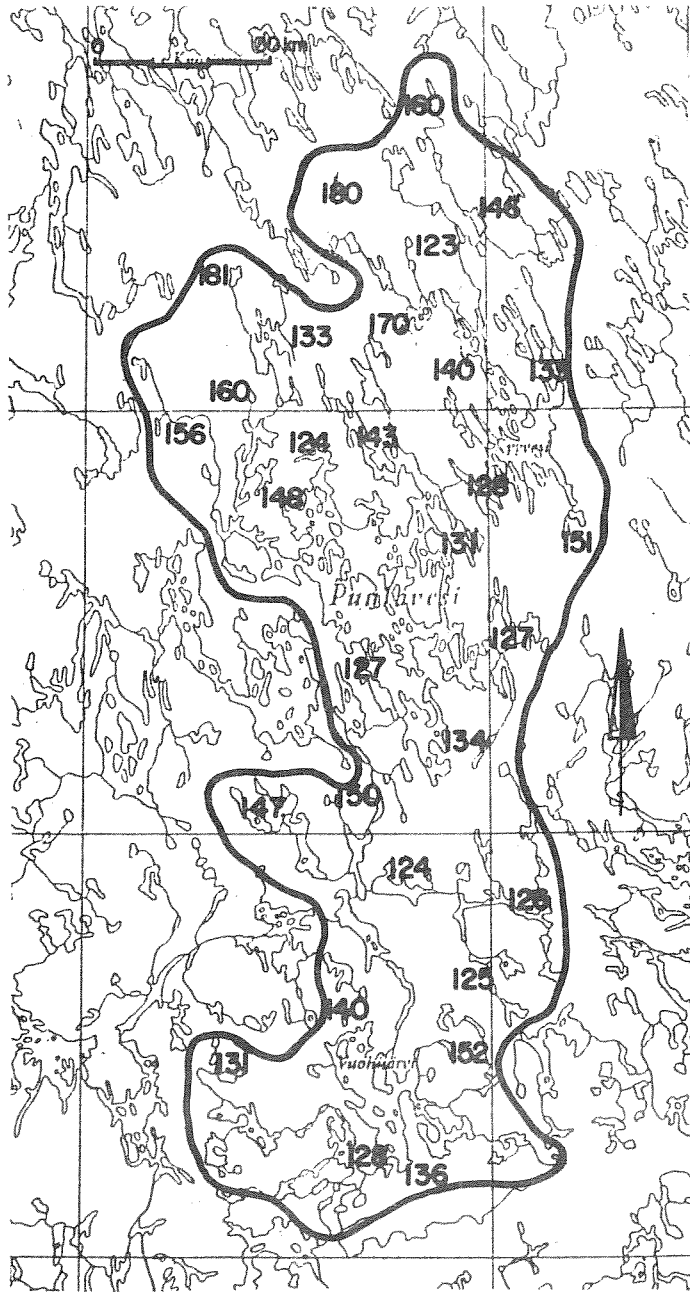
Taulukko 9. Lumen vesi-arvon maksimit eri maastoluokissa

maastoluokka	vesi-arvo					
	vuosi	1977		1978		1979
	mm	%	mm	%	mm	
aukea	144	100	114	100	121	100
kuusimetsä	128	88	87	76	109	90
mäntymetsä	126	87	100	87	122	100
lehtimetsä	143	99	105	92	129	106
sekametsä	129	89	97	85	114	94
avosuo	149	103	118	103	132	109
metsäaukko	137	95	104	91	126	104
metsän reuna	146	101	105	92	133	109

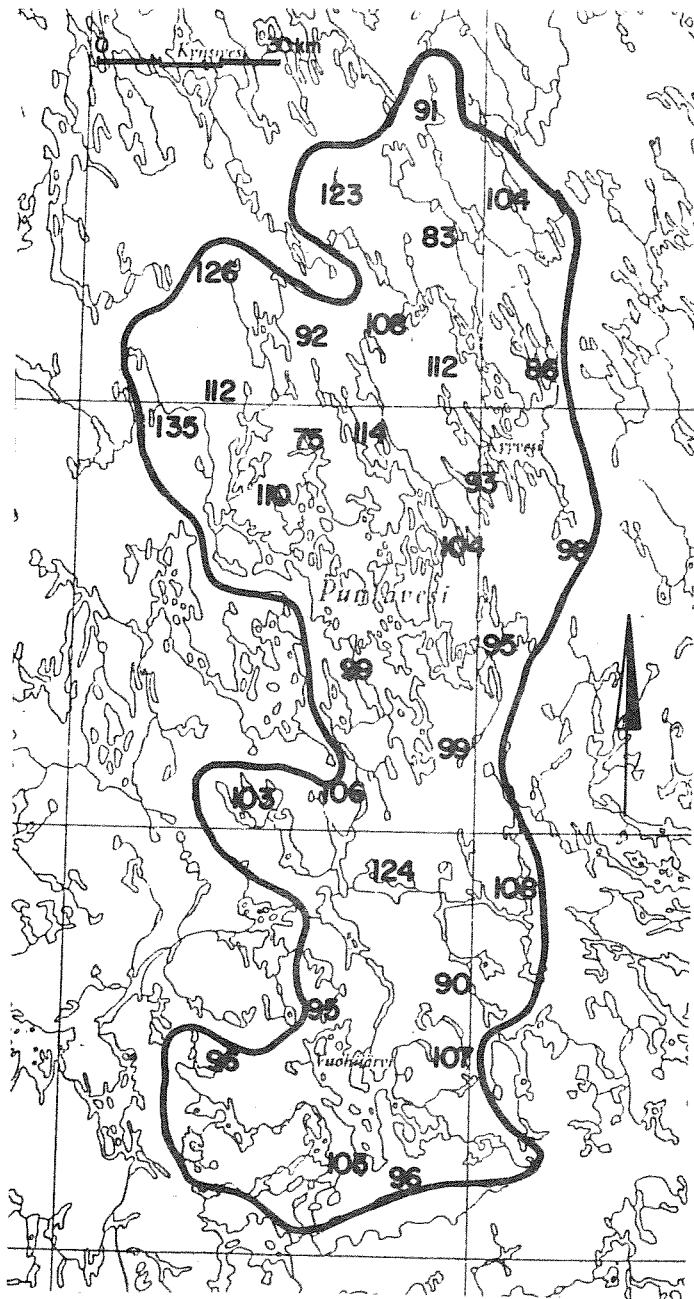
#### 4,3 ALUEELLISET EROT LUMEN VESIARVOSSA

Kuvissa 39 - 41 on esitetty linjakohtaiset vesi-arvon maksimit ero vuosina. Maksimit kuvaavat lumen kokonaismäärän jakaantumista tutkimusalueella. Maastoluokan ja lumilinjan sijainnin vaikutusta vesi-arvoon on vaikea erottaa toisistaan, koska osalla linjoista oli yhden maastotyyppin pisteitä niin paljon, että ko. maastoluokan vaikutus linjan keskimääräiseen vesi-arvoon oli ilmeinen.

Eniten lunta oli tutkimusalueen luoteisosassa, missä vesi-arvo oli paikoin 40 % suurempi kuin alueen koillisosassa, vaikka suurimmat etäisyydet linjojen välillä olivat vain 60 km. Pohjois-eteläsuunnassa alueen pituus oli noin 180 km. Eteläosassa vesi-arvo oli likimain yhtä suuri kuin koillisosan linjoilla. Välittömästi Puulaveden eteläpuolella lunta oli jonkin verran vähemmän kuin aivan eteläisimmässä osassa.



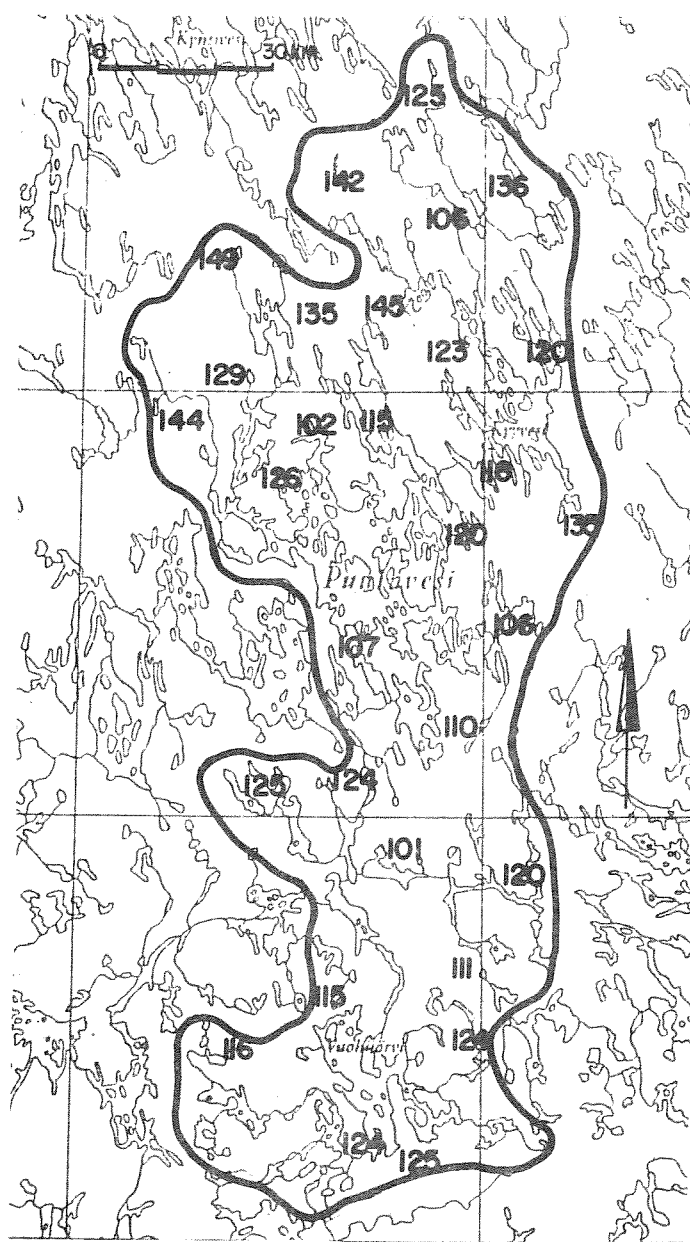
**Kuva 39.** Lumen vesiarvon maksimi (mm) havaintolinjoilla vuonna 1977 Mäntyharjun reitin valuma-alueella.



Kuva 40. Lumen vesiarvon maksimi (mm) havaintolinjoilla vuonna 1978 Mäntyharjun reitin valuma-alueella.



Edellä esitetyt alueelliset vaihtelut lumen vesi-arvon maksimissa voitiin havaita kaikkina vuosina. Maksimien ajankohdat linjoilla vaihtelivat jonkin verran. Pohjoisosan linjoilla vesi-arvo oli vasta maksimissa, kun sulaminen etelässä oli jo melko pitkällä. Vuonna 1977 eteläosan linjoilla maksimin ajankohta oli keskimäärin 2 viikkoa aikaisemmin kuin pohjoisosassa. Vuonna 1978 maksimin ajankohdilla linjoissa ei ollut huomattavia eroja, mutta pohjoisosassa sulaminen oli aluksi hitaampaa kuin eteläosassa. Vuonna 1979 vesi-arvon maksimi oli eteläosassa noin viikkoa aikaisemmin kuin pohjoisosassa. Vesi-arvon alueellinen jakaantuminen tiettyinä ajankohtina vaihteli siis vuosittain samoin kuin jakaantuminen yksittäisinä talvina poikesei eri ajankohtina vesi-arvon maksimin jakaantumisesta.



Kuva 41. Lumen vesi-arvon maksimi (mm) havaintolinjoilla vuonna 1979 Mäntyharjun reitin valuma-alueella.

## 5 LUMEN ALUEVESIARVO

## 5.1 HAVAINTOVERKON TIHEYDEN VAIKUTUS LUMEN VESIARVON TARKKUUTEEN

Havaintolinjoista valittiin 5, 10, 15 ja 20 linjan ryhmät, joiden mittaustuloksista laskettiin keskimääräiset vesi-arvot. Linjat pyrittiin valitsemaan siten, että havaintoverkko tiheni tasaisesti linjojen lukumäärän kasvaessa. Linjaryhmien viikottaisia vesi-arvoja verrattiin koko aineiston vastaaviin arvoihin. Ryhmien maastoluokkajakautumat on esitetty taulukossa 10. Eri ryhmiin kuuluvien linjojen numerot selviävät seuraavasta jaotelmasta:

linjojen lukumäärä	linjojen numerot
5	2, 8, 12, 24 ja 26
10	edelliset sekä 4, 20, 21, 26 ja 27
15	edelliset sekä 7, 11, 13, 17, 23 ja 25
20	edelliset sekä 3, 5, 9, 29 ja 30

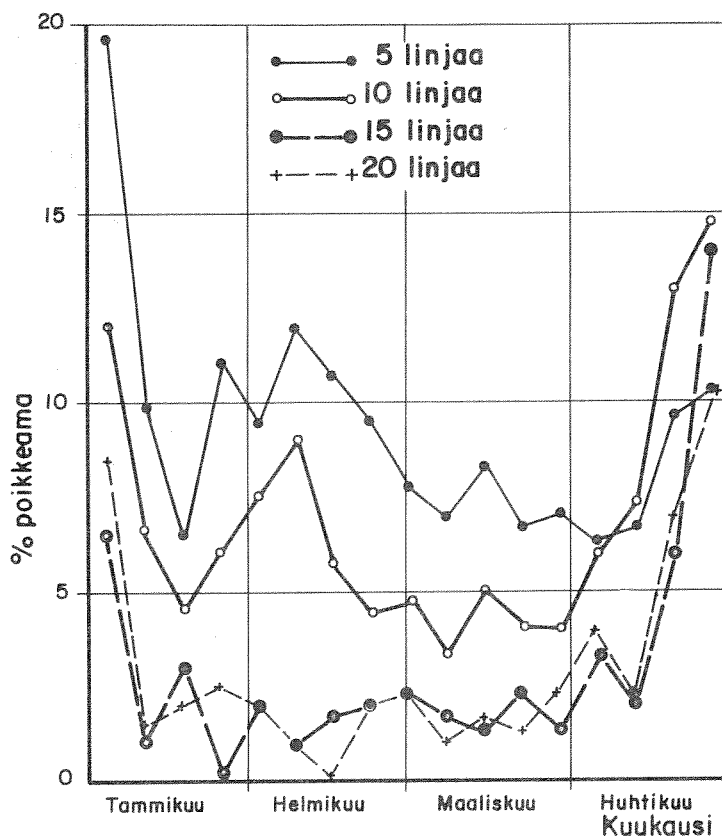
Taulukko 10. Linjaryhmien maastoluokkajakautumat Mäntyharjun reitin valuma-alueella.

maastoluokka	linjojen lukumäärä				
	5	10	15	20	30
	%	%	%	%	%
aukea	6	20	21	18	18
kuusimetsä	33	24	26	30	27
mäntymetsä	28	24	18	18	15
lehtimetsä	7	11	13	13	15
sekametsä	10	7	7	6	7
avosuo	4	3	2	2	5
metsäaukko	4	4	4	5	5
metsän reuna	8	7	9	8	8
Yhteensä	100	100	100	100	100

Linjaryhmien keskimääräiset viikottaiset poikkeamat koko aineiston keskiarvosta on esitetty kuvassa 42. Poikkeamien suuruuksissa oli vaihteluja vuosittain ja myös talven kuluessa. Suurimmillaan poikkeamat olivat tammikuun alussa ja sulamiskaudella. Varsinkin vuoden 1979 alussa, jolloin vesi-arvo oli normaalia pienempi, olivat poikkeamat huomattavan suuria. Vuonna 1978 viiden ja kymmenen linjan ryhmissä poikkeamat olivat suurempia kuin muina vuosina.



Vuonna 1979 puolestaan 15 ja 20 linjan vesi-arvot poikkiesivat keskimäärin enemmän koko aineiston vesi-arvosta kuin muina vuosina. Se johtuu tammikuun alun suurista vesi-arvojen vaihteluista.

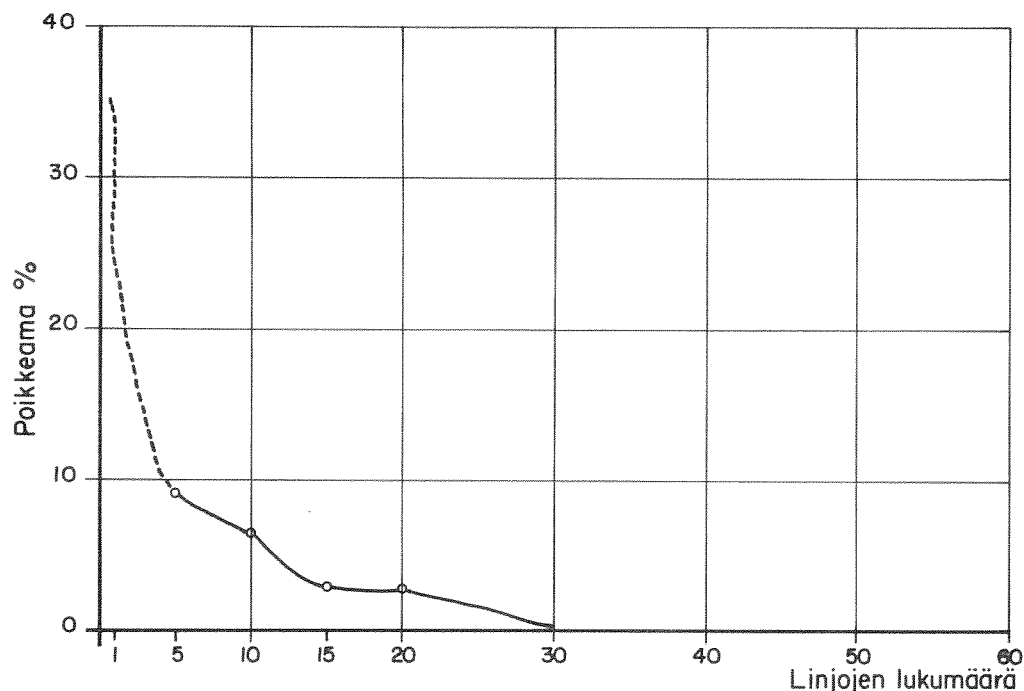


Kuva 42. Viikottaiset poikkeamat keskimääräisestä vesi-arvosta vuosina 1977-79 Mäntyharjun reitin valuma-alueella.

Kuvassa 43 on esitetty vesi-arvon poikkeama 30 havaintolinjan eli koko aineiston vesi-arvosta havaintolinjojen lukumäärän funktiona. Viiden linjan vesi-arvo poikkiesi keskimäärin 9 % koko aineiston vesi-arvosta. Linjojen lukumäärän kaksinkertaistaminen pienensi poikkeamaa 7 prosenttiin. 15 ja 20 linjan vesi-arvojen keskimääräiset poikkeamat koko aineiston keskiarvosta olivat 3 %.

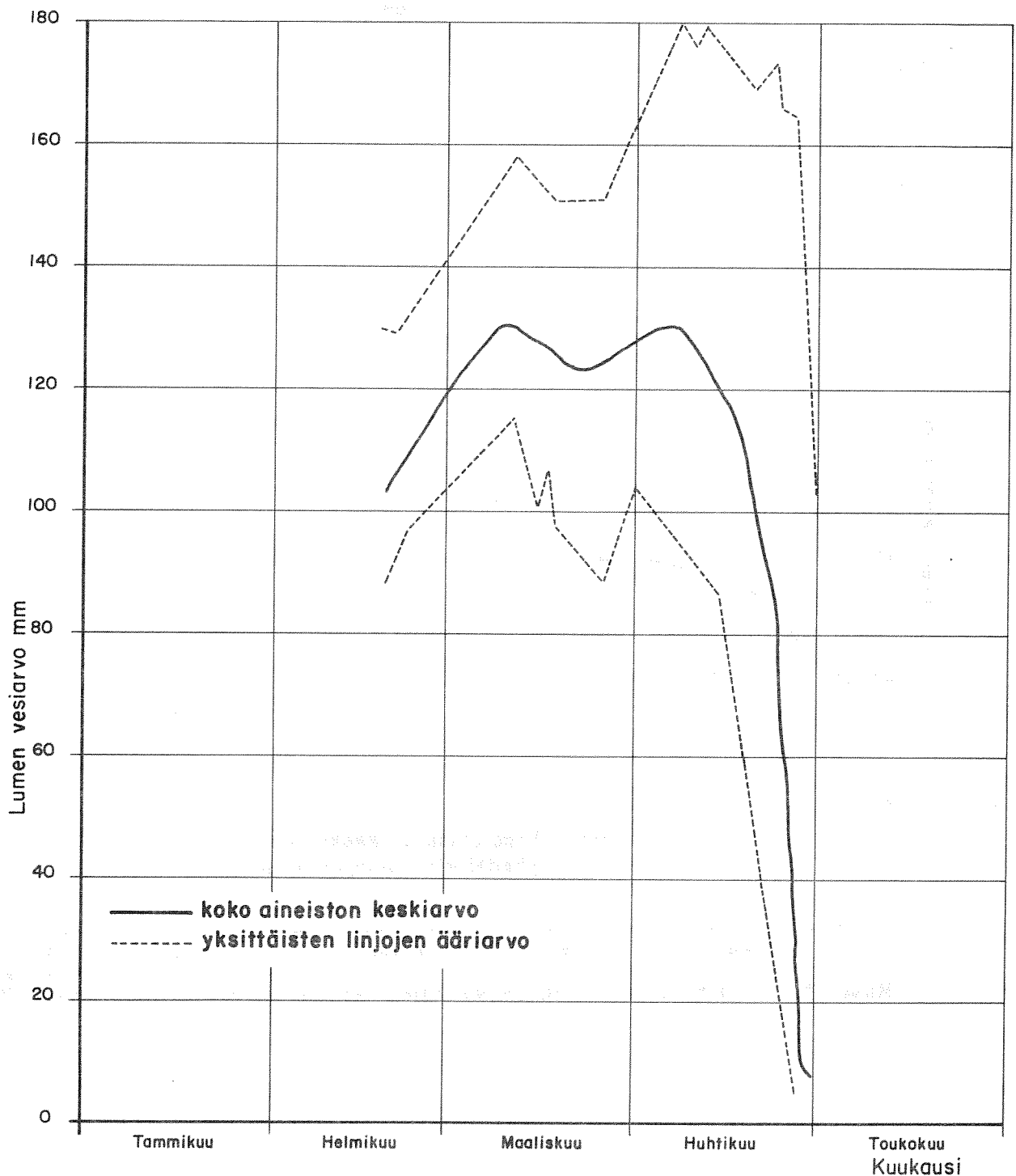
Havaintolinjojen lukumäärän lisääminen näyttää parantavan tulosten luotettavuutta varsinkin silloin, kun vesiarvo on pieni. Viidentoista linjan vesiarvo vastasi 95 %:n luotettavuustasolla kaikkina ajankohtina koko aineiston keskiarvoa. Vielä viidelläkin linjalla olisi useimmissa tapauksissa päästy tyydyttävään tulokseen.

Yksittäisten havaintolinjojen lumen vesiarvojen poikkeamat keskimääräisestä vesiarvosta vaihtelivat suuresti. Kuvissa 44 - 46 on esitetty yksittäisten linjojen suurimmista ja pienimmistä vesiarvoista piirretyt ääriarvokäyrät eri vuosina. Kaikkien havaintolinjojen vesiarvot ovat siis näiden rajojen välissä. Vesiarvon vaihteluväli oli vuosina 1978 ja 1979 ennen sulamiskautta 50 % keskimääräisestä vesiarvosta ja sulamiskautena huomattavasti suurempi. Vuonna 1977 vaihteluväli oli ennen sulamiskautta keskimäärin 45 %. Suurimmat poikkeamat keskiarvosta pienempään tai suurempaan suuntaan ennen sulamiskautta olivat noin 40 %, jota voidaan siten pitää yhden satunnaisesti valitun mittauslinjan enimmäispoikkeamana.



**Kuva 43.** Lumen vesiarvon tarkkuus mittauslinjojen lukumäärän funktiona Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1977-79.

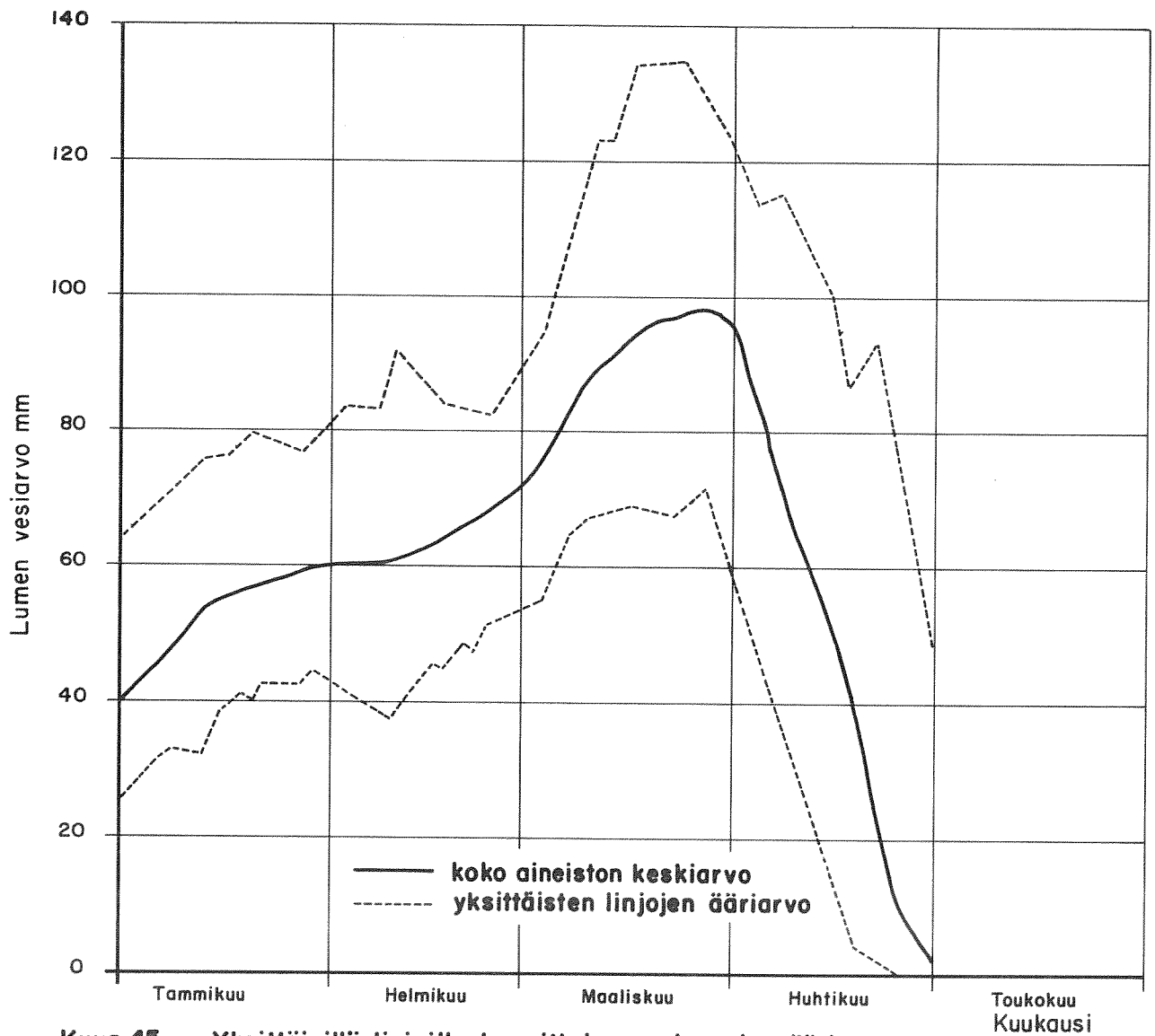
1977



Kuva 44. Yksittäisillä linjoilla havaittujen vesiarvojen ääriarvot vuonna 1977

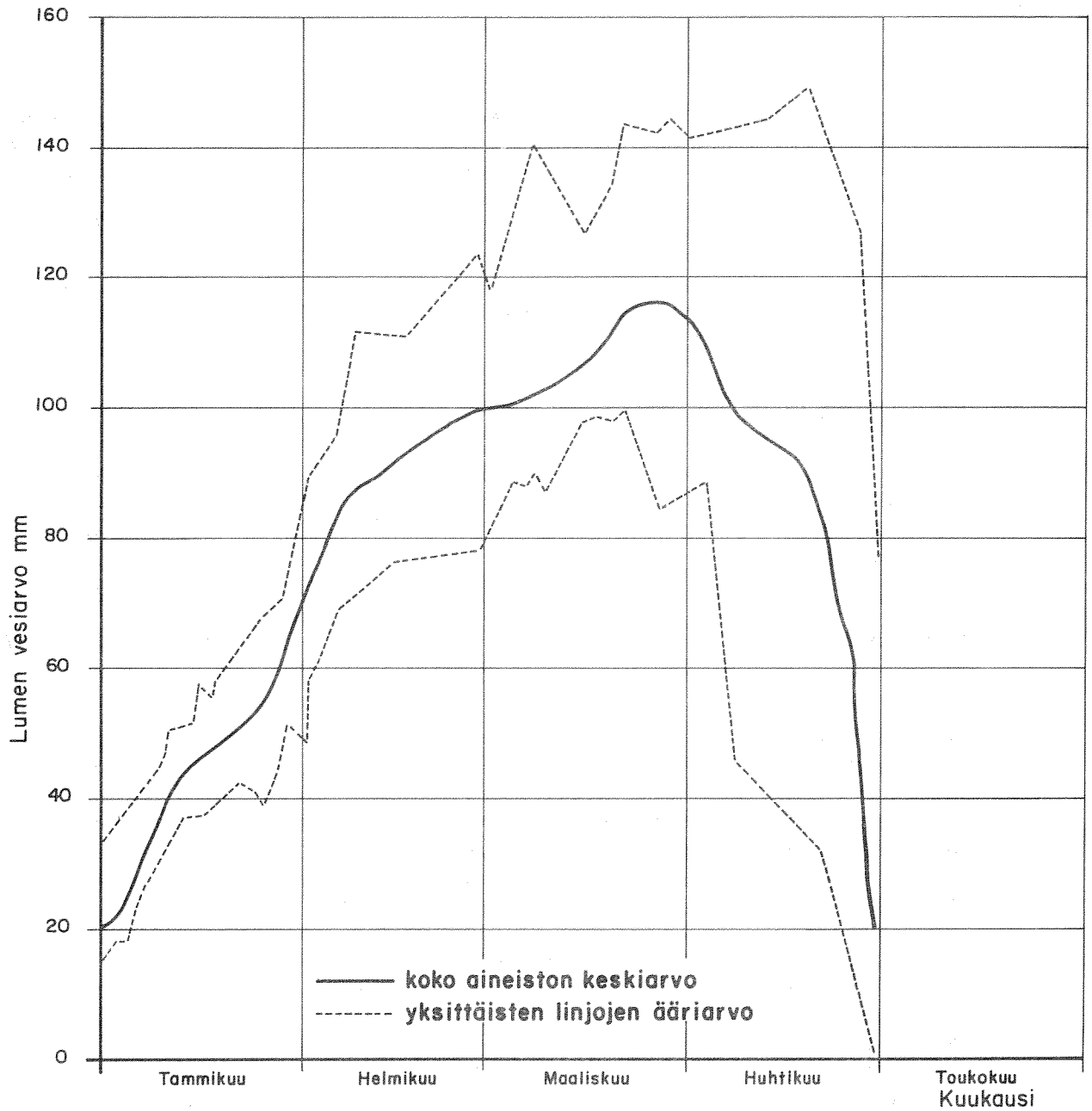
Yksittäisistä havaintolinjoista tarkasteltiin vielä niitä linjoja, joilla vesiarvon maksimi vastasi parhaiten keskimääräistä vesiarvon maksimia. Linjoilla 3, 10, 11, 14 ja 27 vesiarvon maksimi poikkesi alle 4 % koko aineiston maksimista. Näiden linjojen viikottaisten vesiarvojen ja koko aineiston vesiarvojen väliset korrelaatiokertoimet on esitetty taulukossa 11. Koko aineistoa vastasivat parhaiten linjat 11, 14 ja 27, joilla korrelaatiokertoimen keskiarvo oli 0,96. Linjoilla 11 ja 27 kerroin oli kaikkina vuosina vähintään 0,95.

1978



Kuva 45. Yksittäisillä linjoilla havaittujen vesiarvojen ääriarvot vuonna 1978

1979



Kuva 46. Yksittäisillä linjoilla havaittujen vesiarvojen ääriarvot vuonna 1979

Taulukko 11. Parhaiten koko aineistoa vastanneiden linjojen ja koko aineiston vesiarvojen väliset korrelaatiokerroimet.

linja	1977	1978	1979	1977 - 79
3	0,97	0,98	0,86	0,94
10	0,75	0,95	0,91	0,87
11	0,95	0,95	0,97	0,96
14	0,99	0,98	0,90	0,96
27	0,95	0,98	0,96	0,96

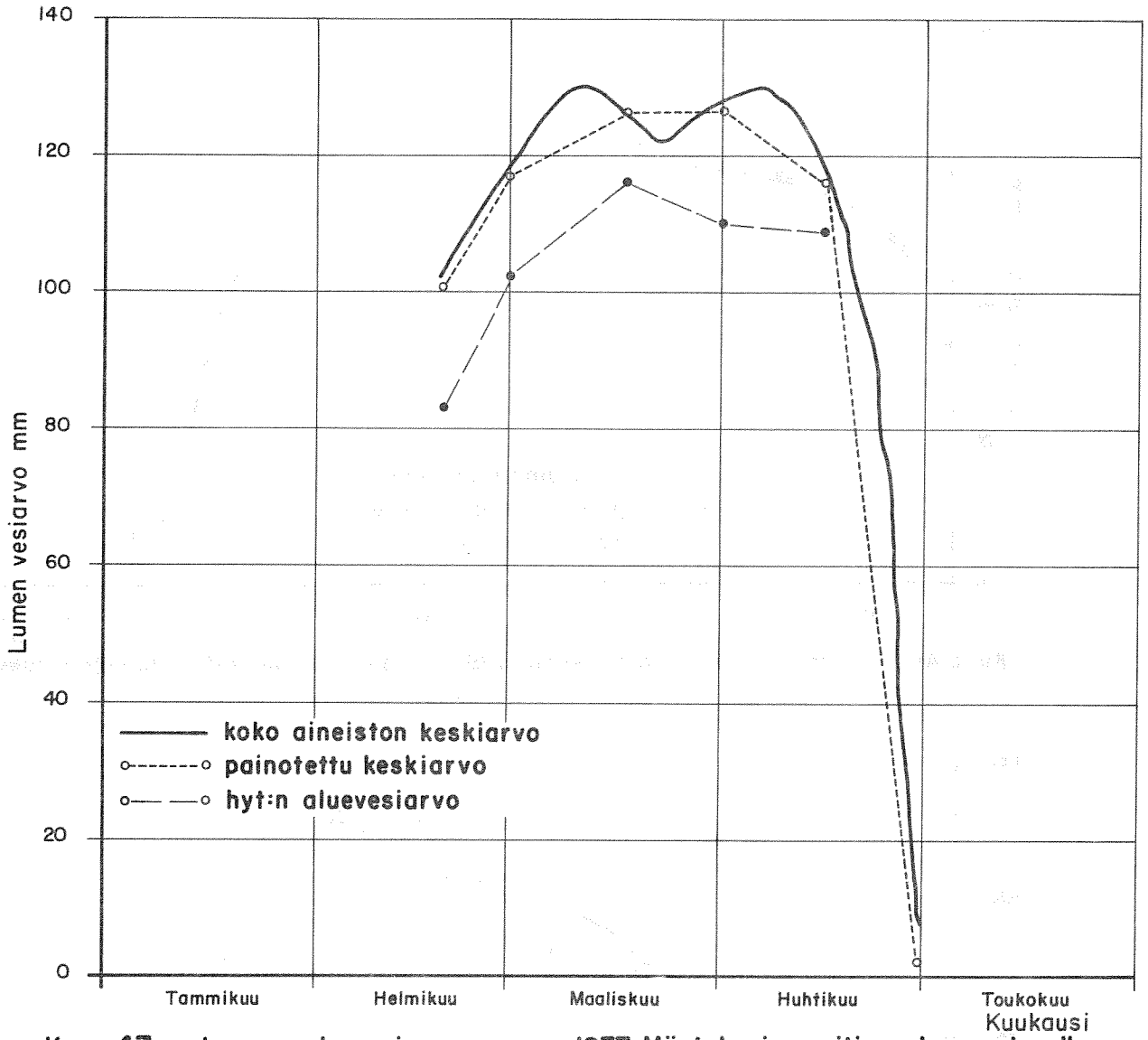
## 5.2 ALUEVESIARVON MÄÄRITYS

Laskettaessa aluevesiarvoa Mäntyharjun reitin valuma-alueelle on käytetty hyväksi edellä esitettyjä eri maastoluokkien vesi-arvoja. Aluevesiarvo on laskettu maastoluokkien vesi-arvoista painotettuna keskiarvona. Painoarvoina on käytetty maastoluokkien osuuksia alueen pinta-alasta. Painoarvoina on käytetty maastoluokkien osuuksia alueen pinta-alasta. Tulokset eivät ole kovin luotettavia, koska maastoluokkien osuudet ovat hyvin karkeita arvioita. Seuraavassa on esimerkkinä laskettu aluevesiarvo 1.3.1978.

maastoluokka	osuus %	vesiarvo mm	osuus x vesi-arvo
aukea	20	82	1640
kuusimetsä	32	65	2080
mäntymetsä	36	75	2700
lehtimetsä	12	80	960
Yhteensä	100		7380/100=74 mm

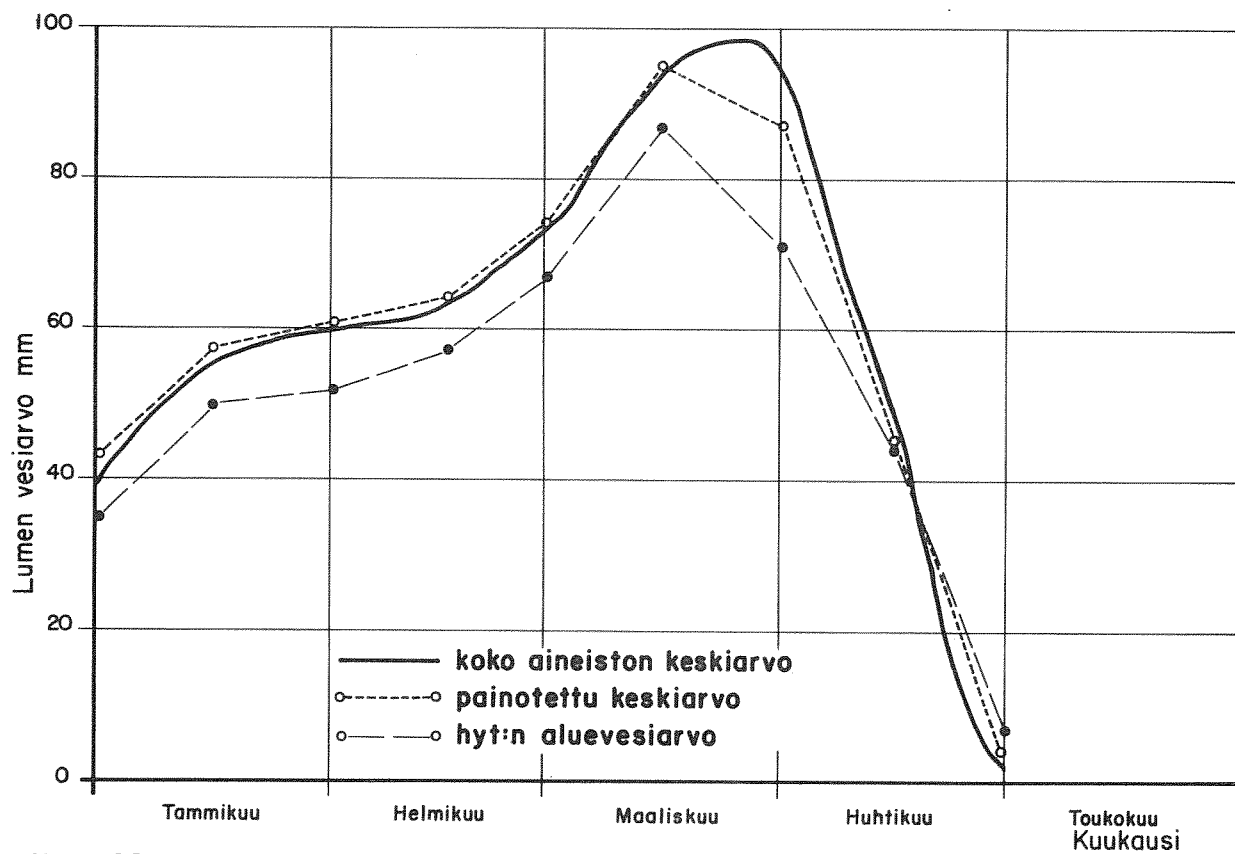
Kuvissa 47 - 49 on esitetty painotettuna keskiarvona laskettu aluevesiarvo, koko aineistosta laskettu vesi-arvo ja hydrologian toimistossa laskettu aluevesiarvo eri vuosina. Maastoluokkien suhteessa painotettu keskiarvo ei poikennut merkittävästi koko aineiston keskimääräisestä vesi-arvosta, jota voidaan siten pitää edustavana aluevesiarvona. Hydrologian toimiston aluevesiarvot sen sijaan erosivat jonkin verran tämän tutkimuksen aineistosta lasketuista vesi-arvoista. Hydrologian toimiston arvot olivat tammi-maaliskuussa vuonna 1977 noin 20 mm ja vuonna 1978 noin 10 mm pienempiä kuin tämän tutkimuksen arvot. Sulamiskauden aikana erot olivat pienempiä. Vuonna 1979 puolestaan tammi-maaliskuussa hydrologian toimiston ja tämän tutkimuksen arvot olivat lähes samansuuruiset, mutta sulamiskaudella hydrologian toimiston arvot olivat 20 - 30 mm pienempiä.

1977



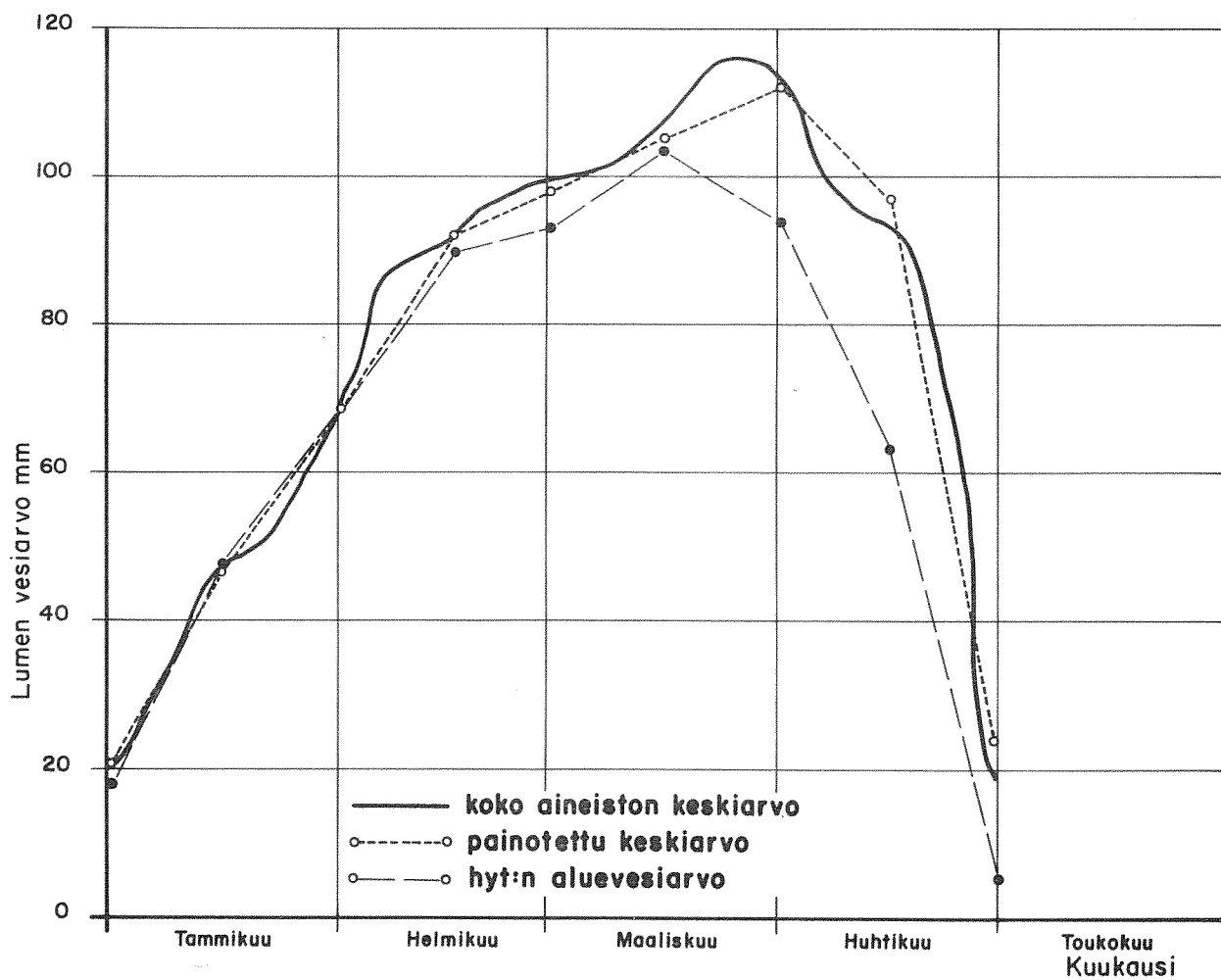
Kuva 47. Lumen aluevesiarvo vuonna 1977 Mäntyharjun reitin valuma-alueella.

1978



Kuva 48. Lumen aluevesiarvo vuonna 1978 Mäntyharjun reitin valuma-alueella.

1979



Kuva 49. Lumen aluevesiarvo vuonna 1979 Mäntyharjun reitin valuma-alueella.



## 6 T U L O S T E N T A R K A S T E L U A

Edellä on tarkasteltu lumen tiheyttä, syvyyttä ja vesi-arvoa Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1977 - 79. Kolme vuotta on liian lyhyt aika hydrologisten säännönmukaisuuksien selvittämiseen, mutta joitakin päätelmiä edellä esitetyn peruseella voidaan kuitenkin tehdä. Tulokset kuvaavat ennen kaikkea tutkimusalueen lumisuhteita, mutta niiden voidaan olettaa koskevan laajempaakin aluetta, koska tutkimusalue sijaitsee melko keskellä Etelä-Suomea.

Lumen määrän suhteen havaintotalvet olivat erilaisia, siten, että talvi 1976/77 oli normaalia runsaslumisempi, talvi 1977/78 normaalia vähälumisempi ja talvi 1978/79 lähes normaaliluminen, joten havaintojakso oli tässä suhteessa edustava.

Havaintovuosien väliset erot lumisuureissa olivat selvempiä kuin maastoluokkien väliset erot. Vesi-arvon maksimi oli kaikissa maastoluokissa vuonna 1977 suurempi kuin muina vuosina ja vuonna 1979 niinkään kaikissa maastoluokissa suurempi kuin vuonna 1978. Vesi-arvon maksimi oli kaikkina havaintovuosina suurin metsäaukossa, mutta muiden maastoluokkien maksimien suuruusjärjestys oli sen sijaan joka vuosi erilainen. Havaintolinjojen vesi-arvon maksimien vaihtelut olivat huomattavasti suurempia kuin maastoluokkien tai havaintovuosien väliset vaihtelut. Suurimmat ja pienimmät vesi-arvon maksimit havaittiin kuitenkin joka vuosi eri linjoilla, joten erot eivät johdu alueellisesta vaikutuksesta.

Vesi-arvon maksimien vaihtelut eri maastoluokissa ja havaintolinjoilla olivat suurempia vuonna 1978, jolloin lunta oli huomattavasti vähemmän kuin muina vuosina. Vuonna 1977 suurimman ja pienimmän maksimin välinen ero maastoluokissa oli 18 %, vuonna 1978 36 % ja vuonna 1979 22 %. Havaintolinjojen välillä vastaavat arvot olivat 47 %, 80 % ja 48 %. Koko aineiston vesi-arvon maksimi oli vuonna 1977 33 % ja vuonna 1979 18 % suurempi kuin vuonna 1978.

Vesi-arvon muutokset talven aikana tapahtuivat eri maastoluokissa lähes samanaikaisesti eikä maksimien ajankohdilla ollut huomattavia eroja paitsi vuonna 1977, jolloin maksimi oli aukealla noin kuukautta aikaisemmin kuin muissa luokissa. Havaintovuosien väliset erot olivat tässäkin suhteessa selvempiä ja maksimien keskimääräisten ajankohtien erot suurempia kuin maastoluokkien väliset erot. Näin minkään tietyn ajankohdan lumen vesi-arvon suuruutta ei voida pitää kovin hyvin koko talven lumisuhteita kuvaavana. Samoin, jos vesi-arvon maksimi-arvo halutaan määrittää tarkasti, mittaukset täytyy suorittaa tiheämmin kuin kaksi kertaa kuukaudessa, mikä on yleinen käytäntö.

Myös lumen tiheydessä ja syvyydessä havaintovuosien väliset erot olivat maastoluokkien välisiä eroja suuremmat.

Tiheyden vaihtelut maastoluokittain olivat varsin vähäisiä, joten tiheyden havaitseminen jokaisessa maastoluokassa ei ole niin välttämätöntä kuin edustavien syvyyshavaintojen saaminen eri maastoluokista.

Tutkimusalueella olisi puolella nyt suoritettujen havaintojen määrästä voitu vesi-arvo määrittää niin, että se ei olisi poikennut huomattavasti koko aineiston keskiarvosta. Yhdellä edustavalla linjalla olisi päästy lähes yhtä tarkkaan tulokseen. Havaintolinjojen sopivalla valinnalla voidaan siten vaikuttaa huomattavasti vesi-arvon tarkkuuteen.

M Ä N T Y H A R J U N R E I T I N V E S I T A S E  
J A E N N U S T E I D E N L A A D I N T A  
R E I T I N T Ä R K E I M P I E N J Ä R V I E N  
S Ä Ä N N Ö S T E L Y J Ä V A R T E N



KUVALUETTELO	71
TAULUKKOLUETTELO	72
1. JOHDANTO	75
2. LUMEN KEVÄTSULANTA JA SIITÄ AIHEUTUVA VALUNTA	75
2.1 Sulantaan vaikuttavat tekijät	75
2.11 Lumen fysikaaliset ominaisuudet	75
2.12 Lumeen tuleva lämpöenergia	75
2.13 Metsän ja puuston vaikutus sulantaan	76
2.2 Nestemäinen vesi lumessa	76
2.3 Sulamisvesivaluntaan vaikuttavat tekijät	77
2.31 Yleisiä näkökohtia	77
2.32 Imeytyminen	77
2.33 Valunnan osuus sulannan ja sadannan summasta	78
3. SADANNAN JA SULANNAN ALUEARVOT MÄNTYHARJUN REITIN VALUMA-ALUEELLA KEVÄINÄ 1977-1979	78
3.1 Reitlin jako osa-alueisiin	78
3.2 Lumen vesiarvon aluearvot	80
3.21 Käytetty menetelmä	80
3.22 Tulokset	80
3.3 Sadannan aluearvot	80
3.4 Lumen alueellinen vedentuotto	80
3.5 Lämpötilan vaikutuksesta sulantaan Puulaveden valuma-alueella	88
4. LUMEN KEVÄTSULAMISESTA AIHEUTUVA VALUNTA MÄNTYHARJUN REITIN OSAVALUMA-ALUEELLA	90
4.1 Käytetty menetelmä	90
4.2 Valuma-alueiden kuvaus	90
4.3 Valunnan osuus lumen alueellisesta vedentuotosta eri valuma-alueilla	94
4.4 Maastotyyppin vaikutus valuntakertoimeen	95
4.5 Valuntakertoimen määrittämisen virhelähteistä	95
5. PUULAVEDEN TULOVIRTAAMAN MUODOSTUMINEN	96
5.1 Järviselänmenetelmän käytöstä luonnontilaisen järviselän virtaamamuutosten tarkastelussa	96
5.2 Puulaveden valuma-alueen yleiskuvaus	98
5.3 Valunnan muutoksen vaikutuksesta Puulaveden tulovirtaamaan	99
6. PUULAVEDEN JA VUOHIJÄRVEN TULOVIRTAAMIEN ENNUSTAMINEN	100
6.1 Puulaveden tulovirtaamennusteet	100
6.11 Tulovirtaamennusteen tarpellisuus	100
6.12 Ennustemallin muuttujien valinta	102
6.121 Yleisiä näkökohtia	102
6.122 Syksyn sadanta	102
6.123 Lumen vesiarvo	104

	6.124	Talven ja kevään sadanta	105
	6.125	Puulaveden tulovirtaamaan vaikuttavien tekijöiden vertailua	105
	6.13	Regressiomallit ennusteina	107
6.2		Vuohijärven tulovirtaamaennusteet	110
	6.21	Ennustetarpeesta	110
	6.22	Ennustemallin muuttujien valinta	110
	6.221	Yleisiä näkökohtia	110
	6.222	Puulaveden menovirtaama ja Kyyveden vedenkorkeus	110
	6.223	Lumen vesiarvo	111
	6.224	Kevään ja talven sadanta	112
	6.225	Vuohijärven tulovirtaamaan vaikuttavien tekijöiden vertailua	113
	6.23	Regressiomallit ennusteina	114
6.3		Ennusteiden käyttö	117
	6.31	Puulaveden talven ja kevään 1980 kokonaistulovirtaaman ennustaminen	117
	6.32	Vuohijärven kevään 1980 kokonaistulovirtaaman ennustaminen	119
7.		YHTEENVETO	119
		ENGLISH SUMMARY	122
		KIRJALLISUUSLUETTELO	125

## KUVALUETTELO

- 1 Mäntyharjun reitin osa-aluejako sadan-  
nan ja lumen vesi-arvon aluearvojen  
määrittämistä varten
- 2 Lumen vesi-arvon kehitys aukealla ja  
metsässä Mäntyharjun reitin Synsiön  
alueella vuosina 1977-1979
- 3 Lumen vesi-arvon kehitys aukealla ja  
metsässä Mäntyharjun reitin Kyyveden  
alueella vuosina 1977-1979
- 4 Lumen vesi-arvon kehitys aukealla ja  
metsässä Mäntyharjun reitin Puulaveden  
alueella vuosina 1977-1979
- 5 Lumen vesi-arvon kehitys aukealla ja  
metsässä Mäntyharjun reitin Pyhäveden  
alueella vuosina 1977-1979
- 6 Lumen vesi-arvon kehitys aukealla ja  
metsässä Mäntyharjun reitin Vuohijärven  
alueella vuosina 1977-1979
- 7 Mäntyharjun reitin aluesadannan määrityk-  
sessä käytetyt sadeasemat
- 8 Lumen alueellinen vedentuotto, sadanta ja  
positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen  
summa Puulaveden alueella 1.3-2.5.1977
- 9 Lumen alueellinen vedentuotto, sadanta ja po-  
sitiivisten vuorokauden keskilämpötilojen  
summa Puulaveden alueella 1.3-24.4.1978
- 10 Lumen alueellinen vedentuotto, sadanta ja po-  
sitiivisten vuorokauden keskilämpötilojen  
summa Puulaveden alueella 1.3-30.4.1979
- 11 Kolmen altaan muodostaman järvi-reitin kaavio-  
kuva
- 12 Valuma-alueella tapahtuvan vakiosuuruisen  
valunnan muutoksen vaikutus Puulaveden tulo-  
virtaamaan muutoksesta kuluneen ajan funktiona
- 13 Puulaveden säännöstelyluvan mukainen juoksu-  
tus vedenkorkeuden ollessa yli NN+94,70 m
- 14 Puulaveden kokonaistulovirtaama välillä  
1.4-31.5 eri tekijöiden summana

## TAULUKKOLUETTELO

- 1 Lumen fysikaalisia ominaisuuksia
- 2 Lumen sulamiskauden sadanta Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1977-1979
- 3 Lumen alueellinen vedentuotto välillä 1.3-15.5 vuosina 1977-1979 Mäntyharjun reitin valuma-alueella
- 4 Lumen sulamisvesitarkasteluun valuttujen Mäntyharjun reitin pienten osavaluma-alueiden pinta-alat, järvisyydet ja eri maastotyyppien osuus sekä alapuolisen järven pinta-ala
- 5 Valunta, lumen alueellinen vedentuotto ja valuntakerroin jaksolla 1.3-10.5 vuosina 1978-1979 Mäntyharjun reitin eri osavaluma-alueilla
- 6 Valuntakertoimen ja eri valuma-alueiden suon, pelton, metsän sekä järvien osuuksien väliset korrelaatiokertoimet keväänä 1978 ja 1979
- 7 Järvikertoimet ja altaan pinta-alat Puulaveden askevilla reiteillä
- 8 Kyyveden vedenkorkeuden ja Puulaveden tulovirtaaman väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979
- 9 Kyyveden menovirtaaman ja Puulaveden tulovirtaaman väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979
- 10 Lumen vesiaron ja Puulaveden kevään tulovirtaaman väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979
- 11 Puulaveden tulovirtaaman ja sen valuma-alueen sadannan väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979
- 12 Puulaveden tulovirtaaman, tehoisan allassadannan, valuma-alueen aluesadannan ja lumen vesiaron aluearvon sekä Kyyveden menovirtaaman keskiarvoja jaksolla 1966-1979 laskettuna Puulaveden pinnalle millimetreiksi muutettuna
- 13 Puulaveden talven ja kevään kokonaistulovirtaaman ennustemallit
- 14 Regressiomallien 9 ja 10 muuttujien keskiarvoilla lasketut eri termien suuruudet
- 15 Eri tekijöiden osuus Puulaveden tulovirtaamasta taulukon 13 ja mallien 9 ja 10 mukaan
- 16 Vuohijärven tulovirtaaman, Puulaveden menovirtaaman ja Kyyveden vedenkorkeuden välisiä korrelaatiokertoimia havaintojaksolla 1966-1979
- 17 Vuohijärven tulovirtaaman ja lumen vesiaron väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979
- 18 Vuohijärven tulovirtaaman ja sadannan väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979
- 19 Vuohijärven tulovirtaaman, lumen vesiaron, sadannan, Kyyveden vedenkorkeuden ja Puulaveden menovirtaaman kuukausikeskiarvoja jaksolle 1966-1979
- 20 Vuohijärven talven ja kevään kokonaistulovirtaaman regressiomallit
- 21 Malleilla lasketut muuttujien keskiarvoja vastaavat osuudet Vuohijärven kokonaistulovirtaamasta
- 22 Malleilla lasketut lumen vesiaron, talven ja kevään sadannan sekä valuma-alueen järviin varastoituneen veden osuudet kokonaistulovirtaamasta keskimäärin



- 23 Talven ja kevään sadannan sekä lumipeitteeseen ja valuma-alueen järviin varastoituneen veden osuus Vuohijärven tulovirtaamasta keskiarvovuonna
- 24 Lumen vesiarvo ja sadanta Puulaveden valuma-alueella sekä Kyyveden vedenkorkeus ja menovirtaama talvella ja keväällä 1980
- 25 Regressiomalleilla lasketut Puulaveden talven ja kevään 1980 kokonaistulovirtaamaennusteet
- 26 Vuohijärven valuma-alueen sadanta sekä Puulaveden menovirtaama talvella ja keväällä 1980
- 27 Regressiomalleilla lasketut ennusteet Vuohijärven kevään 1980 kokonaistulovirtaamalle



## 1. J O H D A N T O

Mikkelin vesipiirissä diplomi-insinööri Matti Miekk-ojan ideoimana perustettiin Mäntyharjun reitin valuma-alueelle vuosiksi 1977-1979 laaja hydrologinen havaintoverkko. Se käsitti 30 lumilinjaa sekä kymmenkunta virtaaman ja vedenkorkeuden mittausta paikkaa. Syksyllä 1980 valmistui aineiston lumihavaintoihin perustuva Anna-Liisa Penttisen diplomi-työ "Lumen vesiarvosta Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1977-1979". Penttisen tutkimus keskittyi lähinnä lumen keräytymisen tarkasteluun. Käsillä olevassa työssä pyritään selvittämään valunnan ja lumen sulamisen suhteita ko. aineiston pohjalta. Lisäksi muodostetaan Mäntyharjun reitin tärkeimmille altaille, Vuohijärvelle ja Puulavedelle talven ja kevään kokonaistulovirtaaman ennusteet hydrologisen toimiston aineiston avulla.

## 2. L U M E N K E V Ä T S U L A N T A J A S I I T Ä A I H E U T U - V A V A L U N T A

## 2.1 SULANTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

## 2.11 L u m e n f y s i k a a l i s e t o m i n a i s u u d e t

Luonnossa esiintyvä lumi on lumen, jään, veden ja vesihöyryn seos. Tavallisesti lumi sisältää myös runsaasti epäpuhtauksia, kuten nokea ja havunneulasia. Lumen fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat suuresti "iän" kasvaessa. Vastatataneen ja sulamisvaiheessa olevan lumen ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lumen fysikaalisia ominaisuuksia

Lumen laatu	Tiheys g/cm <sup>3</sup>	Albedo %	Ominaislämpö J/g°C	Sulamislämpö J/g
Vastatatanut lumi	0,1	80	2,1	335
Sulamislumisvaiheessa oleva lumi	0,4	40	2,1	335

Siten lumen albedo pienenee ja tiheys kasvaa huomattavasti talven aikana. Albedon pienenemisellä on suuri vaikutus sulantaan. Vastatataneena lumi absorboi ainoastaan 20 % tulevasta lyhytaaltoisesta säteilystä, mutta sulamisvaiheessa jo yli puolet. Tiheyden kasvu pienentää lumen vedenpidätyskykyä, mistä johtuen keväällä toisin kuin talvella lyhytkin suojakausi aiheuttaa valuntaa.

## 2.12 L u m e e n t u l e v a l ä m p ö e n e r g i a

Lumen sulantaan kuluva energia on yhdistelmä seuraavista tekijöistä (Lemmelä 1970):

- auringon lämpösäteilily
- konvektiivinen lämmönvaihto
- lämmön johtuminen maaperästä

- sateen luovuttama lämpö
- lumipeitteeseen kondensoituvasta vesihöyrystä vapautuva lämpö

Tärkeimmät näistä ovat auringon lämpösäteily, konvektio ja kondensaatio. Kahta viimeksi mainittua käsitellään usein yhdessä. Niistä aiheutuva sulanta on Wilsonin (1941) mukaan ilman ollessa  $10^{\circ}\text{C}$  ja vesihöyryyn kyllästä-mää  $0,85\text{ mm/h}$ . Auringon lämpösäteilyn vaikutus on suurim-millaan aukeilla paikoilla aurinkoisina päivinä. Tällöin sulannan teoreettinen maksimiarvo voi  $60$  leveyspiirillä albedon ollessa  $50\%$  Sokolowskyn (1939) mukaan nousta  $3,75\text{ mm/h}$ .

## 2.13 Metsän ja puuston vaikutus sulantaan

Puusto vaikuttaa sulantaan sekä hidastavasti että edistä-västi. Lyhytaaltainen nettosäteily on metsässä huomatta-vasti vähäisempi kuin aukealla. Toisaalta metsän pieni albedo (neulasten ja muiden epäpuhtauksien takia) ja puiden säteilemä lämpö pienentävät tätä eroa.

Lumen alueelliset maksimit on yleensä havaittu metsän au-koissa, joista lumi ei pääse kulkeutumaan tuulen vaikutuk-sesta pois. Vähiten lunta on yleensä tiheässä metsässä. Viimeksi lumi katoaa tasaisessa maastossa paikoista, jois-sa lunta on ollut paljon ja toisaalta auringon lämpösä-teily on vähäistä. Tällaisia paikkoja ovat esim. metsän aukkojen etelän puoleiset reunat (Kuusisto 1973). Kaiteran (1939) mukaan lumi katoaa aukeilta  $4-6$  päivää aikaisemmin kuin metsästä. Simojoki (1947) sai vastaavaksi eroksi  $13-14$  päivää.

Puiden alla lumi sulaa nopeasti pienen albedon ja puiden lämpösäteilyn vuoksi. Voimakkainta tämä lämpösäteilyn vaikutus on  $1-3\text{ m}$  puun rungosta koilliseen. Sulattava vai-kutus on suurimmillaan tyynellä säällä (Seppänen 1961).

## 2.2 NESTEMÄINEN VESI LUMESSA

Sulamisen alettua ei yleensä välittömästi seuraa valuntaa, vaan lumipeite pystyy sitomaan jonkin verran myös neste-mäistä vettä. Lumipeitteessä nestemäistä vettä voi esiin-tyä seuraavasti (Kuusisto 1973):

1. Hygroskooppi-sena vetenä, absorboituneena ohuina kalvoina lumikiteen pinnalle. Se ei synnytä valuntaa ennenkuin lumikide on kokonaan sulanut.
2. Kapillaarivetenä, jonka pintajännitysvoimat pitävät lumi-kiteiden väliin jäävissä huokosissa. Se synnyttää valun-taa kun lumi tai rakeiden keskinäinen asema muuttuu.
3. Gravitaatiovetenä, joka liikkuu lumipeitteen läpi pai-novoiman vaikutuksesta synnyttäen valuntaa, kun lumi-peitteen nestemäisen veden pidäntäkapasiteetti on yli-tetty.

Lumen kyky pidättää nestemäistä vettä riippuu lähinnä lumen tiheydestä. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lumen syvyys, jäälinssien määrä, lumikiteiden koko, muoto ja asema.

Lumipeitteen nestemäisen veden pidäntäkapasiteetilla tarkoitetaan hygroskooppisen veden ja kapillaariveden yhteenlaskettua maksimimäärää. Kun pidäntäkapasiteettiin lisätään lumessa esiintyvän gravitaatioveden maksimimäärä, saadaan lumipeitteen varastokapasiteetti. Sulamiskaudella lumen tiheys on 0,3-0,4 g/cm<sup>3</sup>. Tällöin nestemäisen veden pidäntäkapasiteetti vaihtelee eri lähteiden mukaan 1-6 painoprosenttiin varastokapasiteetin hetkellisten arvojen ollessa jopa 12 painoprosenttia (Linsley ym. 1949, Gerdel 1954, Lemmelä 1970).

Talvella suojasäällä ei lumipeitteen pidäntäkapasiteetti yleensä ylity, eikä valuntaa siten synny. Keväällä sulannan alettua on lumipeitteen vesivarasto sensijaan tavallisesti pitkään täynnä, jolloin kaikki sade- ja sulamisvesi sekä lumipeitteen ohenemisesta aiheutuva varaston muutos aiheuttavat valuntaa (Kuusisto 1973).

## 2.3 SULAMISVESIVALUNTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 2.31 Yleisiä näkökohtia

Lumipeitteen läpi tulleesta vedestä jää osa maanpinnan epätasaisuudesta johtuen painannesäilymäksi, osa muodostaa pintavaluntaa ja osa imeytyy maahan. Maaperässä vesi jää joko pintakerrokseen tai suotautuu edelleen pohjavedeksi. Myöhemmässä vaiheessa painanteisiin jäänyt vesi muodostaa pintavaluntaa (jääpatojen sulaessa), imeytyy maahan (roudan sulaessa) tai haihtuu (Kuusisto 1973).

Lemmelän (1970) mukaan ovat imeytymisen ja pintavalunnan sekä pintakerrosvalunnan keskinäisiin suhteisiin vaikuttavista tekijöistä tärkeimmät:

- sulamisvesien määrä
- sulamisen intensiteetti
- imeytymiskyky

### 2.32 Imeytyminen

Sulamisvesien imeytyminen maaperään tapahtuu lähes poikkeuksetta maan ollessa routaantunut. Siten tärkeimmät sulamiskauden imeyntäkapasiteettiin vaikuttavat tekijät maan tekstuurin ohella ovat roudan syvyys ja laatu sekä maan vesipitoisuus (Lemmelä 1970).

Maan tekstuuri vaikuttaa imeyntäkapasiteettiin kahdella tavalla. Hienorakeiset maalajit, kuten savi ja siltti, läpäisevät routaantumattominakin heikosti vettä. Roudataantuneina ne samoinkuin hienorakeiset moreenit suuren kapillaarisuuden vuoksi muodostavat kerroksellista roudataa, jolle on tyypillistä jäälinssien muodostuminen.

Tällaisen roudan imeyntää pienentävä vaikutus on suuri. Tasarakeiset karkeammat maalajit muodostavat massiivista routaa, jonka vaikutus imeyntäkapasiteettiin on huomattavasti pienempi. Toisaalta karkeiden maalajien erittävä vaikutus on pieni, joten routaantunut maakerros on usein paksumpi karkea- kuin hienorakeisessa maassa.

Routakerroksen paksuuteen vaikuttaa maalajin ohella maastotyyppi. Metsässä routakerros on yleensä ohuempi kuin pellolla. Neuvostoliittolaisten tutkijoiden Valdailla suorittamassa tutkimuksessa saatiin eroksi noin 30 cm (Apollov, Kalinin, Komarov 1964).

### 2.33 Valunnan osuus sulannan ja sadannan summasta

Valunnan osuutta sulannan ja sadannan summasta on selvitetty useissa eri tutkimuksissa. Koska imeytymisen suuruuteen maalajin ja maakerroksen paksuuden ohella vaikuttavat useat vähemmän stabiilit tekijät, kuten maan kosteus, roudan paksuus, sulannan intensiteetti ym., ei pienillekään valuma-alueille ole mahdollista määrittää yleispetevää valuntakerrointa.

Forsmanin keväällä 1970 tekemässä tutkimuksessa saatiin sulamisajan valuntakertoimeksi 55 %. Maavesivaraston kasvun osuus oli 26 % ja haihdunnan 19 % sulannan ja sadannan summasta. Valuma-alueesta oli metsää 66 %, suota 12 %, järviä 10 % ja peltoa 5 % (Forsman 1971).

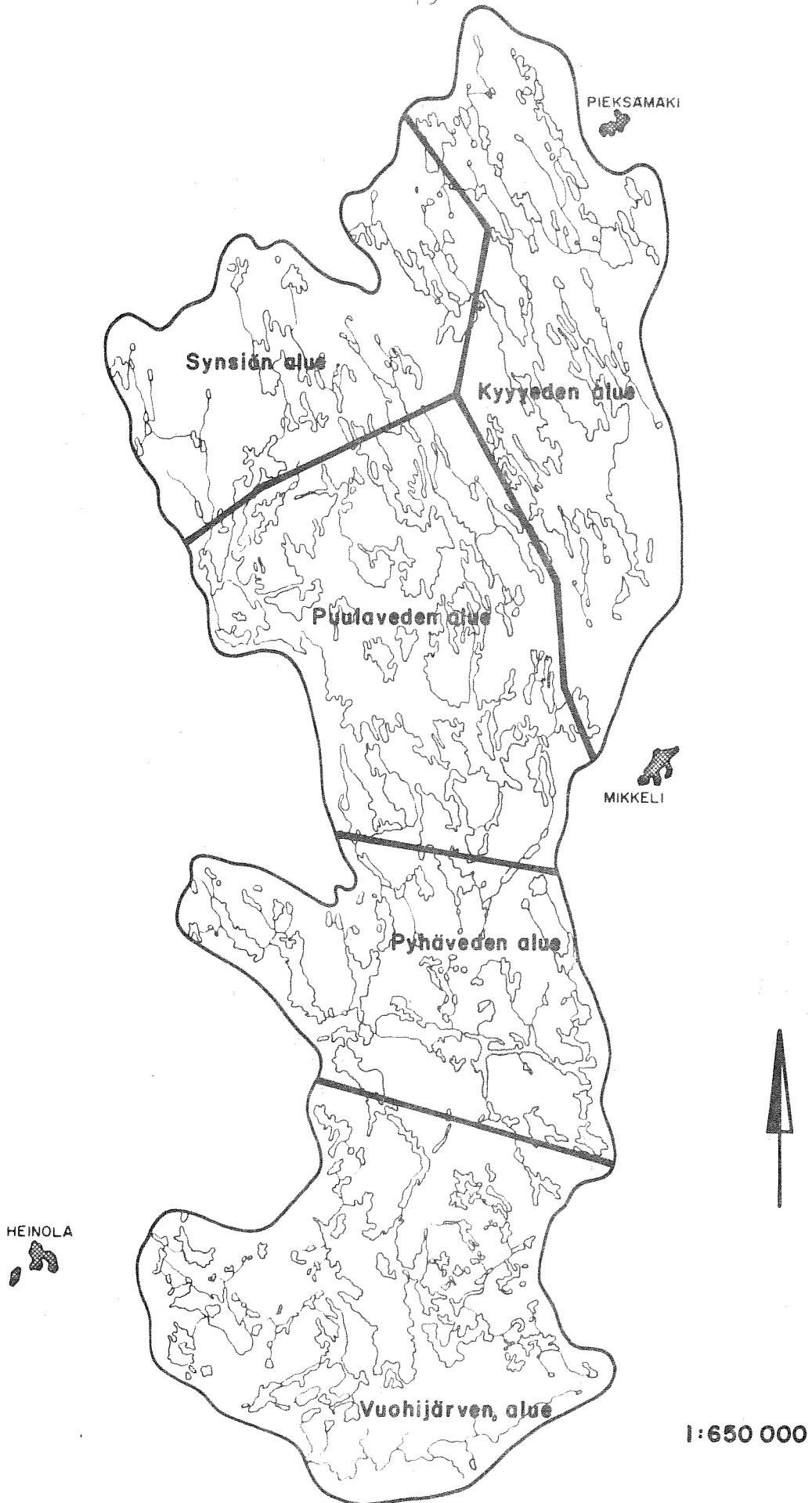
Venäläiset ovat tutkineet valuntakertoimen suuruutta eri maastotyypeissä. Pellolla on valunnan osuudeksi saatu noin 80 % ja metsässä 25-50 % (Quick 1972).

## 3. SADANNAN JA SULANNAN ALUEARVOT MÄNTYHARJUN REITIN VALUMA-ALUEILLA KEVÄINÄ 1977-1979

### 3.1 REITIN JAKO OSA-ALUEISIIN

Mäntyharjun reitin pituus pohjois-eteläsuunnassa on noin 170 km. Lumen sulaminen alueen eteläosissa alkaa usein 1-2 viikkoa aikaisemmin kuin pohjoisosissa. Talvella on alueen eri osien sadannoilla suuriakin eroja. Siten ei ole tarkoituksemukaista käsitellä koko aluetta yhtenä kokonaisuutena.

A-L. Penttinen jakoi diplomityössään "Lumen vesiarvosta Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1977-1979" reitin valuma-alueen viiteen osa-alueeseen (kuva 1) siten, että kuhunkin alueeseen tuli 5-7 lumilinjaa. Jakoa tehtiin ottamalla huomioon sekä sulannan eriaikaisuus että sadantojen erot. Jälkimmäisiä määritettäessä tukeuduttiin Solantien (1975) tutkimukseen suurmaastomuotojen vaikutuksesta sadantaan talvella. Solantien mukaan talvella, kun sade muodostuu huomattavasti alempana kuin muina vuodenaikoina, määrää orografia suuressa määrin sadannan ja lumipeitteen alueellisen jakauman.



Kuva 1. Mantyhärjun reitin osa-aluejako sadannan ja lumen vesiarvon aluearvojen määrittystä varten.

### 3.2 LUMEN VESIARVON ALUEARVOT

#### 3.21 Käytetty menetelmä

Lumen vesiarvolla tarkoitetaan lumipeitteen sisältämää vesimäärää ilmaistuna millimetreinä vesipatsaasta. Vesiarvo saadaan lumen syvyyden ja tiheyden tulona.

$$W = 10 \times h \times \rho \quad (1)$$

jossa  $W$  = lumen vesiarvo (mm)  
 $h$  = lumen syvyys (cm)  
 $\rho$  = lumen tiheys (g/cm<sup>3</sup>)

Tarkemmin lumen vesiarvon mittausta ja käytettyjä lumilinjjoja on käsitelty em. A-L. Penttisen diplomityössä. Siinä määritettiin lumen vesiarvo mittaustuloksista seuraavasti:

1. Valittiin halutun maastoluokan (aukea, suo, metsä) ja halutun osa-alueen (1-5) pisteet.
2. Laskettiin 7 päivän välein lumen syvyyden ja tiheyden keskiarvot.
3. Laskettiin lumen vesiarvot syvyyden ja tiheyden tulona.

#### 3.22 Tulokset

Maastoluokkaan suo oli linjojen pisteitä jaoteltaessa otettu ainoastaan avosuot. Määrittämisspisteiden vähyyden vuoksi ei lumen vesiarvon kehityksestä avosoilla saatu kuitenkaan luotettavaa arviota. Kuvissa 2, 3, 4, 5 ja 6 on esitetty lumen vesiarvon kehitys aukealla (lähinnä pelto) ja metsässä eri osa-alueilla.

Kuvista näkyy selvästi aluejaon mielekkyys. Synsiön alueella on lumen vesiarvo tutkimusvuosina ollut selvästi korkein. Tämä tukee Solantien (1975) tutkimusta, jossa ko. alueella eri suuntaisille tuulille lasketut ns. rinne-efektin arvot ovat suurempia kuin muualla Mäntyharjun reitin valuma-alueella. Sulamiskaudella on lisäksi huomattavissa selvä ero pohjoisimpien osa-alueiden Synsiö ja Kyyvesi sekä eteläisimmän alueen Vuohijärvi välillä. Esimerkiksi 23.4.1979 oli lumi Vuohijärven alueelta metsästäkin lähes kokonaan hävinnyt, kun lumen vesiarvo Synsiön alueella oli metsässä 110 mm ja pellollakin 78 mm.

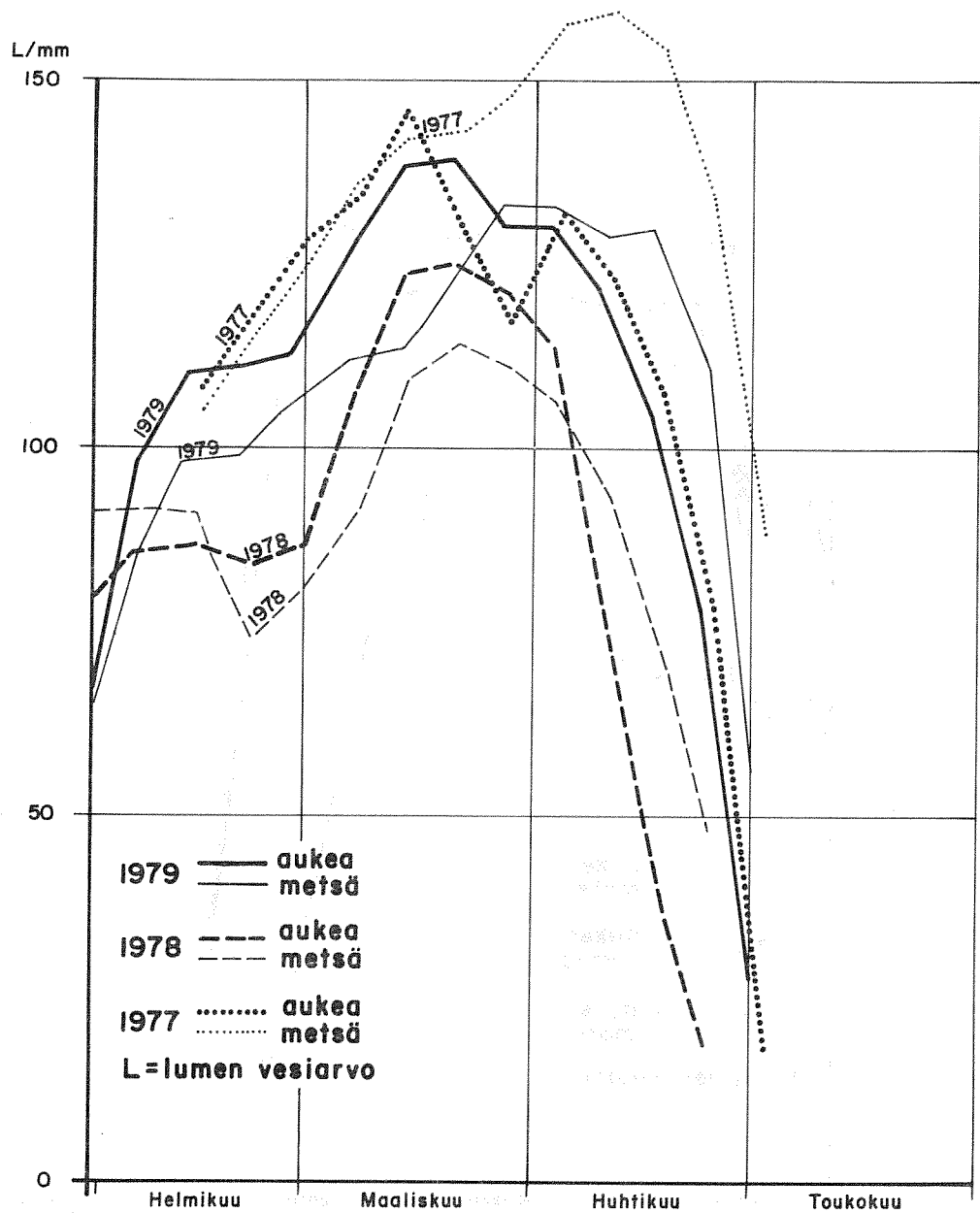
### 3.3 SADANNAN ALUEARVOT

Sadannan aluearvot laskettiin Thiessenin monikulmiomenetelmällä. Sadanta määritettiin välille 1.3-15.5 vuosina 1977-1979 7 vuorokauden jaksoissa käyttäen jakopäivinä lumen vesiarvon määrittämisspäiviä. Käytetyt sadeasemat on esitetty kuvassa 7. Eri osa-alueiden sadannat on esitetty taulukossa 2.

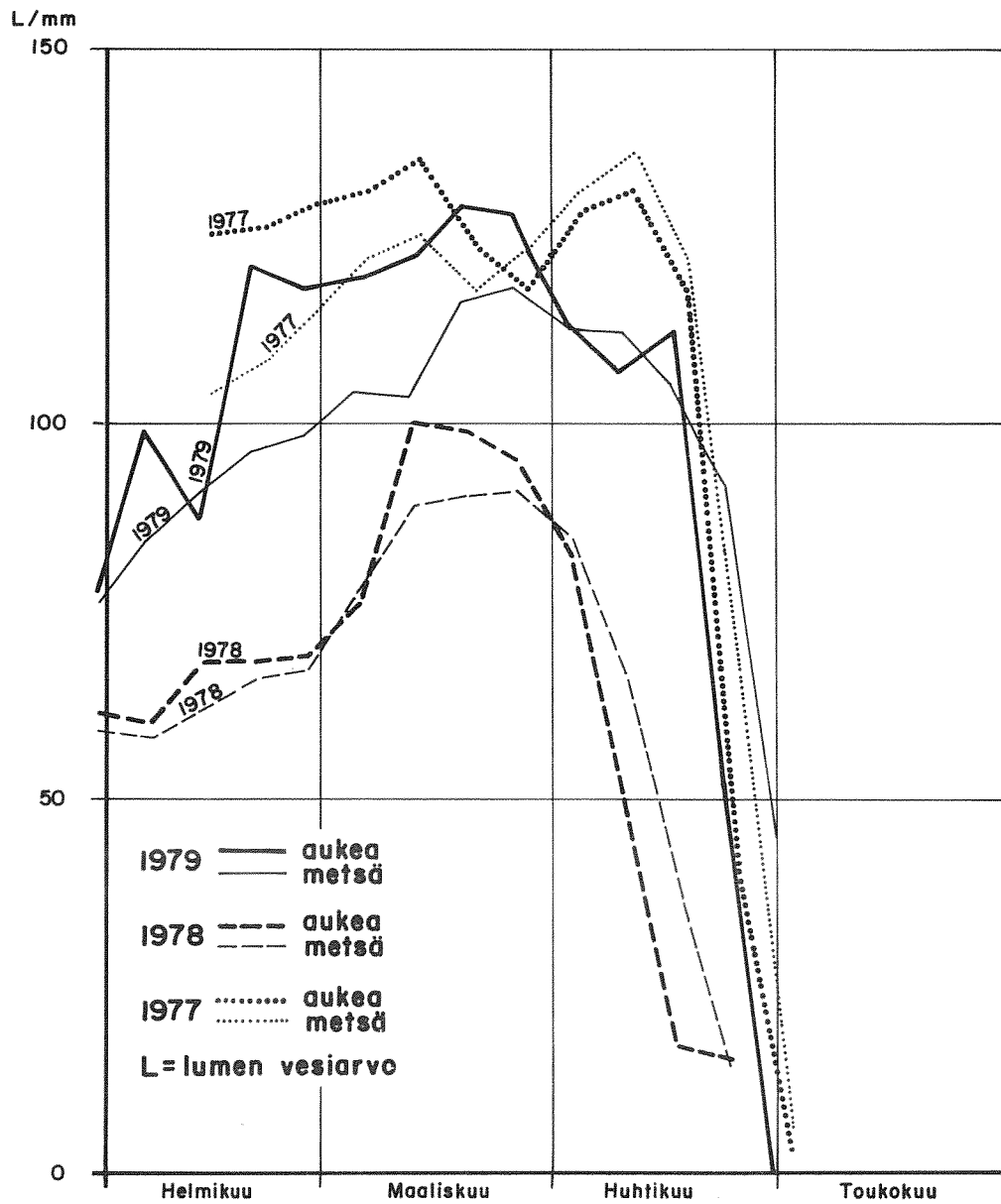
### 3.4 LUMEN ALUEELLINEN VEDENTUOTTO

Lumen alueellisella vedentuotolla tarkoitetaan sadannan ja sulannan summan aluearvoa. Se saadaan seuraavasti:

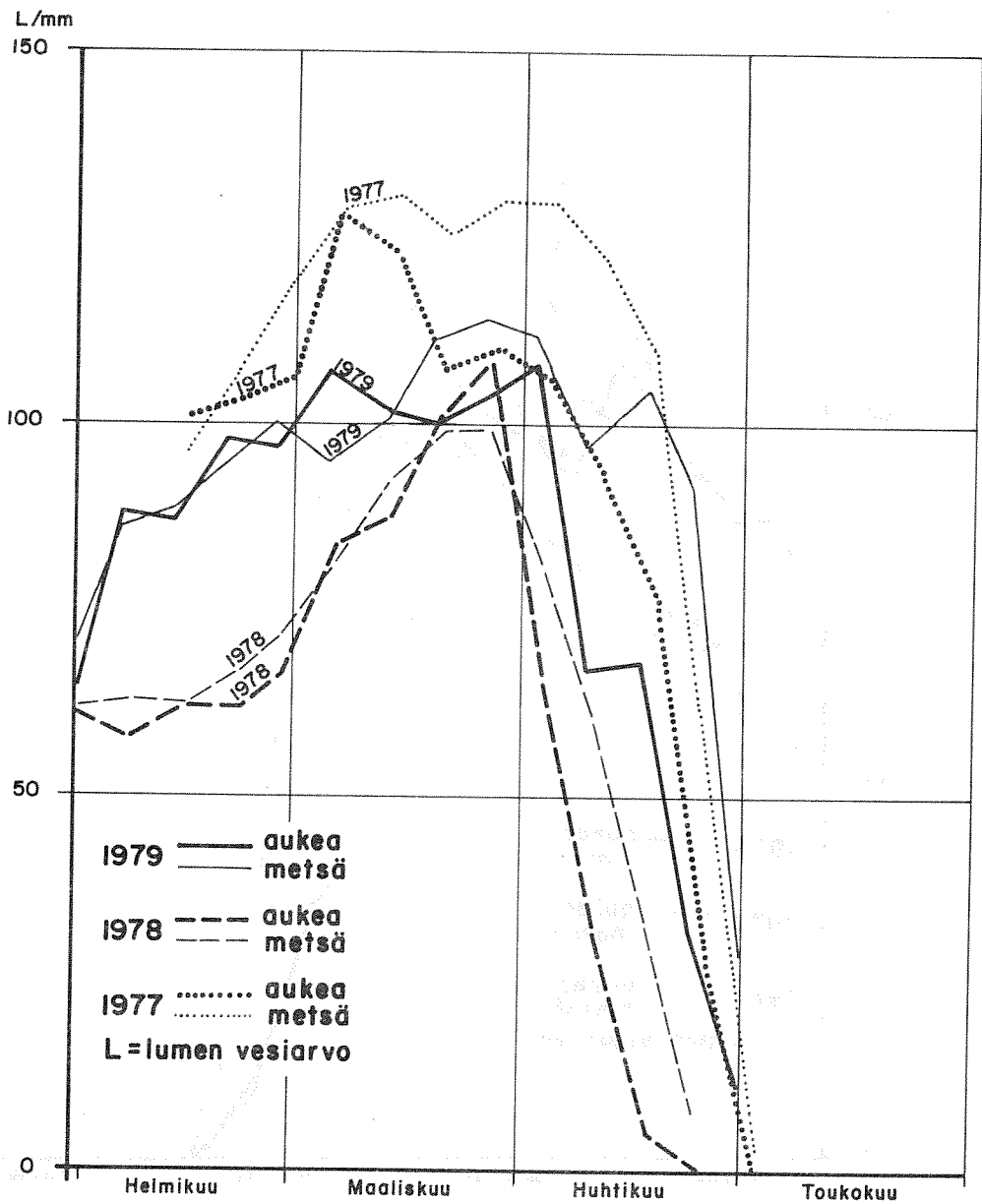




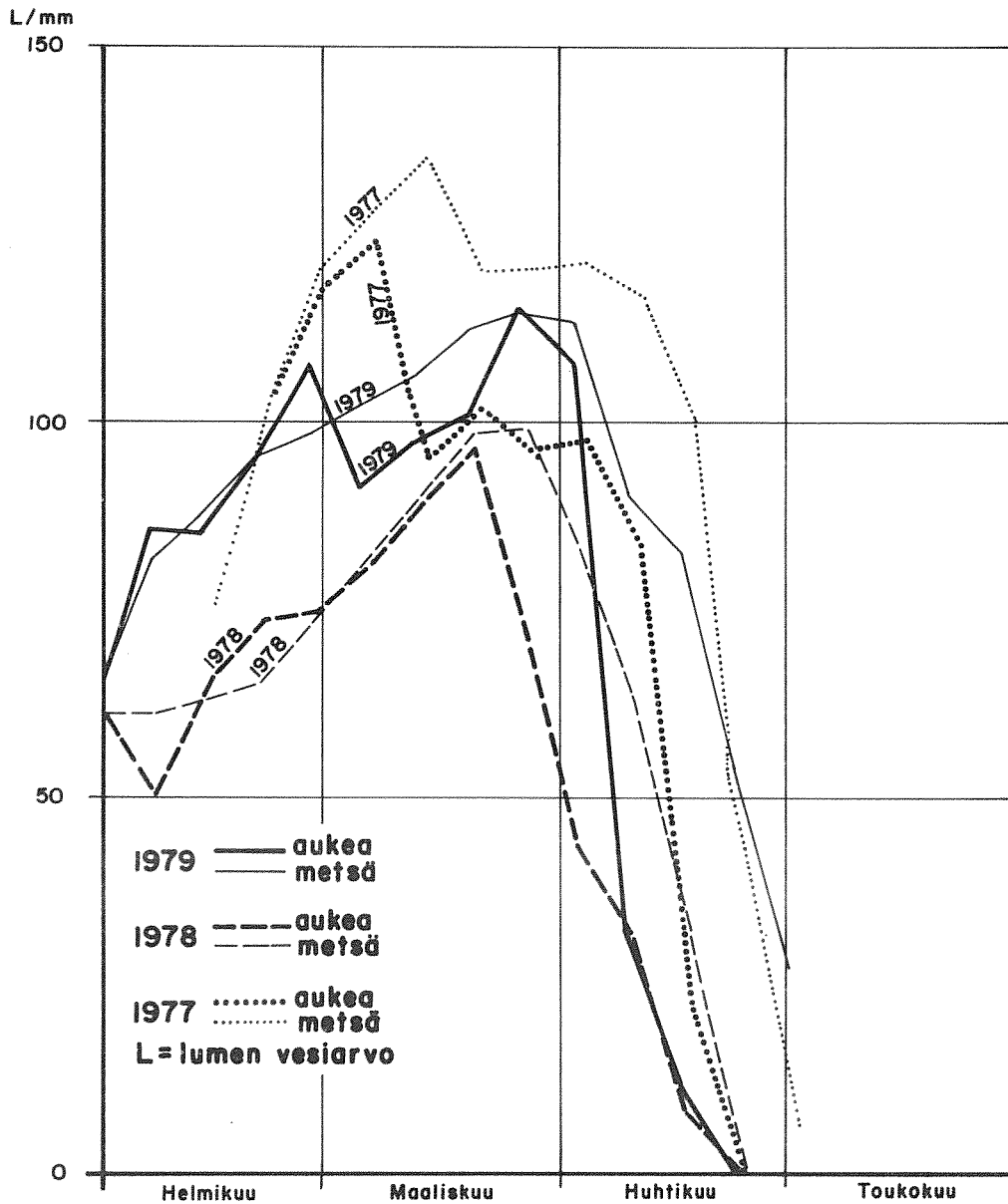
Kuva 2. Lumen vesiarvon kehitys aukealla ja metsässä Mäntyharjun reitin Synsiön alueella vuosina 1977-1979.



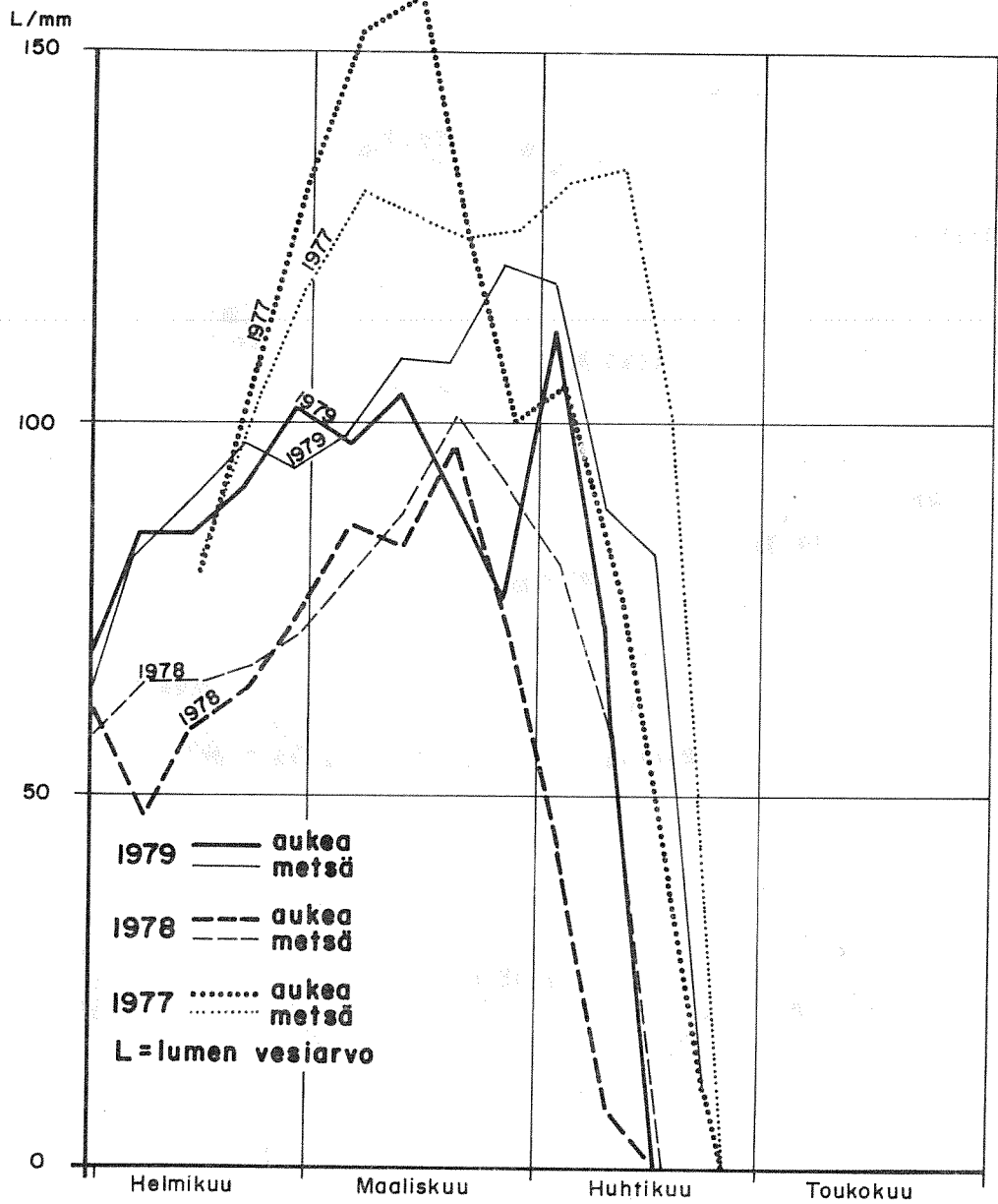
Kuva 3. Lumen vesiarvon kehitys aukealla ja metsässä Mäntyharjun reitin Kyyveden alueella vuosina 1977-1979.



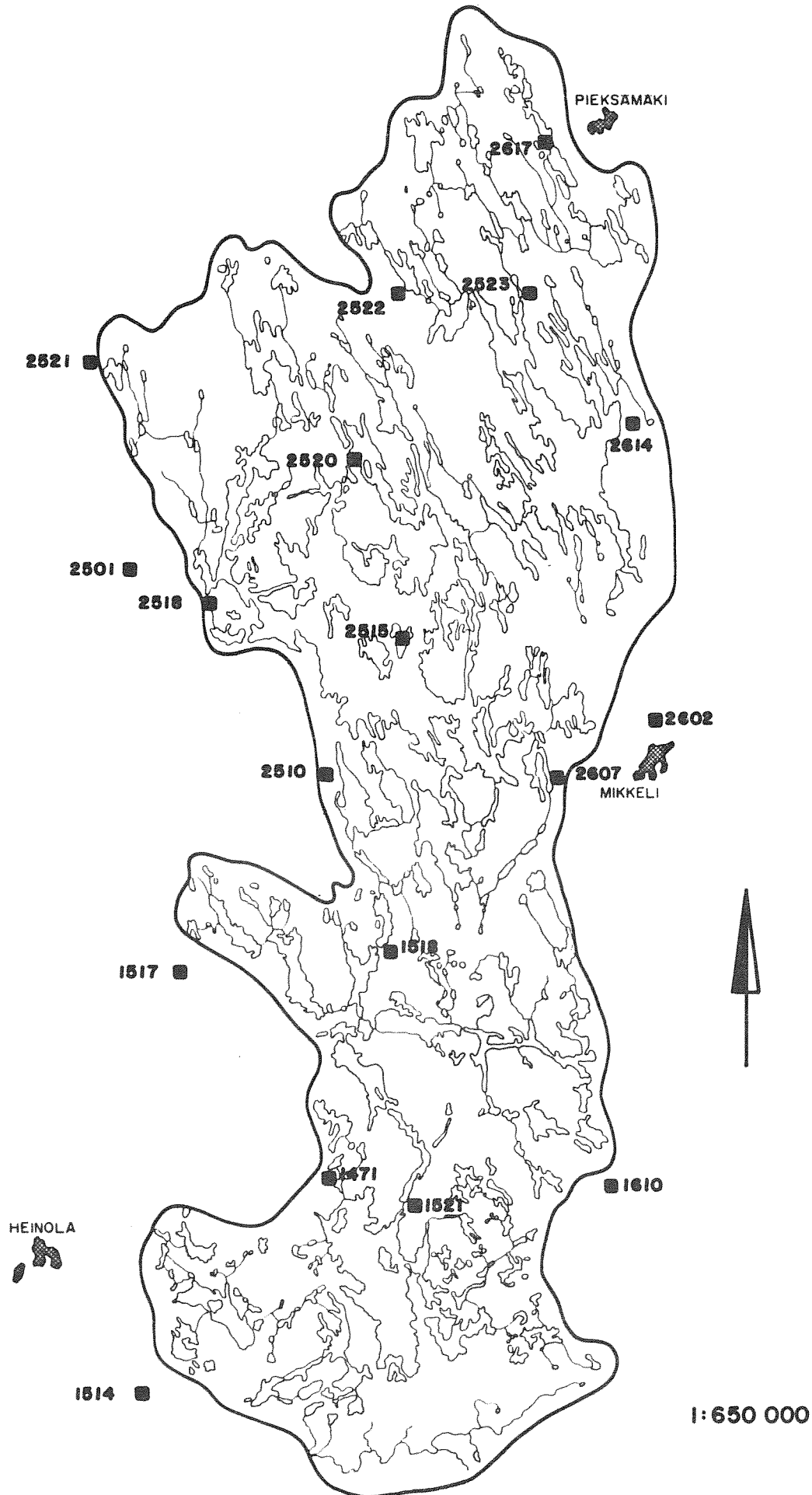
Kuva 4. Lumen vesiarvon kehitys aukealla ja metsässä Mäntyharjun reitin Puulaveden alueella vuosina 1977-1979.



Kuva 5. Lumen vesiarvon kehitys aukealla ja metsässä Mäntyharjun reitin Pyhäveden alueella vuosina 1977-1979.



Kuva 6. Lumen vesiarvon kehitys aukealla ja metsässä Mäntyharjun reitin Vuohijärven alueella vuosina 1977-1979.



Kuva 7. Mäntyharjun reitin aluesadannan määrittämisessä käytetyt sadeasemat.

Taulukko 2 Lumen sulamiskauden sadanta Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1978-1979

sadanta/valuma- alueen osa		Sadanta mm				
vuosi/jakso		Synsiön alue	Kyy- veden alue	Puula- veden alue	Pyhä- veden alue	Vuohi- järven alue
1977	1.3- 7.3	6,7	8,7	5,4	6,4	7,2
	8.3-14.3	7,0	0,5	2,5	0,8	2,6
	15.3-21.3	7,4	6,8	4,9	4,8	6,9
	22.3-28.3	13,8	12,5	12,3	11,9	11,9
	29.3- 4.4	5,0	5,0	3,8	3,9	4,7
	5.4-11.4	14,2	12,3	12,3	11,2	14,2
	12.4-18.4	26,9	27,0	18,9	16,8	27,6
	19.4-25.4	16,7	14,9	15,2	18,0	14,2
	26.4- 2.5	3,3	4,0	2,4	1,6	4,3
	3.5-15.5	25,8	28,0	28,1	20,2	18,4
1977	1.3-15.5	121,8	119,7	105,8	95,6	112,0
1978	1.3- 6.3	19,0	14,3	21,5	21,7	24,2
	7.3-13.3	7,0	6,0	5,2	1,9	3,3
	14.3-20.3	9,9	8,2	10,3	11,4	11,4
	21.3-27.3	4,5	2,5	2,9	2,1	2,7
	28.3- 3.4	16,0	15,1	12,3	6,6	6,1
	4.4-10.4	3,1	4,0	3,0	3,3	3,1
	11.4-17.4	12,3	11,4	12,0	13,2	14,3
	18.4-24.4	6,9	5,4	5,1	4,8	1,6
	25.4- 1.5	0,8	0,9	0,4	0,3	0,3
	2.5-15.5	9,3	6,2	6,7	11,8	3,8
1978	1.3-15.5	88,8	74,1	79,4	70,1	70,7
1979	1.3- 4.3	6,8	7,2	4,8	4,8	6,8
	5.3-11.3	3,6	3,7	2,6	3,7	4,7
	12.3-18.3	7,1	4,8	6,9	6,6	6,9
	19.3-25.3	13,2	9,4	11,3	7,4	8,3
	26.3 1.4	2,3	3,0	2,4	2,4	2,1
	2.4- 8.4	2,9	2,1	2,5	1,0	0,6
	9.4-15.4	6,5	6,9	7,1	9,1	6,2
	16.4-22.4	0	0	0	0,2	0,1
	23.4-29.4	7,1	4,7	5,0	4,3	4,1
	30.4-15.5	45,4	45,7	45,1	41,2	42,0
1979	1.3-15.5	94,9	87,6	87,7	80,7	81,8

$$Y = W_n - W_{n+1} + P \quad (2)$$

jossa

- Y = lumen alueellinen vedentuotto (mm)  
 $W_n$  = lumen vesiaron aluearvo jakson alussa (mm)  
 $W_{n+1}$  = lumen vesiaron aluearvo jakson lopussa (mm)  
P = sadannan aluearvo ko. jaksolla (mm)

Lumen alueellinen vedentuotto laskettiin 7 vuorokauden jaksoissa kullakin osa-alueella erikseen pellolle ja metsälle. Jos vesiarvon vähenemä jollakin jaksolla oli negatiivinen ja itseisarvoltaan suurempi kuin jakson sadanta, merkittiin vedentuotto nollassa ja siirrettiin ylimääräinen vesiarvon lisäys edelliseen ja/tai seuraavaan jaksoon. Lumen alueelliset vedentuotot eri osa-alueilla on esitetty taulukossa 3.

Lumen alueellinen vedentuotto on tutkimusvuosina ollut suurimmillaan huhtikuun 12 päivän ja toukokuun alun välisenä aikana. Vuosina 1977 ja 1979 on maaliskuun puoliväliin sattuneina suojakausina tapahtunut jonkin verran sulantaa. Sen sijaan vuonna 1978 on sulaminen alkanut vasta maaliskuun lopussa. Tutkittuina vuosina on lumen alueellinen vedentuotto ollut suurin Synsiön alueella.

### 3.5 LÄMPÖTILAN VAIKUTUKSESTA SULANTAAN PUULAVEDEN ALUEELLA

Puulaveden alueen etäisyys lähimmästä Ilmatieteen laitoksen ilmastoasemasta Mikkelissä on 5-50 km. Andersson'in (1972) mukaan yksi edustava lämpötilan mittausasema riittää 100 km<sup>2</sup>:n alueelle. Siten Mikkelin lämpötila ei erityisen hyvin edusta koko Puulaveden aluetta. Tarkasteltaessa Mikkelin ja Jyväskylän lämpötilan viikkokeskiarvojen eroja huomataan ne suhteellisen pieniksi. Siten voitaneen Mikkelin lämpötiloja käyttää edustamaan Puulaveden aluetta.

Käyttämällä selittäjänä positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen viikkosummaa laskettiin Puulaveden alueen lumen alueellisen vedentuoton viikkoarvoille seuraavat regressioyhtälöt:

Koko alue:  $Y = 1,71 D + 3,7$   
korrelaatio = 0,85

Metsä:  $Y = 1,75 D + 3,3$   
korrelaatio = 0,86

Aukea:  $Y = 1,67 D + 7,8$   
korrelaatio = 0,60

joissa  $Y =$  lumen alueellisen vedentuoton viikkoarvo (mm)  
 $D =$  positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen viikkosumma ( $^{\circ}C$ )



Taulukko 3 Lumen alueellinen vedentuotto välillä 1.3-15.5 vuosina 1977-1979 Mäntyharjun reitin valuma-alueella

		Lumen alueellinen vedenotto (mm)									
		Synsiön alue		Kyyveden alue		Puulaveden alue		Pyhäveden alue		Vuohijärven alue	
		pelto	metsä	pelto	metsä	pelto	metsä	pelto	metsä	pelto	metsä
1977	1.3- 7.3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4
	8.3-14.3	0	0	0	0	1	0	28	0	2	6
	15.3-21.3	14	2	18	12	20	10	0	14	34	10
	22.3-28.3	12	6	16	7	11	8	18	12	39	10
	29.3- 4.4	0	0	0	0	8	4	3	3	0	0
	5.4-11.4	18	11	7	5	22	19	24	16	42	12
	12.4-18.4	54	32	40	40	36	32	79	33	66	61
	19.4-25.4	45	37	98	71	62	62	38	75	53	114
	26.4- 2.5	63	49	33	67	31	62	2 <sup>x</sup>	39	4 <sup>x</sup>	4 <sup>x</sup>
3.5-15.5	44	114	34	32	28 <sup>x</sup>	31	20 <sup>x</sup>	26	18 <sup>x</sup>	18 <sup>x</sup>	
1977	1.3-15.5	250	251	248	234	219	228	212	218	258	239
1978	1.3- 6.3	0	0	0	0	5	7	10	10	11	12
	7.3-13.3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
	14.3-20.3	0	3	0	7	0	3	3	1	0	0
	21.3-27.3	9	2	7	2	0	3	36	1	27	11
	28.3- 3.4	23	55	28	22	50	31	35	33	34	16
	4.4-10.4	40	13	36	22	37	22	27	23	38	26
	11.4-17.4	48	31	44	40	39	30	25	34	22	72
	18.4-24.4	30	34	7	28	10	30	12	31	2 <sup>x</sup>	2 <sup>x</sup>
	25.4- 1.5	19	50	16	15	0 <sup>x</sup>	8	0 <sup>x</sup>	6	0 <sup>x</sup>	0 <sup>x</sup>
2.5-15.5	9 <sup>x</sup>	9 <sup>x</sup>	6 <sup>x</sup>	6 <sup>x</sup>	7 <sup>x</sup>	7 <sup>x</sup>	5 <sup>x</sup>	5 <sup>x</sup>	4 <sup>x</sup>	4 <sup>x</sup>	
1978	1.3-15.5	178	197	134	142	148	141	153	144	143	143
1979	1.3- 4.3	0	2	6	1	0	3	19	1	10	0
	5.3-11.3	0	1	0	1	3	3	0	0	0	0
	12.3-18.3	0	0	0	0	9	0	0	0	21	3
	19.3-26.3	22	3	9	1	7	3	0	5	2	0
	26.3- 1.4	2	2	17	8	0	6	7	3	0	2
	2.4- 8.4	11	7	9	3	44	18	78	24	26	30
	9.4-15.4	25	6	2	14	12	0	29	17	79	13
	16.4-22.4	26	19	60	13	26	13	11	28	0 <sup>x</sup>	72
	23.4-29.4	57	62	47	52	30	70	4 <sup>x</sup>	31	4 <sup>x</sup>	14
	30.4-15.5	73	101	46 <sup>x</sup>	91	55	72	41 <sup>x</sup>	68	42 <sup>x</sup>	42 <sup>x</sup>
1979	1.3-15.5	216	203	206	184	186	189	189	177	186	176

<sup>x</sup> pelkkä sadanta (lumen vesiarvo 0)

Positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen viikkosumma selittää siten melko hyvin metsän sulantaa. Sen sijaan aukealla, jossa auringonsäteily on paljon voimakkaampaa kuin metsässä, ei pelkkä lämpötila riitä selittämään sulannan vaihteluja. Kuvissa 8, 9 ja 10 on esitetty lumen alueellinen vedentuotto, sadanta ja positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen summa Puulaveden alueella viikon jaksoissa välillä 1.3.-2.5. vuosina 1977-1979.

Lumen sulamisen kannalta näyttää vielä maaliskuussa suojakauden pituus olevan erittäin tärkeä tekijä. Esimerkiksi 8.3.-14.3.1977 positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen summa D oli 5,9 °C. Suojasäätä kesti 5 vuorokautta ja sulanta oli alle 1 mm. Seuraavana 5 vuorokautena suojasää jatkui ja D oli 6,7 °C. Tällöin sulanta oli kuitenkin jo 10 mm. Tämä johtunee suureksi osaksi lumen kyvystä pidättää nestemäistä vettä, jolloin valuntaa syntyy vasta vesivarastojen täytyttyä. Osasyynä on myös lumen pakkassisältö, eli ensin osa lämpöenergiasta kuluu lumen lämmittämiseen nolla-asteiseksi.

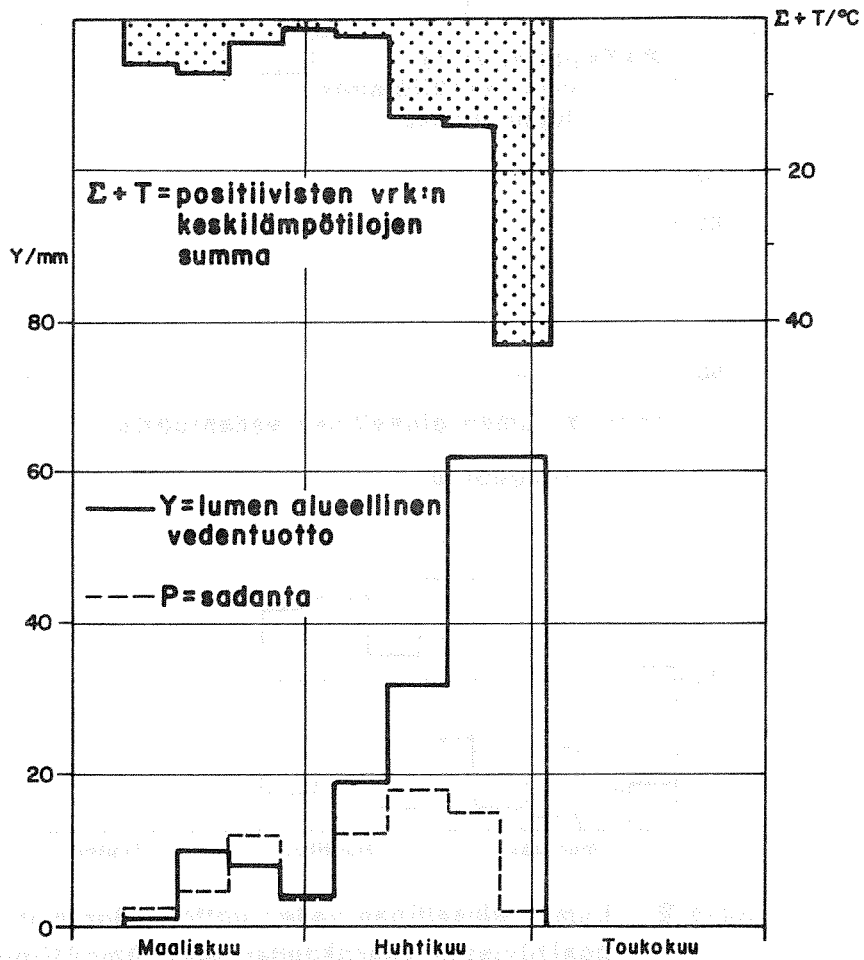
#### 4. LUMEN KEVÄTSULAMISESTA AIHEUTUVA VALUNTA MÄNTYHARJUN REITIN OSA- VALUMA-ALUEILLA

##### 4.1 KÄYTETTY MENETELMÄ

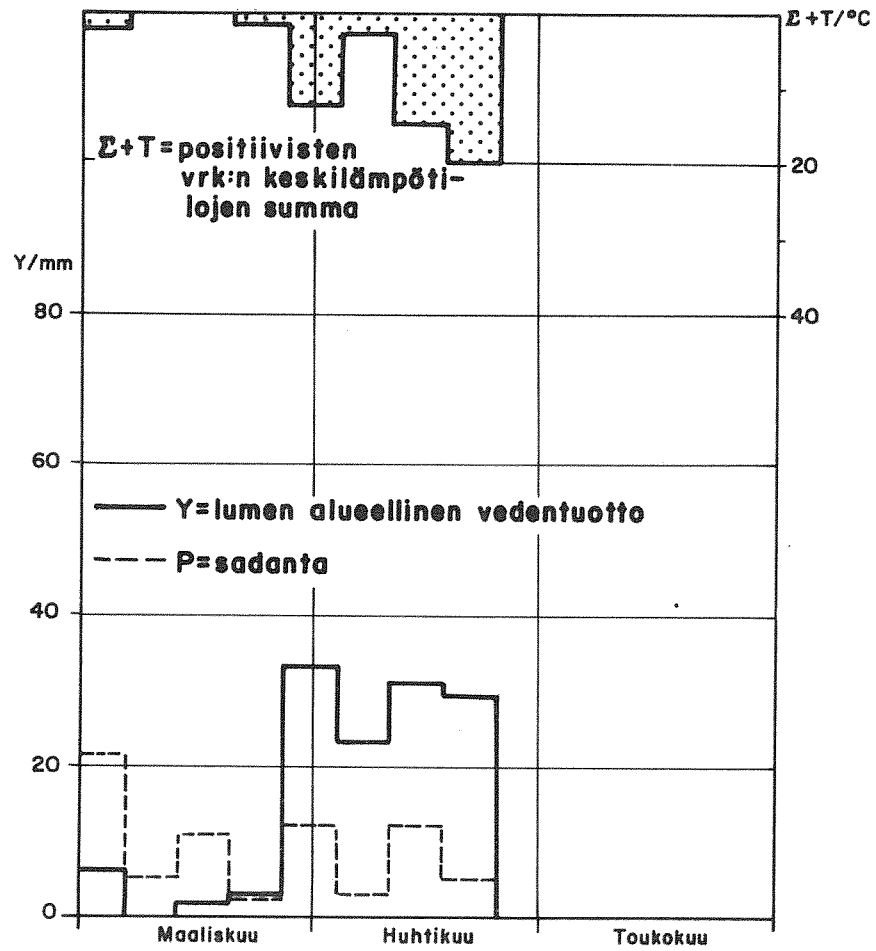
Valunta määritettiin 11 osavalunta-alueella. Alueiden pinta-alat vaihtelivat 5-25 km<sup>2</sup> ja järvisyydet 0-4 %. Alueet valittiin siten, että ne rajoittuvat järveen ja yläjuoksulla ei ollut mainittavasti varastoivia altaita. Valunta määritettiin järvien tulovirtaaman avulla.

##### 4.2 VALUMA-ALUEIDEN KUVAUS

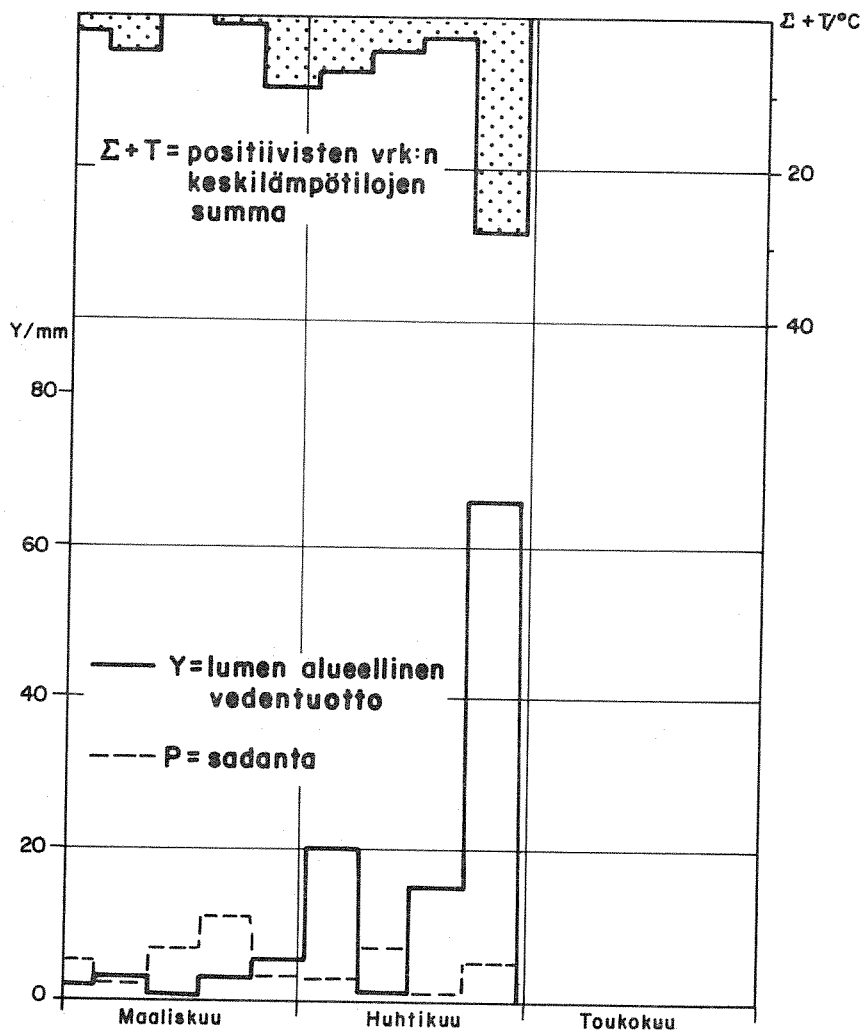
Tarkoitukseen soveltuvia valuma-alueita on Mäntyharjun reitillä runsaasti. Niinpä alkuperäisessä tutkimussuunnitelmassa havaintoja pyrittiin tekemään yli 30 järvellä. Osittain puutteellisten havaintojen takia jouduttiin osa alueista jättämään pois. Taulukossa 4 on esitetty tarkasteluun otettujen valuma-alueiden pinta-alat, järvisyydet ja eri maastotyyppien osuudet sekä alapuolisen järven pinta-ala. Valuma-alueet on nimetty tämän alapuolisen järven mukaan.



Kuva 8. Lumen alueellinen vedentuotto, sadanta ja positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen summa Puulaveden alueella 1.3-2.5.1977.



**Kuva 9.** Lumen alueellinen vedentuotto, sadanta ja positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen summa Puulaveden alueella 1.3-24.4.1978.



Kuva 10. Lumen alueellinen vedentuotto, sadanta ja positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen summa Puulaveden alueella 1.3-30.4.1979.

Taulukko 4 Lumen sulamisvesivaluntatarkasteluun valittujen Mäntyharjun reitin pienten osavaluma-alueiden pinta-alat, järvisyydet ja eri maastotyyppien osuudet sekä alapuolisen järven pinta-ala

	Pinta- ala km <sup>2</sup>	Järvi- syys %	Eri maastotyyppin osuus valuma- alueesta			Alapuolisen järven pinta- ala km <sup>2</sup>
			pelto	suo	metsä	
Sienijärvi	12,4	0,5	12,9	8,9	77,7	2,7
Kuvasjärvi	5,0	-	10,0	4,0	86,0	1,0
Haapajärvi	28,1	2,5	12,1	5,7	79,7	3,9
Hirvijärvi	28,4	4,0	12,7	2,8	80,5	5,2
Säynätlampi	8,7	3,1	20,8	3,6	72,5	1,1
Palijärvi	10,8	-	12,1	13,9	74,0	1,4
Ahvenjärvi	6,1	-	18,1	3,3	78,6	1,3
Matala- Pölläkkä	7,7	-	15,6	10,4	74,0	1,0
Iso-Siika- järvi	12,1	3,0	5,0	5,1	86,9	1,8
Kääkönlampi	6,8	-	7,4	10,3	82,4	1,4
Hietanen	5,5	-	20,5	-	79,5	2,5

#### 4.3 VALUNNAN OSUUS LUMEN ALUEELLISESTA VEDENTUOTOSTA ERI VALUMA-ALUEILLA

Valunta laskettiin keskiarvona jaksolle 1.3-10.5. Keväältä 1977 on järvien vedenkorkeustiedot puutteellisia, joten tässä on tarkasteltu vain kevättä 1978 ja 1979. Taulukossa 5 on esitetty valuntatietojen lisäksi lumen alueellinen vedentuotto ko. alueella ja valuntakerroin.

Taulukko 5 Valunta, lumen alueellinen vedentuotto ja valuntakerroin jaksolla 1.3-10.5 vuosina 1978-1979 Mäntyharjun reitin eri osavaluma-alueilla

Valuma- alue	1978			1979			1978-1979 valunta- kertoimen keskiarvo %
	Veden- tuotto 1/s km <sup>2</sup>	Valunta 1/s km <sup>2</sup>	Valunta- kerroin %	Veden- tuotto 1/s km <sup>2</sup>	Valunta 1/s km <sup>2</sup>	Valunta- kerroin %	
Sienijärvi	31,7	16,8	53	33,4	22,8	68	61
Kuvasjärvi	31,8	9,1	29	33,3	21,0	63	46
Haapajärvi	23,1	10,5	46	30,8	15,4	50	48
Hirvijärvi	23,1	13,0	56	30,7	15,0	49	53
Säynätlampi	23,2	12,6	54	30,7	19,4	63	59
Palijärvi	23,1	16,2	70	30,8	21,1	69	70
Ahvenjärvi				29,6	23,1	78	78
Matala-Pölläkkä	31,6	15,6	49	33,4	19,8	59	54
Iso-Siikajärvi	32,0	7,9	25	33,2	14,0	42	34
Kääkönlampi	23,3	8,3	36	30,1	12,8	42	39
Hietanen	23,2	11,0	48	31,0	22,1	71	60
Keskiarvo	26,6	12,1	46	31,5	18,8	59	55

## 4.4 MAASTOTYYPIN VAIKUTUS VALUNTAKERTOIMEEN

Valuntakertoimen keskiarvo tutkituilla alueilla oli keväällä 1978 47 % ja keväällä 1979 59 %. Suurin syy tähän melko suureen eroon lienee kevään sää. Keväällä 1978 sulaminen tapahtui melko tasaisesti alkaen maaliskuun lopulla (kuva 10). Tällöin sulamisen intensiteetti jäi pieneksi. Sen sijaan keväällä 1979 pääosa lumesta sulii aivan huhtikuun lopussa (kuva 10), jolloin sulamisen intensiteetti oli suuri.

Eri maastotyyppien vaikutusta valuntaan selvitettiin laskeamalla niiden osuuksien valuma-alueesta ja valuntakertoimien väliset korrelaatiokertoimet molempien keväitten osalta (taulukko 6).

Taulukko 6 Valuntakertoimen ja eri valuma-alueiden, suon, pellon, metsän sekä järvien osuuksien väliset korrelaatiokertoimet keväinä 1978 ja 1979

Valuntakerroin		Eri maastotyyppien osuus			Järvisyys
		pelto	suu	metsä	
1.3-10.5	1978	0,55	0,32	-0,84	-0,01
1.3-10.5	1979	0,71	-0,12	-0,49	-0,53
Keskiarvo					
1.3-10.5	1978-1979	0,69	0,19	-0,86	-0,24

Havaintoja oli 1978 10 ja 1979 11, joten vapausasteet olivat vastaavasti 9 ja 10. Kertoimista olivat tilastollisesti merkitseviä 95 % merkitsevyydellä ainoastaan pellon ja metsän osuudet sekä järvisyys keväällä 1979. Pellon osuuden kasvu lisää siten valunnan osuutta lumen alueellisesta vedentuotosta ja metsä vastaavasti vähentää sitä. Se, ettei soiden määrän vaikutus valuntaan ole tilastollisesti merkitsevä, lienee seurausta siitä, että osa soista on ojitettu.

## 4.5 VALUNTAKERTOIMEN MÄÄRITYKSEN VIRHELÄHTEISTÄ

Kun valunnat määritettiin alapuolelta rajoittavan järven menovirtaaman avulla olisi luonnollisesti myös allassadannan ja haihdunnan erotus pitänyt ottaa huomioon. Normaali vuonna alueen sadanta välillä 1.3-10.5 on 85 mm ja järvi haihdunta noin 54 mm. Siten allassadannan ja haihdunnan erotukseksi saadaan 31 mm. Kun eri valuma-alueilla alapuolisen järven osuus valuma-alueen pinta-alasta oli 10-20 %, aiheuttaa allassadannan ja haihdunnan poisjättäminen 0,5-1,0 l/s km<sup>2</sup> suuruisen virheen valuntaan. Tämä merkitsee 5-10 % lisäystä valuntaan ja 2-4 % valuntakertoimeen. Keväällä 1978 sadanta oli vain noin 75 mm, joten em. vaikutus oli vieläkin pienempi. Edellistä suurempi virhe saattaa aiheutua lumen vedentuoton määrittämisessä käytetystä osa-aluejaosta. Esimerkiksi Palijärvi sijaitsee Synsiön ja Puulaveden alueiden rajalla. Jos sen olisi katsottu kuuluvan Synsiön alueeseen, olisivat valuntakertoimet olleet 52 % ja 63 %, kun ne nyt olivat 70 % ja 69 %.

## 5. PUULAVEDEN TULOVIRTAAMAN MUODOSTUMINEN

## 5.1 AIRAKSISEN JÄRVIKERROINMENETELMÄN KÄYTÖSTÄ LUONNONTILAISEN JÄRVI-REITIN VIRTAAMAN MUUTOSTEN TARKASTELUSSA

Käsillä olevan julkaisun osassa Tulvavirtaamien muutokset ja eteneminen Mäntyharjun reitillä, on järvikerroinmenetelmää käsitelty lähemmin. Siinä järven numero  $i$  menovirtaamalle esitettyä järven numero 1 menovirtaaman ja välialtaiden järvikertoimien avulla saatiin:

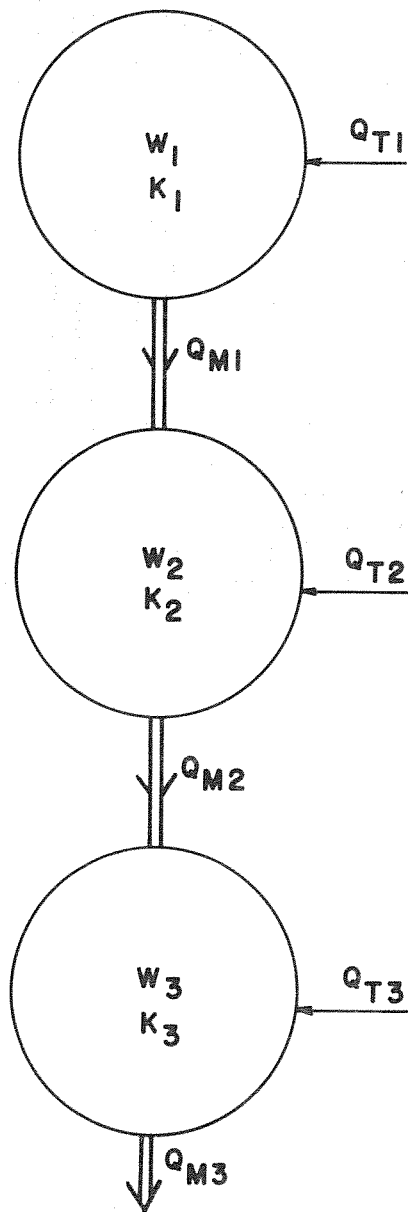
$$Q_{Mi} = Q_{T1} \left\{ 1 - \left[ \frac{K_1^{i-1}}{(K_1-K_2)(K_1-K_3)\dots(K_1-K_i)} \cdot e^{-\frac{t}{K_1}} + \frac{K_2^{i-1}}{(K_2-K_1)(K_2-K_3)\dots(K_2-K_i)} \cdot e^{-\frac{t}{K_2}} + \dots + \frac{K_i^{i-1}}{(K_i-K_1)(K_i-K_2)\dots(K_i-K_{i-1})} \cdot e^{-\frac{t}{K_i}} \right] \right\} \quad (3)$$

Luonnontilaisessa järvessä järvikerroin  $K$  on vedenkorkeuden funktio. Järven pinta-ala kasvaa ja purkautumiskäyrän tangentin kulmakerroin pienenee vedenkorkeuden noustessa. Pinta-alan kasvu on usein lineaarista ja melko vähäistä. Kulmakerroin sensijaan pienenee aluksi varsin radikaalisti. Korkeimmilla vedenkorkeuksilla se on kuitenkin lähes vakio. Siten myös järvikertoimen arvo on yliveden aikana suhteellisen stabiili.

Tarkastellaan kuvan 11 mukaista tilannetta. Oletetaan, että järvikertoimet ( $K_1, K_2, K_3$ ) ovat vallitsevilla vedenkorkeuksilla ( $W_1, W_2, W_3$ ) vakioita. Reitän valuma-alueella on valunta pysynyt vakiona, jolloin lähivaluma-alueilta tulevat virtaamat ovat olleet ( $Q_{T1}, Q_{T2}, Q_{T3}$ ). Valunnassa tapahtuu vakion suuruinen muutos  $\Delta Q$  ja tulovirtaamissa vastaavasti  $\Delta Q_{T1}, \Delta Q_{T2}, \Delta Q_{T3}$ . Koska järvikertoimien oletetaan pysyvän vakioina, saadaan järven 3 menovirtaaman muutokseksi ajan  $t$  kuluttua kaavan (3) mukaan

$$Q_{M3} = Q_{T1} \left\{ 1 - \left[ \frac{K_1^2}{(K_1-K_2)(K_1-K_3)} \cdot e^{-\frac{t}{K_1}} + \frac{K_2^2}{(K_2-K_1)(K_2-K_3)} \cdot e^{-\frac{t}{K_2}} + \frac{K_3^2}{(K_3-K_1)(K_3-K_2)} \cdot e^{-\frac{t}{K_3}} \right] \right\} \\ + \Delta Q_{T2} \left\{ 1 - \left[ \frac{K_2}{K_2-K_3} e^{-\frac{t}{K_2}} + \frac{K_3}{K_3-K_2} e^{-\frac{t}{K_3}} \right] \right\} \\ + \Delta Q_{T3} \left( 1 - e^{-\frac{t}{K_3}} \right) \quad (4)$$





$W$  = vedenkorkeus

$K$  = järvikerroin

$Q_T$  = idhivaluma-alueen tulovirtaama

Kuva II. Kolmen altaan muodostaman järvireitän kaaviokuva.

Yllä esitetty tilanne on luonnollisesti puhtaasti teoreettinen. Luonnontilaiset tulovirtaamalisäykset eivät ole vakioita eikä järvikertoimiakaan voida yleensä pitää muuttumattomina. Menetelmää voitaneen kuitenkin käyttää silloin, kun halutaan karkea arvio valunnan muutosten vaikutuksesta jonkin alajuoksulla olevan järven menovirtaamaan.

## 5.2 PUULAVEDEN VALUMA-ALUEEN YLEISKUVAUS

Puulavesi on Mäntyharjun reitin suurin järvi. Yhdessä samassa tasossa olevien Liekuneen ja Ryökäsveden kanssa sen pinta-ala on  $375 \text{ km}^2$  (NN+94,70). Valuma-alueen pinta-ala Kissakoskella on  $3455 \text{ km}^2$  ja järvisyys 23,2 %. Puulan ja sen kanssa samassa tasossa olevien järvien osuus valuma-alueesta on peräti 10,9 %. Järvettömän lähivaluma-alueen pinta-ala on  $1286 \text{ km}^2$ . Sen lisäksi valuma-alueeseen kuuluu kaksi suurehkoa järveä ja viisi järvireittiä. Läsäkosken kautta Puulaveteen laskevan pääreitin valuma-alue on  $1485 \text{ km}^2$  eli noin 43 % koko valuma-alueesta. Taulukossa 7 on esitetty valuma-alueen tärkeimpien järvien pinta-alat ja järvikertoimet. Eri reittien järvet on numeroitu alajuoksulta lähtien ja reitin haarautuessa on osat erotettu kirjaimilla.

Taulukko 7 Järvikertoimet ja altaan pinta-alat Puulaveden laskevillä reiteillä

Järvi	Järvikerroin (vrk)		Pinta-ala (km <sup>2</sup> ) MW	
	MW	MHW		
Pääreitti				
	1. Rauhajärvi	4,36	1,68	11,6
A	2. Petäinen	3,08	0,75	0,8
	3. Palijärvi	10,12	4,67	1,4
B	2. Kyyvesi	61,71	30,85	133,3
	3. Härkäjärvi		11,60	5,9
	4. Kutemajärvi	8,70	3,26	4,7
	5. Ylemmäinen	9,84	3,54	3,4
	6. Mutala-Pölläkkä		9,10	1,0
C	3. Pitkäsjärvi			2,1
	4. Pyhäluoma			
	5. Loukeinen		2,31	1,0
	6. Pyhäjärvi		13,19	11,4
D	5. Vehvasjärvi+Niskajärvi			
	6. Iso-Naakkima	36,57	21,76	11,3
	7. Vähä-Naakkima	11,45	4,96	3,3
	8. Heiniönjärvi	5,78	2,78	1,6
E	6. Naarajärvi	11,00	3,85	5,5
F	6. Suur-Perkaa			
	7. Iso-Lahnanen	3,13	1,93	1,0
G	7. Iso-Kaatluoma	13,90	8,68	1,5
	1. Mallusjärvi	39,12	7,15	10,3
	2. Sienijärvi	20,13	12,50	2,7
	1. Korpijärvi	24,07	12,04	10,4
	2. Yläne			
	3. Hirvijärvi		1,45	1,5
	1. Pieni-Kaihlanan	0,32	0,29	0,2
	2. Suur-Kaihlanan	2,43	2,19	1,5
A	3. Ahvenjärvi			
B	3. Synsiö	22,33	5,58	19,3
	4. Yläne	30,20	4,02	2,9
C	4. Iso-Siikajärvi	13,88	3,47	1,8
	1. Hirvijärvi	29,69	16,55	5,2
	1. Haapajärvi	19,70	15,04	3,9

## 5.3 VALUNNAN MUUTOKSEN VAIKUTUKSESTA PUULAVEDEN TULOVIRTAAMAAN

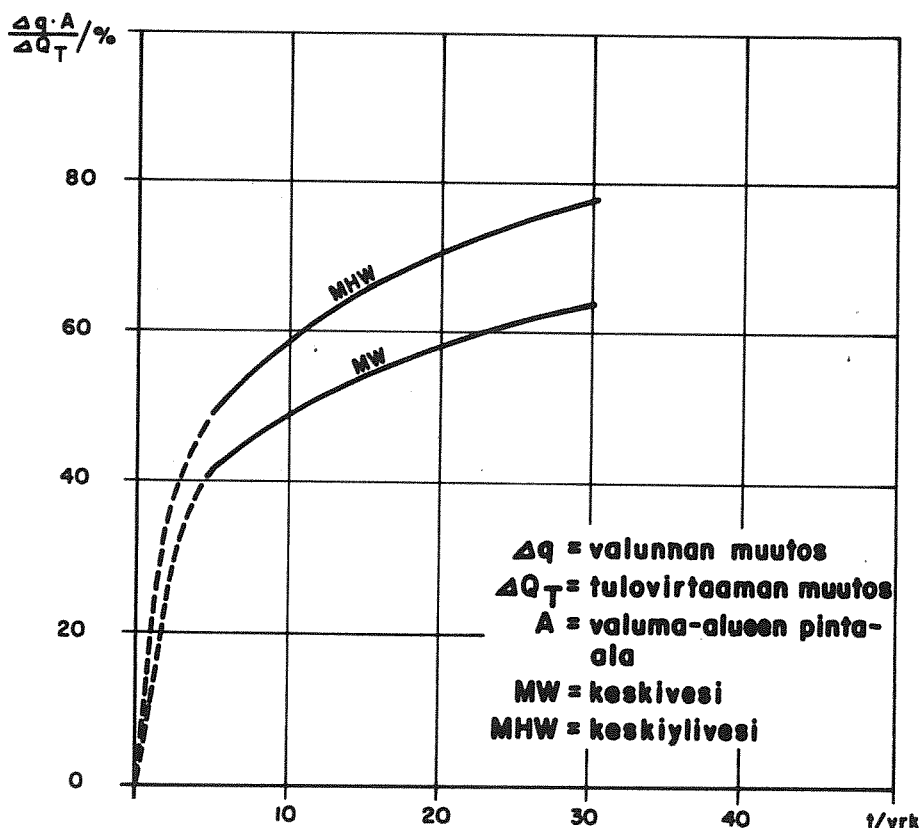
Maa-alueilla tapahtuvan valunnan muutoksen ja Puulaveden tulovirtaaman välistä viipymää selvitettiin järvikerroinmenetelmän avulla seuraavasti:

1. Määritettiin, kuinka suuri osa järven i vakiosuuruisesta tulovirtaaman muutoksesta näkyy Puulaveden tulovirtaamassa 5, 10, 15, 20, 25 ja 30 vuorokauden kuluessa.

2. Kertomalla saadut osuudet järven i lähivaluma-alueen alalla saatiin niiden alueiden alat, joilla tapahtunut vakiosuuruinen valunnan muutos näkyy Puulaveden tulovirtaamassa 5, 10, 15, 20, 25 ja 30 vuorokauden kuluessa.

3. Toistettiin laskelma kaikille valuma-alueen järville.

4. Laskettiin eri viipymiin pinta-alasummien osuus koko valuma-alueesta.



Kuva 12. Valuma-alueella tapahtuvan vakiosuuruisen valunnan muutoksen vaikutus Puulaveden tulovirtaamaan muutoksesta kuluneen ajan funktiona.

Siten puolet tulvatilanteessa tapahtuvasta valunnan muutoksesta näkyy Puulaveden tulovirtaamassa 5 vuorokauden kuluessa (vastaavasti keskiveden vallitessa 43 %) (kuva 12). Esimerkiksi, jos valunta kasvaa 5 l/s km<sup>2</sup>, kasvaa Puulaveden tulovirtaama 5 vuorokauden kuluessa

$$Q_T = 0,51 \times 5 \text{ l/s km}^2 \times 3460 \text{ km}^2 = \text{n. } 9 \text{ m}^3/\text{s}$$

(vastaavasti MW:n vallitessa 7 m<sup>3</sup>/s).

## 6. PUULAVEDEN JA VUOHIJÄRVEN TULOVIRTAAMAN ENNUSTAMINEN

### 6.1 PUULAVEDEN TULOVIRTAAMAENNUSTEET

#### 6.11 Tulovirtaamaennusteen tarpeellisuus

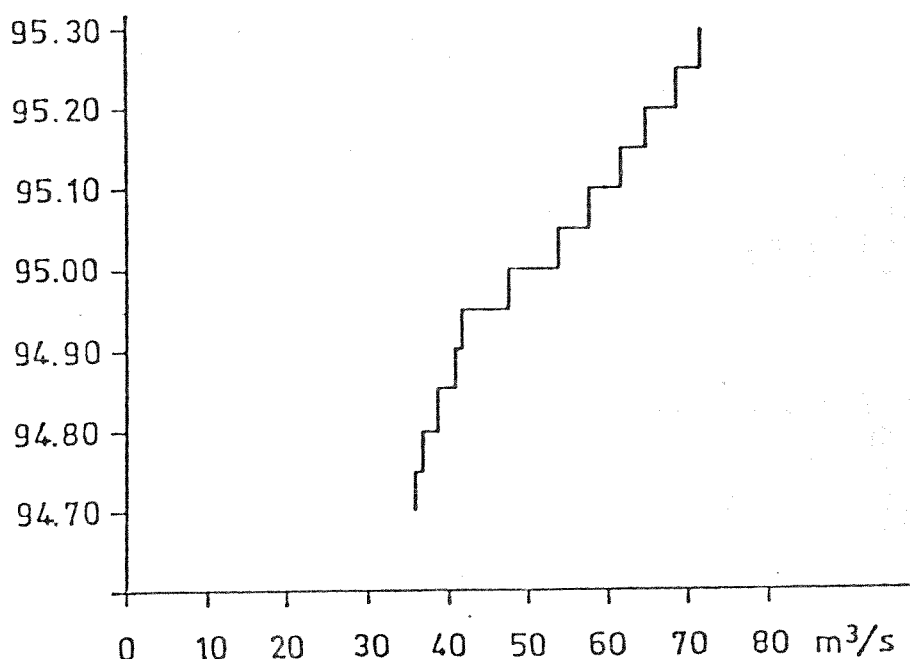
Puulavettä, Ryökäsvettä ja Liekunetta säännöstellään Kissa-kosken voimalaitospadolla vuodelta 1964 olevan säännöstelyluvan mukaisesti. Itä-Suomen vesioikeuden myöntämässä luvassa

on järvien vedenpinnan korkeudelle määrätty kiinteä alaraja, NN + 94,22. Yläraja on suuren osan vuotta korkeudella NN + 94,70. Tällä välillä juoksutus voidaan valita vapaasti. Ylärajan ylittyessä juoksutukselle on määrätty kuvan 13 mukaiset vähimmäisviikkokeskiarvot. Kissakosken voimalaitoksen rakennusvirtaama on  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , mutta optimijuoksutus vain  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kun vesi nousee säännöstelyn ylärajalle, on kuvan 13 mukaan juoksutuksen viikkokeskiarvo oltava  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  tai enemmän. Siten on voimalaitoksen kannalta tärkeää pitää veden pinta ylärajan alapuolella.

## Liekune

W

NN+m



Kuva 13. Puulaveden säännöstelyluvan mukainen juoksutus vedenkorkeuden ollessa yli NN+94,70 m

Rakennusvirtaaman suuruisen vuorokauden mittainen juoksutus vastaa n. 0,9 cm:n ja optimijuoksutuksen n. 0,8 cm:n muutosta Puulaveden vedenkorkeudessa. Kun tulovirtaaman kuukausikeskiarvo pienimmillään on normaalivuonna  $10\text{--}15 \text{ m}^3/\text{s}$ , on veden pinnan laskeminen kevättulvan varalta erittäin hidasta. Esimerkiksi veden korkeuden laskeminen 20 cm:llä juoksutuksen ollessa  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  ja tulovirtaaman  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  kestää n. 35 vrk. Siten säännöstelyn hoidon kannalta on tärkeää saada ennuste kevään kokonaistulovirtaamasta jo helmikuussa. Puulaveden varastotilavuus on tuleviin vesimääriin verrattuna suuri. Toisaalta Kissakosken rakennusvirtaama on pieni ja ohijuoksutusmahdollisuudet ovat jo alapuolisen vesistön vedenjohtokyvyn takia rajalliset. Siten tulovirtaaman huipparvojen ennustaminen ei ole tarpeellista. Kun veden pintaa

lasketaan kevättulvan varalta, on se kuitenkin pidettävä alarajan yläpuolella. Juoksutusten tarkoituksenmukaisen suunnittelun kannalta on siten saatava ennuste erikseen myös talven kokonaistulovirtaamalle.

## 6.12 Ennustemallien muuttujien valinta

### 6.121 Yleisiä näkökohtia

Puulaveden talven ja kevään tulovirtaamaan vaikuttavista tekijöistä tärkeimmät ovat:

- edellisen syksyn sateista valuma-alueen järviin, soihin ja maaperään varastoitunut vesi
- lumipeitteeseen varastoitunut vesi
- talven ja kevään sadanta

Syksyn sadannan vaikutus tulovirtaamaan on suurin talvella, jolloin sulamisvesivaluntaa ei juuri esiinny. Lumipeitteeseen varastoitunut vesi vapautuu yleensä huhtikuussa vaikuttaen siten kevään tulovirtaamaan. Talven ja kevään sadanta vaikuttaa kahdella tavalla. Puulaveden pinnalle tullut suora sadanta näkyy välittömänä tulovirtaaman lisäyksenä ja maa-alueille tullut sadanta erilaisten varastoitumisten jälkeen (lumipeite, maaperä, järvialtaat).

### 6.122 Syksyn sadanta

Puulaveteen laskevat järvireitit ovat muutamaa lievää säännöstelyä lukuunottamatta luonnontilaiset. Reitit ovat melko lyhyitä (1-4 järveä, alle 20 km) ja järvet pieniä (alle 20 km<sup>2</sup>). Poikkeuksen muodostaa pääreitti, jonka pituus on n. 60 km ja jonka suurimman järven, Kyyveden, pinta-ala on 133 km<sup>2</sup>. Puulaveden valuma-alueesta n. 40 % sijaitsee Kyyveden yläpuolella. Kun Kyyveden luusua on luonnontilainen, on sen vedenkorkeus sopiva kuvaamaan syksyn sateista Puulaveden valuma-alueelle varastoituneen veden määrää.

Kyyveden vedenkorkeuden vaikutusta Puulaveden eri kuukausien tulovirtaamiin on selvitetty korrelaatiotaulukon avulla (taulukko 8).

Taulukko 8 Kyyveden vedenkorkeuden ja Puulaveden tulovirtaaman väliset korrelaatiokertoimet (havaintojaksolla 1966-1979)

Puulaveden tulovirtaama		Kyyveden vedenkorkeudet				
		W <sub>1.1</sub>	W <sub>1.2</sub>	W <sub>1.3</sub>	W <sub>1.4</sub>	W <sub>16.4</sub>
Q	1.1-31.1	0,909				
Q	1.2-28.2	0,790	0,874			
Q	1.3-31.3	0,809	0,832	0,828		
Q	1.4-30.4		0,646	0,631	0,652	
Q	1.5-31.5		-0,221	-0,158	-0,108	
Q	1.1-31.3	0,889				
Q	1.2-31.3	0,834				
Q	1.2-31.5					
Q	1.3-31.5			0,523		
Q	1.4-31.5				0,293	
Q	16.4-31.5			0,111	0,108	

Voidaksemme tulkita ylläolevaa taulukkoa täytyy lisäksi laskea pienin korrelaatiokerroin, jolla ko. aineisto tietyllä riskitasolla todistaa kahden muuttujan korreloivan. Tämä tapahtuu t-jakauman avulla (A . Halt, 1962).

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{f}, \quad f = n-2$$

jossa f = vapausasteet, r = korrelaatiokerroin ja n = havaintojen lukumäärä.

Kun valitaan riskitasoksi 5 %, on pienin tilastollisesti merkitsevä korrelaatiokertoimen arvo 0,46 ja vastaavasti 10 %:n riskitasolla 0,40. Siten Kyyveden vedenkorkeus selittää Puulaveden tulovirtaamia erittäin hyvin. Talvikaudella ovat korkeat korrelaatiokertoimet odotusten mukaiset. Sen sijaan toukokuun korrelaatiokertoimet eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Tämä johtuu siitä, että toukokuun tulovirtaamasta on Kyyveden yläpuoliselle alueelle varastoituneen veden osuus melko pieni.

Tammi-helmikuussa Kyyveden menovirtaama korreloi vedenkorkeutta paremmin Puulaveden tulovirtaaman kanssa (taulukko 9).

Taulukko 9 Kyyveden menovirtaaman ja Puulaveden tulovirtaaman väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979

$Q^F_{N.N.-K.K.}$	=	Puulaveden kokonaistulovirtaama ajalla N.N.-K.K.	
$Q^M_{N.N.}$	=	Kyyveden menovirtaama	
N.N. ja K.K.	=	päivämääriä	
-----			
Puulaveden tulovirtaama		Kyyveden menovirtaama	
		$Q^M_{15.12}$	$Q^M_{1.1}$
QT 1.1-31.1		0,964	0,976
QT 1.2-28.2		0,824	0,842
QT 1.3-31.3		0,820	0,797
QT 1.1-31.3		0,930	0,934
QT 1.2-31.3		0,858	0,855

### 6.123 Lumen vesiarvo

Puulaveden valuma-alueella lumipeite katoaa metsistä keskimäärin 5-10.5 ja aukeilta 10 vrk aikaisemmin (Simojoki, 1947). Lumen sulaminen alkaa usein jo maaliskuussa, mutta tällöin sen aiheuttama valunta on yleensä vähäistä. Siten lumipeitteeseen sitoutunut vesi vaikuttaa lähinnä huhti-toukokuun tulovirtaamaan (taulukko 10).

Taulukko 10 Lumen vesiarvon ja Puulaveden kevään tulovirtaaman väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979

$Q^T_{N.N.-K.K.}$	=	Puulaveden kokonaistulovirtaama ajalla N.N.-K.K.				
$L_{N.N.}$	=	Lumen vesiarvo				
N.N.	=	päivämäärä				
-----						
Puulaveden tulovirtaama		Lumen vesiarvo				
		L 1.2	L 1.3	L 16.3	1.4	L 16.4
QT 1.2-31.5		0,180				
QT 1.3-31.5			0,239			
QT 16.3-31.5			0,327	0,271		
QT 1.4-31.5			0,371	0,329	0,273	
QT 16.4-31.5			0,458	0,432	0,370	0,399
QT 1.5-31.5			0,553	0,617	0,592	0,640

Maaliskuun alun jälkeen ei lumen vesiarvo normaalivuonna enää kovin paljon kasva. Siten maaliskuun ensimmäisen päivän lumen vesiarvo antaa ensi arvion sulamisvesivalunnan suuruudesta. Pääosa sulamisesta tapahtuu yleensä huhtikuun lopussa ja toukokuun alussa. Korkein korrelaatiokerroin onkin touko-



kuun tulovirtaaman ja 16.4 mitatun lumen vesiaron välillä (0,64). Kerroin on tilastollisesti merkitsevä 1 %:n riskitasolla.

#### 6.124 Talven ja kevään sadanta

Sadannan vaikutus talven tulovirtaamaan rajoittuu lähes pelkästään järvien pinnalle tulevaan sateeseen. Se lisää tulovirtaamaa sekä suoraan allassadantana että välillisesti lisäämällä yläpuolisten järvien menovirtaamia. Puulaveden valuma-alueen suuren järvisyyden (23 %) takia ei myöskään tämä järvien pinnalle tuleva sadanta ole vailla merkitystä. Maa-alueille tullut sadanta varastoituu talvella lumipeitteeseen. Sulamiskaudella keskimäärin puolet sen ja jakson sadannan summasta valuu pinta- ja pintakerrosvaluntana alueen järviin. Sateinen kevät lisää tulovirtaamaa myös epäsuorasti pienentämällä haihduntaa. Sadannan ja tulovirtaaman korrelaatiokertoimet eri jaksoina on koottu taulukkoon 11.

Taulukko 11 Puulaveden tulovirtaaman ja sen valuma-alueen sadannan väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979

$Q^T_{N.N.-K.K.}$	=	Puulaveden kokonaisvirtaama ajalla N.N.-K.K.							
$P_N$	=	Kuukauden N sadanta							
N.N.	=	päivämäärä							
Puulaveden tulovirtaama		Puulaveden valuma-alueen sadanta							
		$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_{2-5}$	$P_{3-5}$	$P_{4-5}$	$P_{3-4}$
$Q^T_{1.2-28.2}$		0,100							
$Q^T_{1.3-31.3}$			0,566						
$Q^T_{1.4-30.4}$				0,407					
$Q^T_{1.5-31.5}$				0,320	0,054				
$Q^T_{1.2-31.5}$						0,649			
$Q^T_{1.3-31.5}$							0,598		
$Q^T_{1.4-31.5}$				0,504				0,420	0,538
$Q^T_{1.5-31.5}$				0,505				0,390	

Huhtikuun sadanta näyttäisi selittävän parhaiten huhtitoukokuun tulovirtaamaa. Sen sijaan koko kevään tulovirtaaman kanssa korreloi parhaiten vastaavan ajanjakson sadanta. Edellinen korrelaatiokerroin on tilastollisesti merkitsevä 95 %:n ja jälkimmäinen 99 %:n merkitsevyystasolla.

#### 6.125 Puulaveden tulovirtaamaan vaikuttavien tekijöiden vertailua

Tärkeimmät Puulaveden tulovirtaamaan vaikuttavat tekijät ovat

Kyyveden vedenkorkeus, lumen vesiarvo ennustehetkellä ja sadanta ennustehetkestä toukokuun loppuun. Nämä ovat käytännössä toisistaan riippumattomia. Muita tulovirtaamaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. haihdunta, maan kosteus, pohjavedenkorkeus ja routa. Seuraavassa on tarkasteltu lumen vesiarvon, tehoisan allassadannan (sadanta-haihdunta), Kyyveden vedenkorkeuden ja aluesadannan vaikutusta Puulaveden talven ja kevään tulovirtaamaan "keskiarvovuonna". Taulukossa 12 on esitetty em. tekijöiden keskiarvoja eri kuukausille.

Taulukko 12 Puulaveden tulovirtaaman, tehoisan allassadannan, valuma-alueen aluesadannan ja lumen vesiarvon aluearvon sekä Kyyveden vedenkorkeuden ja menovirtaaman keskiarvoja jaksolla 1966-1979, laskettuna Puulan pinnalle millimetreiksi muutettuna

Kuukausi/ ajanjakso	Puulaveden tulovir- taama	Tehoisa allas- sadanta 1)	Valuma-alueen		Kyyveden menovirtaama 3)
			alue- sadanta	lumen vesi- arvon alue- arvo 2)	
			(mm)		
Tammikuu	152	31	37	42	87
Helmikuu	107	24	30	68	70
Maaliskuu	109	18	33	96	66
Huhtikuu	264	16	39	107	57
Toukokuu	382	-8	36		98
1.2-31.5	863	49	137	68	299
1.3-31.5	755	25	107	96	195
1.4-31.5	647	8	75	107	117
16.4-31.5	559	0	57	77	96

1) haihdunta Suur-Saimaan ka jaksolla 1958-1975

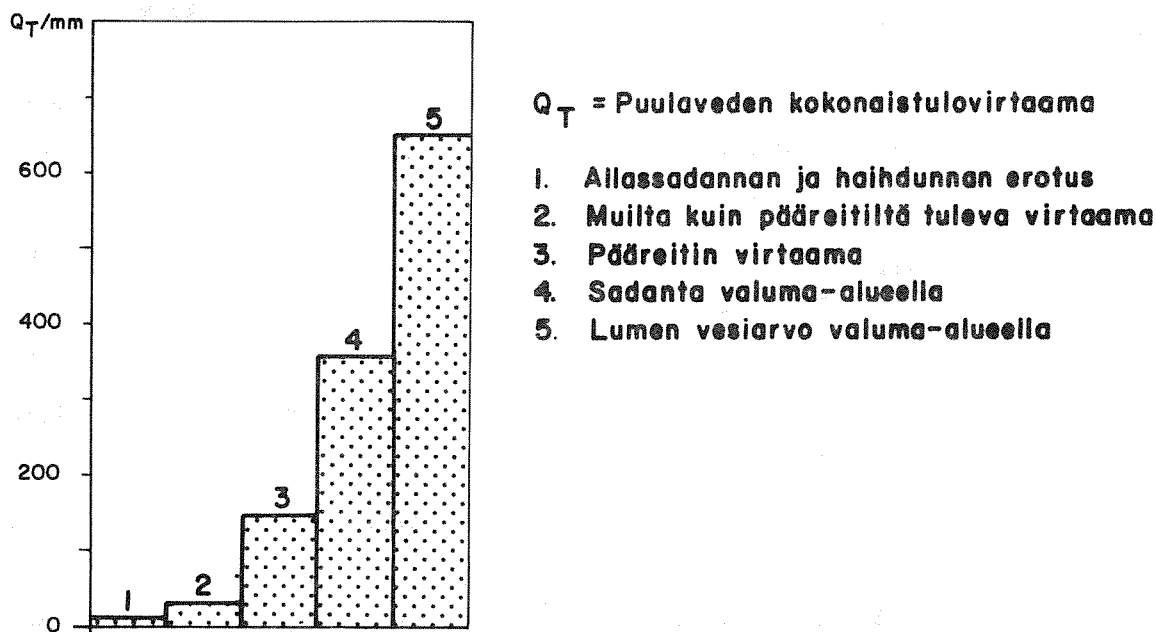
2) jakson alussa

3) jakson alun menovirtaama

Talvikaudella Kyyveden menovirtaaman osuus Puulaveden tulovirtaamasta on huomattava. Tammikuussa se on keskimäärin 57 % ja helmikuussa peräti 65 %. Helmikuussa Puulaveden tehoisan allassadannan osuus tulovirtaamasta on 22 %. Siten pohjavesivalunnan, mahdollisen sulannan ja muiden järvireitien osuudeksi jää ainoastaan 13 %.

Tarkastellaan sitten huhti-toukokuun tulovirtaaman muodostumista. Tällöin tulovirtaama on keskimäärin 647 mm. Kyyveden menovirtaaman osuus tästä on 18 % (117 mm). Kun Puulaveden allassadannan ja haihdunnan erotus on vain 1 % (8 mm) ja muilta järvireiteiltä tulevaksi valunnaksi arvioidaan 3 % (20 mm) jää maa-alueiden sulannan osuudeksi 78 % (502 mm), josta sadannan osuus on 32 % ja lumen vesiarvon 46 % (kuva 14).

Kun Puulaveden valuma-alueelle 1.4 varastoituneen lumen ja sadannan välillä 1.4-31.5 summa laskettuna Puulaveden pinnalle on keskimäärin 1288 mm, näkyy sadannan ja sulannan summasta Puulaveden tulovirtaamassa toukokuun loppuun mennessä keskimäärin 39 %.



Kuva 14. Puulaveden kokonaistulovirtaama välillä 1.4-31.5. eri tekijöiden summana.

### 6.13 Regressiomallit ennusteina

Kaikki mallit laskettiin käyttäen havaintojaksona vuosia 1966-1979. Siten havaintojen lukumäärä kussakin mallissa oli ainoastaan 14. Tämä rajoitti käytettävien muuttujien määrää, sillä havaintoja tulisi olla ainakin 10 enemmän kuin regressiomallin selittäjiä. Muuten vapausasteita ei ole riittävästi mallin keskivirheen estimoimiseksi (Tywoniuk ja Wiebe, 1970). Eri ajanjaksojen kokonaistulovirtaamille lasketut mallit on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13 Puulaveden talven ja kevään kokonaistulovirtaaman ennustemallit

$Q$	= Puulaveden kokonaistulovirtaama ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )
$Q_{N.N.}^M$	= Kyyveden menovirtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$N.N.$	= päivämäärä
$W_{N.N.}$	= Kyyveden vedenkorkeus NN-tasossa (m)
$Q_{MAX 12}^M$	= Kyyveden joulukuun maksimi menovirtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$T_{ero}$	= $OM_{MAX 12}$ :n sattumisajankohdan etäisyys 1.1 (vrk)
$WK_{N.N.}$	= $100 (W_{N.N.} - 100)$
$L_{N.N.}$	= lumen vesiarvon aluearvo Puulaveden valuma-alueella
$P_N$	= kuukauden N sadanta

Mallin numero	Ennuste- tejak- ero	Kokonaistulovirtaaman regressiomalli	Va- paus- aste	Jään- termien keski- hajonta $\times 10^6 \text{ m}^3$	Mallin keski- virhe $\times 10^6 \text{ m}^3$	Ennustet- tavan tu- nais- lovirtaa- nan kes- kiarvo $\times 10^6 \text{ m}^3$	koko- nais- korre- laatio- kerroin
1	1.1- 31.1	$Q=6,7+3,48QM_{1.1}$	13	8,3	9,0	57	0,976
2	1.1- 31.1	$Q=10,5+3,45QM_{1.1}$ $0,342T_{\text{ero}}$	12	7,8	8,8	57	0,979
3	1.1- 28.2	$Q=25,9+5,18QM_{1.1}$ $4,28(QK_{\text{MAX}12}-QM_{1.1})$	12	17,9	20,2	97	0,953
4	1.1- 31.3	$Q=40,4+6,74QM_{1.1}$	13	28,2	30,4	138	0,934
5	1.2- 31.3	$Q=36,3+1,42WK_{1.2}$ $75,2 \frac{WK_{1.1}-WK_{1.2}}{WK_{1.2}}$	12	16,5	18,6	81	0,917
6	1.2- 31.5	$Q=-83,6+2,16WK_{1.2}^+$ $1,23L_{1.2}+1,71P_{2-5}$	11	14,7	17,3	324	0,980
7	1.3- 31.5	$Q=-71,7+1,67WK_{1.3}^+$ $1,12L_{1.3}+1,79P_{3-5}$	11	15,6	18,5	284	0,963
8	16.3- 31.5	$Q=-76,7+1,24WK_{16.3}^+$ $1,14L_{1.3}+1,90P_{3-4}^+$ $1,61P_5$	10	16,4	20,4	263	0,954
9	1.4- 31.5	$Q=-51,5+0,92WK_{1.4}^+$ $1,13(L_{1.3}+P_3)+2,12P_4^+$ $1,16P_5$	10	16,6	20,7	243	0,947
10	16.4- 31.5	$Q=-54,2+0,42WK_{16.4}^+$ $1,14L_{16.4}+1,99P_4^+0,99P_5$ $+0,97(L_{1.3}+P_3-L_{16.4})$	9	17,2	22,8	210	0,936

Yleisvaikutelma malleista on hyvä. Kokonaiskorrelaatioker-  
toimet vaihtelevat 0,92-0,98 ja keskivirheitten osuus en-  
nustettavan keskiarvosta kevään malleilla 5-11 % ja talven  
malleilla 15-23 %. Koska vapausasteitten määrä on suhteel-  
lisen pieni (9-13), on kuitenkin syytä tutkia, ovatko mal-  
lien mukaiset eri selittäjien vaikutukset kokonaistulovir-  
taamaan fysikaalisesti järkeviä.

Talvikauden malleissa on tulovirtaaman ennustamiseen käy-  
tetty vain 1-2 muuttujaa. Silloin, kun muuttujia on ollut  
kaksi, on niiden välinen korrelaatiokerroin ollut pieni.  
Siten mallit lienevät melko luotettavia. Pienin korrelaa-  
tiokerroin on mallilla numero 5. Siinä, kuten muissakin  
talvikauden malleissa on tulovirtaamaa pyritty kuvaamaan  
pelkästään valuma-alueelle varastoituneen veden määrää mit-  
taavilla muuttujilla. Siten vakiotermin pitäisi sisältää  
allasadannan ja sulannan vaikutus. Helmi-maaliskuussa  
tulovirtaama on keskimäärin  $81 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Mallin 5 vakio-  
termi on tästä 44 % ( $36,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), joten yläpuolisen va-  
raston osuudeksi jää 56 %. Tämä vastaa hyvin taulukon 13  
arvoja. Siinä Kyyveden menovirtaaman osuudeksi Puulaveden  
tulovirtaamasta saatiin 52 %.

Kevään malleissa 6 ja 7 on tulovirtaamaa kuvattu kolmella, malleissa 8 ja 9 neljällä ja mallissa 10 viidellä muuttujalla. Samassa mallissa on käytetty vain toisistaan riippumattomia muuttujia. Poikkeuksen muodostaa malli 10, jonka lumen sulamista kuvaavan muuttujan ( $P_3+L_{1.3}-L_{16.4}$ ) ja Kyyveden vedenkorkeuden ( $WK_{16.4}$ ) välinen korrelaatiokerroin (0,4) on tilastollisesti merkitsevä riskitasolla 10 %.

Tarkastellaan mallien 9 ja 10 regressiokertoimien mielekkyyttä. Taulukossa 14 on esitetty muuttujien keskiarvoilla lasketut yhtälön eri termien suuruudet ja taulukossa 15 eri tekijöiden osuudet sekä taulukossa 13 esitetyt vastaavat arvot.

Taulukko 14 Regressiomallien 9 ja 10 muuttujien keskiarvoilla lasketut eri termien suuruudet

WK	=	100 (W - 100)
W	=	Kyyveden vedenkorkeus
L	=	lumen vesiarvo
N.N.	=	päivämäärä
P <sup>N</sup>	=	kuukauden N sadanta
Q <sup>N</sup>	=	Puulaveden kokonaistulovirtaama

Mallin n:o	Vakio	WK	$L_{1.3} + P_3$	$L_{16.4} \times 10^6 \text{ m}^3$	$P_4$	$P_5$	$L_{1.3} + P_3 - L_{16.4}$	Q
9	-51	26	145		84	41		243
10	-54	13		88	77	35	50	209

Taulukko 15 Eri tekijöiden osuus Puulaveden tulovirtaamasta taulukon 13 ja mallien 9 ja 10 mukaan laskettuna

malli/taulukko	tulovirtajakso	valuma-alueelle varastoitunut vesi %	lumipeitteeseen varastoitunut vesi	huhtitoukokuun sadanta
malli 9 taulukko 13	1.4-	9	49 <sup>(2)</sup>	42
malli 10 taulukko 13	16.4	24 <sup>(1)</sup>	33	42
malli 9 taulukko 13	31.5	21	46	33
malli 10 taulukko 13	31.5	23	39 <sup>(3)</sup>	38 <sup>(3)</sup>

1) WK:n ja  $L_{1.3} - P_3 - L_{16.4}$

2)  $P_3 + L_{1.3}$  osuus

3) laskettu valuntakertoimena 0,4

Taulukon 12 ja regressiomallien mukaan lasketut eri tekijöiden vaikutukset Puulaveden kokonaistulovirtaamaan vastaavat melko hyvin toisiaan. Mallissa 9 on valuma-alueelle varastoituneen veden määrän osuus jäänyt liian pieneksi. Tämä selittyy osaksi sillä, että lumipeitteeseen varastoitunutta vettä mittaava muuttuja ( $L_{1,3} + P_3$ ) sisältää myös maaliskuun sulannan. Lisäksi on molemmissa malleissa sadannan osuus kokonaistulovirtaamasta tullut jonkin verran suuremmaksi kuin taulukon 12 mukaan laskettuna. Tässä saatavat regressiomallit olla lähempänä oikeita arvoja, sillä sadannan suuren intensiteetin takia (vesisateet) on sadannan valuntakerroin suurempi kuin sulannan.

## 6.2 VUOHIJÄRVEN TULOVIRTAAMAENNUSTEET

### 6.21 Ennustetarpeesta

Vuohijärven nykyinen säännöstely perustuu Itä-Suomen vesioikeuden 23.6.1977 antamaan Mullinkosken rakentamislupaan. Luvan pääpiirteet ovat, että vedenkorkeuden ollessa Vuohijärvessä tason NN+76,74 yläpuolella pyritään noudattamaan luonnollista virtaamaa. Keväतालennus voidaan tehdä tasoon NN+76,00, mitä ei saa alittaa. Voimalaitos saa suorittaa vuorokausisäännöstelyä tietyillä edellytyksillä siten, että viikkojuoksutus ajalla 1.6 - 15.12 vastaa luonnollista purkaamaa ja muulloin vuosittain laaditussa juoksutusohjelmassa edellytettyä viikkojuoksutusta.

Siten edellyttää lupapäätös tulovirtaaman ennustamista joulukuun lopusta kesäkuun alkuun. Kun Siikakosken putouskorkeus on ainoastaan 3,2 m, on voimalaitoksen kannalta tärkeää pitää Vuohijärveä mahdollisimman ylhäällä.

### 6.22 Ennustemallin muuttujien valinta

#### 6.221 Yleisiä näkökohtia

Vuohijärven valuma-alueen pinta-ala on 5125 km<sup>2</sup> ja järvisyys 22,5 %. Peräti 68 % tästä on Puulaveden yläpuolella. Lopuista 33 %:sta on 20 % pääreitin varrella ja 13 % muodostuu Vuohijärven lähivaluma-alueesta ja Tihvetjärven valuma-alueesta. Siten Kissakosken juoksutuksella on erittäin merkittävä osuus Vuohijärven tulovirtaaman muodostumisessa. Kissakosken talven ja kevään juoksutusten suuruuteen vaikuttavat lähinnä Puulaveden vastaavan ajanjakson tulovirtaamat. Siten Vuohijärven ennusteiden tärkeimmät muuttujat ovat suurin piirtein samat kuin Puulaveden ennusteissa.

#### 6.222 Puulaveden menovirtaama ja Kyyveden vedenkorkeus

Puulaveden menovirtaaman muutos näkyy täysimääräisenä Vuohijärven tulovirtaamassa yliveden aikana noin kahden viikon kuluessa (P. Häkkinen, 1981). Aliveden aikana muutoksen eteneminen reitillä on luonnollisesti hitaampaa. Talvikaudella määrää Kissakosken juoksutus lähes kokonaan Vuohijärven tulovirtaaman suuruuden. Juoksutuksen suuruuteen vaikuttaa sähkötarve, Puulaveden vedenkorkeus ja tulovirtaama. Siten ennus-

teissa täytyy Kissakosken juoksutusten lisäksi (tai si-  
jasta) ennustejakson ollessa pitempi kuin yksi kuukausi,  
käyttää valuma-alueelle varastoituneen veden määrää ku-  
vaavaa muuttujaa. Tähän soveltuu hyvin Kyyveden veden-  
korkeus. Vaikka esim. Kissakosken tammikuun juoksaus  
ja Kyyveden vedenkorkeus helmikuun alussa eivät vaikuta  
toisiinsa, on niiden välinen korrelaatiokerroin ymmär-  
rettävästi melko korkea. Siten ko. muuttujien käyttämistä  
samassa mallissa tulee välttää. Taulukossa 16 on esitetty  
Kyyveden vedenkorkeuden, Puulaveden menovirtaaman ja Vuo-  
hijärven tulovirtaaman keskinäisiä korrelaatiokertoimia  
talvella ja keväällä.

Taulukko 16 Vuohijärven tulovirtaaman, Puulaveden menovir-  
taaman ja Kyyveden vedenkorkeuden välisiä  
korrelaatiokertoimia havaintojaksolla 1966-  
1979

Vuohijärven tulovirtaama eri ajan- jaksoilla	Puulaveden menovirtaaman keski- arvo eri ajanjaksoilla					Kyyveden vedenkorkeus				
	1.1- 31.1	1.2- 28.2	1.3- 31.3	1.4- 15.4	1.4- 30.4	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1.1-31.1						0,96				
1.2-28.2	0,83					0,86	0,93			
1.3-31.3	0,64	0,86				0,74	0,81	0,88		
1.4-30.4	0,54	0,65	0,79			0,61	0,63	0,69	0,81	
1.5-31.5	0,17	0,37	0,41	0,43	0,33	0,15	0,21	0,28	0,35	0,35
1.1-28.2	0,94					0,95				
1.1-31.3	0,90					0,93				
1.1-31.5						0,82				
1.2-31.5	0,61						0,72			
1.3-31.5		0,69						0,67		
1.4-31.5			0,67						0,63	
Kyyveden vedenkorkeus										
1.1	0,94									
1.2	0,92									
1.3		0,90								
1.4			0,92	0,88						
1.5				0,84						

Kyyveden vedenkorkeus selittää siten Puulaveden menovirtaa-  
maa paremmin Vuohijärven talven ja kevään tulovirtaamia.  
Erot ovat kuitenkin pieniä. Toukokuun tulovirtaaman ja Kyy-  
veden vedenkorkeuden väliset korrelaatiokertoimet eivät kui-  
tenkaan ole tilastollisesti merkitseviä. Puulaveden menovir-  
taaman 16.3-15.4 ja Vuohijärven toukokuun tulovirtaaman väli-  
nen korrelaatiokerroin (0,41) on sen sijaan tilastollisesti  
merkitsevä 90 %:n merkitsevyystasolla.

#### 6.223 Lumen vesi-arvo

Lumen vesi-arvon keskimääräinen vuotuinen maksimi Vuohijärven

valuma-alueella on 108 mm (v. 1961-1975). Kun valunta-kertoimeksi oletetaan 0,4, saadaan lumipeitteeseen varastoituneen veden aiheuttamaksi kokonaisvalunnaksi  $221 \times 10^6$  m<sup>3</sup> (Vuohijärven kokonaistulovirtaama 1.4-31.5 on  $304 \times 10^6$  m<sup>3</sup>). Vaikka koko tämä vesimäärä ei lisääkään Vuohijärven tulovirtaamaa toukokuun loppuun mennessä, on sen vaikutus silti merkittävä. Lumen vesi-arvon ja Vuohijärven tulovirtaaman väliset korrelaatiokertoimet on koottu taulukkoon 17.

Taulukko 17 Vuohijärven tulovirtaaman ja lumen vesi-arvon väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1979

Vuohijärven tulovirtaama eri ajanjak- soilla	Lumen vesi-arvo			
	1.1	1.2	1.3	1.4
1.1-31.5	0,27			
1.2-31.5		0,20		
1.3-31.5			0,39	
1.4-31.5			0,46	0,39
1.5-31.5			0,54	0,58

Lumen vesi-arvo korreloi odotetusti voimakkaasti ainoastaan toukokuun tulovirtaaman kanssa ( $r = 0,54$ ,  $L_{1,3}$  ja  $r = 0,58$ ,  $L_{1,4}$ ). Lisäksi on maaliskuun alun lumen vesi-arvon ja huhtitoukokuun tulovirtaaman välinen korrelaatiokerroin ( $r = 0,46$ ) tilastollisesti merkitsevä 95 %:n merkitsevyydellä.

#### 6.224 Kevään ja talven sadanta

Maalis-, huhti- ja toukokuun sadanta on yhteensä keskimäärin 106 mm. Siten sen ja maaliskuun alkuun mennessä lumipeitteeseen varastoituneen veden määrä on suurin piirtein yhtä suuri. Toukokuun sadannan aiheuttama valunta näkyy kuitenkin Vuohijärven tulovirtaamassa pääosaltaan vasta kesäkuussa. Talven sateet vaikuttavat lähinnä lumipeitteeseen varastoitunutta vesimäärää lisäämällä. Allassadannan osuus Vuohijärven tulovirtaamasta on hyvin pieni. Talven ja kevään sadannan korrelaatiokertoimet tulovirtaaman kanssa on koottu taulukkoon 18.



Taulukko 18 Vuohijärven tulovirtaaman ja sadannan väliset korrelaatiokertoimet havaintojaksolla 1966-1975

Vuohijärven kokonaistulovirtaama eri ajanjaksoilla	Vuohijärven valuma-alueen sadanta eri ajanjaksoilla								
	1.1-31.1	1.2-28.2	1.3-31.3	1.4-30.4	1.5-31.5	1.1-31.5	1.2-31.5	1.3-31.5	1.4-31.5
1.1-31.1	0,35								
1.2-28.2	0,44	-0,09							
1.3-31.3	0,43	0,15	0,47						
1.4-30.4	0,15	0,40	0,34	0,09					
1.5-31.5	0,17	0,49	0,37	0,57	-0,10				
1.1-31.5						0,51			
1.2-31.5							0,54		
1.3-31.5						0,67		0,03	
1.4-31.5						0,73	0,73		0,32

Vuohijärven valuma-alueen suuresta järvisyydestä ja pitkänomaisesta muodosta johtuen maa-alueilla tapahtuvan valunnan ja tulovirtaaman muutoksen väliset viipymät ovat pitkiä. Siten esim. huhtikuun sadanta ei vaikuta vastaavan ajanjakson tulovirtaamaan, mutta sen ja toukokuun tulovirtaaman välinen korrelaatiokerroin on melko suuri ( $r = 0,57$ ).

#### 6.225 Vuohijärven tulovirtaamaan vaikuttavien tekijöiden vertailua

Puulaveden säännöstelyn ja osittain siitä johtuvan Mäntyharjun reitin virtaaman muutosten hitaan etenemisen takia on eri muuttujien osuutta Vuohijärven tulovirtaaman muodostumisessa vaikea arvioida. Taulukossa 19 on esitetty Vuohijärven tulovirtaaman, Kyyveden vedenkorkeuden, lumen vesiaron ja sadannan lisäksi Puulaveden menovirtaaman keskiarvoja eri kuukausille.

Taulukko 19 Vuohijärven tulovirtaaman, lumen vesi-arvon, sadannan, Kyyveden vedenkorkeuden ja Puulaveden menovirtaaman kuukausikeskiarvoja jaksolla 1966-1979

	Vuohijärven kokonaistulo- virtaama $\times 10^6 \text{ m}^3$	Lumen <sup>1)</sup> vesi- arvo mm	Sadanta <sup>2)</sup> mm	Kyyveden <sup>3)</sup> menovir- taama $\times 10^6 \text{ m}^3$	Puula <sup>4)</sup> veden meno- virtaama $\times 10^6 \text{ m}^3$
1.1-31.1	103	42	32	33	
1.2-28.2	98	67	29	26	73
1.3-31.3	107	95	33	25	70
1.4-30.4	129	105	39	22	75
1.5-31.5	174		34	37	71
1.1-31.5	611	42	167		
1.2-31.5	509	67	135		289
1.3-31.5	411	95	106		216
1.4-31.5	304	105	73		146

- 1) Vuohijärven valuma-alueella jakson alussa
- 2) Vuohijärven valuma-alueella
- 3) Jakson alun tilannetta vastaava
- 4) Edellisen kuukauden menovirtaama

Puulaveden menovirtaaman osuus Vuohijärven tulovirtaamasta "keskiarvovuonna" on suurimmillaan helmikuussa (75 %) ja pienimmillään huhti-toukokuussa (48 %). Puulaveden alapuolisen vesistön osuus Vuohijärven tulovirtaaman muodostumisessa on siten huhti-toukokuussa keskimäärin  $158 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Alueen sadannan ja sulannan summa on tällöin  $297 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Jos valuntakertoimeksi oletetaan 0,40, on sulannan ja sadannan aiheuttama valunta  $119 \times 10^6 \text{ m}^3$  (= 75 % kokonaisvalunnasta). Tällöin valuma-alueelle, lähinnä järviin, varastoituneen veden osuudeksi jää  $39 \times 10^6 \text{ m}^3$  (= 25 % kokonaisvalunnasta). Vastaavan termin osuus Puulaveden tulovirtaamasta on keskimäärin 21 % (=  $44 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Siten kokonaisvaluma-alueen sulannan ja sadannan osuudeksi Vuohijärven tulovirtaamasta saataisiin  $221 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Tällöin ainoastaan 24 % huhti-toukokuun sulannasta ja sadannasta näkyisi Vuohijärven tulovirtaamassa toukokuun loppuun mennessä.

## 6.23 Regressiomallit ennusteina

Myös Vuohijärven regressiomalleja laskettaessa käytettiin havaintojaksona vuosia 1966-1979. Havaintojen määrä oli siten 14. Eri ajanjaksoille lasketut kokonaistulovirtaaman regressiomallit on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20 Vuohijärven talven ja kevään kokonaistulovirtaaman regressiomallit

- Q = Vuohijärven kokonaistulovirtaama ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )  
 WK<sub>N.N.</sub> = 100 ( $W_{N.N.} - 100$ , jossa  $W_{N.N.}$  on Kyyveden vedenkorkeus NN-tasossa ja N.N. on päivämäärä)  
 L<sub>N.N.</sub> = Lumen vesi-arvon aluearvo Vuohijärven valuma-alueella (mm)  
 P<sub>N</sub> = Kuukauden N sadannan aluearvo Vuohijärven valuma-alueella  
 QMP<sub>N</sub> = Puulaveden menovirtaaman kuukausikeskiarvo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  
 N = kuukausi

Malli n:o	Ennustejakso	Kokonaistulovirtaaman regressiomalli	Vapausaste	Jäännöstermien keskihajonta	Keskivirhe	Ennustettavan tulovirtaaman keskiarvo	Kokonaistulovirtaaman keskiarvo	Kokonaistulovirtaaman keskiarvo
				$\times 10^6 \text{ m}^3$	$\times 10^6 \text{ m}^3$	$\times 10^6 \text{ m}^3$	$\times 10^6 \text{ m}^3$	
1	1.1-31.3	$Q = 147, + 1,07 \text{ WK}_{1.1}$	13	40,3	43,6	308	0,942	
2	1.1-31.5	$Q = -109,0 + 5,34 \text{ WK}_{1.1} + 1,55 \text{ L}_{1.1} + 3,07 \text{ P}_{1-3} + 1,42 \text{ P}_{4-5}$	10	34,2	42,6	611	0,981	
3	1.2-31.5	$Q = -6,1 + 4,45 \text{ WK}_{1.2} + 1,01 \text{ L}_{1,2} + 4,52 \text{ P}_2 + 2,31 \text{ P}_3 + 1,39 \text{ P}_4$	9	24,8	32,8	509	0,982	
4	1.3-31.5	$Q = 21,4 + 3,59 \text{ WK}_{1.3} + 1,62 \text{ L}_{1.3} + 1,56 \text{ P}_{3-4}$	11	32,3	38,2	411	0,946	
5	1.3-31.5	$Q = -76,5 + 3,10 \text{ WK}_{1.3} + 0,60 \text{ QMP}_2 + 1,61 \text{ L}_{1.3} + 2,94 \text{ P}_3 + 1,51 \text{ P}_4 + 1,62 \text{ P}_5$	8	22,4	31,5	411	0,975	
6	1.4-31.5	$Q = -98,5 + 4,78 \text{ QMP}_3 + 0,94 \text{ L}_{1.3} + 2,55 \text{ P}_3 + 1,70 \text{ P}_4 + 0,83 \text{ P}_5$	9	25,4	33,6	304	0,943	
7	1.5-31.5	$Q = -29,2 + 0,34 \text{ WK}_{1.4} + 1,24 \text{ QMP}_{16.3-15.4} + 0,81 (\text{L}_{1.3} + \text{P}_3) + 1,43 \text{ P}_4$	10	16,4	20,4	174	0,939	

Regressiomallien kokonaiskorrelaatiokertoimet vaihtelevat 0,94-0,98 ja keskivirheitten osuus ennustettavan tulovirtaaman keskiarvosta 6-14 %. Siten mallit kuvaavat havaintojakson tulovirtaamia erittäin hyvin. Kuten Puulaveden on Vuohijärvenkin mallien heikkoutena pieni havaintomäärä verrattuna käytettyjen selittäjien määrään. Siten on syytä tutkia, ovatko eri muuttujien osuudet malleilla lasketuista kokonaistulovirtaamista fysikaalisesti järkeviä. Taulukossa 21 on esitetty muuttujien keskiarvoja vastaavat osuudet kaikkien mallien osalta. Taulukkoon 22 on koottu lumipeitteeseen varastoituneen ja ennustejaksolla siihen varastoituvan veden, valuma-alueen järviin varastoituneen veden sekä kevään sadannan osuudet eri malleilla lasketuista tulovirtaamista. Taulukossa 23 on esitetty vastaavat arvot, kun oletetaan, että talven maa-alueille tulleesta sadannasta, lumipeitteeseen varastoituneesta vedestä ja kevään sadannasta 30 %, sekä talven järvien pinnalle tulleesta sadannasta 80 %, näkyy Vuohi-

järven tulovirtaamassa toukokuun loppuun mennessä.

Taulukko 21 Malleilla lasketut muuttujien keskiarvoja vastaavat osuudet Vuohijärven kokonaistulovirtaamasta

Mallin numero	Vakio	WK	QMP	L	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	Q
1	147	161								308
2	-109	263		65	98	88	102	56	48	611
3	- 6	186		68		129	77	55		509
4	21	121		154			52	62		411
5	- 77	105	17	153			98	60	54	411
6	- 99		134	89			85	67	28	304
7	- 29	10	33	77			27	57		174

Taulukko 22 Malleilla lasketut lumen vesiarvon, talven ja kevään sadannan sekä valuma-alueen järvien varastoituneen veden osuudet kokonaistulovirtaamasta keskimäärin

Mallin numero	Ennustejakso	Lumen vesiarvo %	Talven sadanta P <sub>1</sub> -P <sub>3</sub> %	WK ja QMP %	Kevään sadanta P <sub>4</sub> -P <sub>5</sub> %
2	1-5	9	40	37	14 <sup>1)</sup>
3	2-5	13	40	36	11 <sup>1)</sup>
4	3-5	40	13	31	16 <sup>1)</sup>
5	3-5	31	20	25	24
6	4-5	43	-	33	24

1) vain P<sub>4</sub>

Taulukko 23 Talven ja kevään sadannan sekä lumipeitteeseen ja valuma-alueen järviin varastoituneen veden osuus Vuohijärven tulovirtaamasta "keskiarvovuonna"

Tarkastelujakso-kuukaudet	L	maa-alueet %	P <sub>1-3</sub> järvet %	P <sub>4-5</sub> %	Järvien varasto %
1-5	9	18	14	18	41
2-5	16	15	11	22	36
3-5	28	9	7	27	29
4-5	40			37	23

Regressiomalleilla saadut ja taulukkoon 23 lasketut eri tekijöiden osuudet Vuohijärven kokonaistulovirtaamasta vastaavat melko hyvin toisiaan. Regressiomalleissa näyttäisi talven sadanta ja lumen vesi-arvo saavan hieman liian suuren merkityksen. Tämä on luultavasti seurausta niiden Puulaveden juoksuudesta lisäävästä vaikutuksesta (mitä korkeampi lumen vesi-arvo, sitä alemmaksi on Puulaveden pinta laskettava ennen sulamiskautta).

### 6.3 ENNUSTEIDEN KÄYTTÖ

Ennustettava kokonaistulovirtaama lasketaan sijoittamalla ennusteyhtälön muuttujille vallitsevat arvot. Malleissa, joissa on käytetty selittäjinä ennustettavan jakson sadantaa, käytetään sen pitkäaikaista keskiarvoa.

Yksittäisen ennusteen siedettävälle virheelle käytetty kaava on WMO:n (WMO, 1975) mukaan:

$$S_{\text{siedettävä}} = 0,674 S_Y \quad (5)$$

jossa  $S_Y$  on ennustettavan keskihajonta. Kokemukseen perustuen on ennustemenetelmä käyttökelpoinen, kun 80 % yksittäisten ennusteiden virheistä on pienempiä kuin  $S_{\text{siedettävä}}$ .

Ennusteen tarkkuuden määrittämiseen voidaan käyttää myös American Soil Conservation Servicen käyttämää virheprosenttimenetelmää (Gürer, 1973).

Virheprosentti lasketaan seuraavasti:

$$\text{virhe \%} = \frac{\text{ennustettu arvo} - \text{havaittu arvo}}{\text{keskiarvo}} \cdot 100 \quad (6)$$

Ennusteen laatu luokitellaan virheprosentin avulla:

Virhe-%	Ennusteen laatu
0-5,0	erinomainen
5,0-10,0	hyvä
10,0-20,0	kohtalainen
yli 20	huono

### 6.31 Puulaveden talven ja kevään 1980 kokonaistulovirtaaman ennustaminen

Syksy 1979 oli sateinen. Loka-marraskuussa satoi Puulaveden valuma-alueella 121 mm. Siten valuma-alueen vesivarastot olivat talven alkaessa suhteellisen täynnä. Talvikuukausien sadanta oli lähes normaali, mutta maaliskuuhuhtikuu oli erittäin vähäsateinen ja toukokuu melko runsassateinen. Lumen vesi-arvon maksimi oli normaali. Talven ja kevään 1980 sadanta sekä lumen vesi-arvon ja Kyyveden vedenkorkeuden kehitys on esitetty taulukossa 24. Eri malleilla lasketut kokonaistulovirtaamat on koottu taulukkoon 25.

Taulukko 24 Lumen vesiarvo ja sadanta Puulaveden valuma-alueella sekä Kyyveden vedenkorkeus ja menovirtaama talvella ja keväällä 1980

Aika/ ajanjakso	Lumen vesiarvo (mm)	Sadanta/ sadannan keskiarvo (mm)	Kyyveden veden- korkeus (+NN m)	Kyyveden meno- virtaama (m <sup>3</sup> /s)
1.1	41		100,81	22,1
1.2	63		100,65	16,4
1.3	89		100,51	12,7
16.3	100		100,43	11,0
1.4	101		100,36	9,6
16.4	48		100,35	9,5
1.2-28.2		22/29		
1.3-31.3		14/33		
1.4-30.4		13/39		
1.5-31.5		50/36		

Taulukko 25: Regressiomalleilla lasketut Puulaveden talven ja kevään 1980 kokonaistulovirtaamaennusteet

Mallin numero	Ennuste- jakso	Kokonaistulovirtaama 1980		Ennuste- virhe	Virhe- prosentti %
		ennustettu	havaittu x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>		
1	1.1-31.1	83,6	80,3	3,6	6,3
4	1.1-31.3	189,4	168,3	21,1	15,2
5	1.2-31.3	110,1	88,0	22,0	27,2
6	1.2-31.5	368,6	270,3	98,3	30,4
7	1.3-31.5	315,4	211,8	103,6	36,5
8	16.3-31.5	271,5	196,2	75,3	28,6
9	1.4-31.5	209,4	182,3	27,4	11,3
10	16.4-31.5	181,8	153,3	28,5	13,6

Virheprosenttimenetelmällä saatiin eri mallien ennusteista seuraavat arviot:

- malli 1 hyvä
- mallit 4, 9 ja 10 kohtalainen
- mallit 5, 6, 7 ja 8 huono

Heikoin oli mallin n:o 7 ennuste, virheprosentti 36,5. Mallien 1, 4, 5, 9 ja 10 ennustevirheet olivat pienempiä kuin kaavalla 5 laskettu siedettävä virhe. Malleilla 6, 7 ja 8 saatujen ennusteiden virheet olivat huomattavasti suuremmat kuin siedettävät virheet. Syy tähän oli maaliskuuhuhtikuun sadannan huomattavasti normaalia pienempi arvo. Esim. kun mallilla 8 lasketaan kokonaistulovirtaama käyttäen todellista sadantaa, poikkeaa se vain  $12,2 \times 10^6 \text{ m}^3$  havaitusta (vastava ennustevirhe oli  $75,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

## 6.32 Vuohijärven kevään 1980 kokonaistulovirtaaman ennustaminen

Vuohijärven valuma-alueen talven ja kevään 1980 sadanta- ja lumen vesi-arvotiedot sekä tiedot Puulaveden menovirtaamasta on koottu taulukkoon 26. Eri malleilla lasketut kokonaistulovirtaamat on esitetty taulukossa 27.

Taulukko 26 Vuohijärven valuma-alueen sadanta sekä Puulaveden menovirtaama talvella ja keväällä 1980

Aika/ ajanjakso	Lumen vesiarvo	Sadanta/ sadannan keskiarvo mm	Puulaveden menovirtaama m <sup>3</sup> /s
1.1	41		
1.2	63		
1.3	89		
1.4	100		
1.1-31.1		26/32	41
1.2-28.2		23/29	41
1.3-31.3		14/33	40
1.4-30.4		15/39	31
1.5-31.5		53/34	27

Taulukko 27 Regressiomalleilla lasketut ennusteet Vuohijärven kevään 1980 kokonaistulovirtaamalle

Mallin numero	Ennuste- jakso	Kokonaistulovirtaama 1980 ennustettu	Ennuste- virhe	Virhe- prosentti
		havaittu x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>		%
2	1.1-31.5	684,2	650,8	33,4
3	1.2-31.5	608,3	501,9	106,9
4	1.3-31.5	461,0	384,5	76,5
5	1.3-31.5	460,5	384,5	75,9
6	1.4-31.5	306,5	269,6	37,0
7	1.5-31.5	129,1	145,6	16,5

Virheprosenttimenetelmällä arvioiden olivat mallien 2 ja 7 ennusteet hyviä ja mallien 3, 4, 5 ja 6 ennusteet kohtalaisia. Heikoin ennuste saatiin mallilla 3 jaksolle 1.2-31.5. Tällöin kaavalla 5 laskettu siedettävä virhe on  $93 \times 10^6 \text{ m}^3$  ja mallin ennustevirhe on 106, eli siis tätä suurempi. Myös mallien 4 ja 5 ennustevirheet ovat hieman suurempia kuin siedettävät virheet ( $S_{\text{siedettävä}} = 71 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Myös Vuohijärven ennustevirheiden suurin syy oli erittäin vähäsateisessa maaliskuuhuhtikuussa. Kun kokonaistulovirtaama välillä 1.2-31.5 lasketaan mallilla 3 käyttäen todellista sadantaa, poikkeava arvo havaitusta vain  $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  (vastaava ennustevirhe  $106,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

## 7. Y H T E E N V E T O

Mäntyharjun reitin valuma-alueelle perustettiin vuosiksi 1977-1979 laaja hydrologinen havaintoverkko. Se käsitti 30 lumilinjaa ja kymmenkunta virtaaman- ja vedenkorkeuden mitauspaikkaa. Tämän aineiston avulla pyrittiin selvittämään

lumen sulamisen ja valunnan suhteita. Lisäksi laadittiin tulovirtaamaennusteet Puulavedelle ja Vuohijärvelle hydrologisen toimiston aineiston avulla.

Sadannan aluearvot ja lumen alueellinen vedentuotto määritettiin viidellä eri osa-alueella. Synsiön alueella oli sadanta selvästi korkein. Tämä tukee Solantien (1975) tutkimusta, jossa ko. alueelle eri suuntaisille tuulille lasketut ns. rinne-efektin arvot ovat suurempia kuin muualla Mäntyharjun reitin valuma-alueella.

Lämpötilan vaikutusta sulantaan tutkittiin Puulaveden alueella. Positiivisten vuorokauden keskilämpötilojen viikkosumma selitti melko hyvin metsän sulantaa. Sen sijaan pellon sulantaan ei lämpötilalla ollut aivan yhtä suurta vaikutusta. Etenkin aikaisemmin talvella vaikuttaa myös suojakauden pituus sulannan suuruuteen ratkaisevasti.

Maaliskuun alun ja toukokuun 10 päivän välinen keskimääräinen valuntakerroin määritettiin 11 pienellä valuma-alueella. Valuntakertoimen keskiarvo oli keväällä 1978 47 % ja keväällä 1979 59 %. Eri alueita verrattaessa havaittiin, että pellon osuuden valuma-alueesta kasvaminen lisää valunnan osuutta sulannasta ja sadannasta.

Puulaveden kevään tulovirtaamalle on tyypillistä melko terävä tulvahuippu. Kuitenkin tulovirtaama pysyttelee alivirtaamakaudellakin suhteellisen korkeana. Tämä johtuu valuma-alueen muodosta. Järvikerroinmenetelmää soveltamalla saatiin, että vakiosuuruisesta Puulaveden valuma-alueella tapahtuvasta valunnan muutoksesta näkyy tulovirtaamassa 5 vuorokauden kulussa 50 % ja seuraavan 25 vuorokauden aikana nousisi em. osuus lähes 80 prosenttiin (kuva 12).

Vesistön suurimmille järville, Puulavedelle ja Vuohijärvelle, laskettiin talven ja kevään kokonaistulovirtaamaennusteet lineaarisesta regressioanalyysistä käyttäen. Puulaveden ennusteissa käytettiin tulovirtaaman selittäjinä seuraavia muuttujia:

- valuma-alueen suurimman luonnontilaisen järven, Kyyveden, vedenkorkeus ja menovirtaama
- lumen vesiarvo
- kevään sadanta

Vuohijärven ennusteissa käytettiin edellä mainittujen lisäksi yhtenä selittäjänä Puulaveden menovirtaamaa. Yleisvaikutelma malleista oli hyvä. Kokonaiskorrelaatiokertoimet vaihtelivat 0,92-0,98 (Puulavesi 0,92-0,98, Vuohijärvi 0,94-0,98) ja keskivirheen osuus ennustettavan tulovirtaaman keskiarvosta 5-23 % (Puulavesi talvi 15-23 %, kevät 5-11 %, Vuohijärvi 6-14 %).

Regressiomalleilla laadittiin kokonaistulovirtaamaennusteet keväälle 1980. Sateista syksyä 1979 seurasi lähes normaali-luminen talvi. Kevät sensijaan oli erittäin vähäsateinen (maalis-huhtikuussa sadanta oli 27 mm). Siten malleilla saatiin huomattavasti liian suuri arvio ajanjaksojen 1.2-31.5 ja 1.3-31.5 kokonaistulovirtaamasta. Sen sijaan pelkkien talvikuukausien (Puulavesi) ja huhti-toukokuun tulovirtaamat



pystyttiin ennustamaan huomattavasti paremmin. Virhepro-  
senttimenetelmällä arvioiden saatiin Vuohijärven kaikis-  
ta kevään ennusteista arvosana kohtalainen tai hyvä.

Puulaveden malleilla 5, 6, 7 ja 8 (1.2-31.3, 1.2-31.5  
ja 16.3-31.5) ennuste oli huono (kaavalla 5 mallin 5 virhe  
kuitenkin pienempi kuin siedettävä virhe, mallilla 1  
(1.1-31.1) hyvä ja malleilla 4, 9 ja 10 (1.1-31.3, 1.4-  
31.5 ja 16.4-31.5) kohtalainen.

## ENGLISH SUMMARY

An extensive hydrological observation network was established on the drainage basin of the Mäntyharju watercourse for the years 1977 - 1979. It consisted of 30 snow surveys and about ten separate points for measuring discharge and water level. These were used to illustrate the relation between snow melting and runoff. Additionally, inflow estimates were calculated for lake Puulavesi and lake Vuohijärvi basing on the data of the Hydrological Office.

The drainage basin of the Mäntyharju watercourse is long-shaped and downstream it becomes narrower. The major part of the area is forest (80 %). This watercourse is a typical lake watercourse (areal percentage of lakes 20,4 %), where the actual river parts are short. In the watercourse the differences in level are small, the average waterfall is only about 0,25 m/km. Discharge variations are small. In this area the annual precipitation is on average 610 mm, evaporation about 400 mm and runoff 6 - 8 l/s km<sup>2</sup>. The wintertime precipitation, from the beginning of November till the end of March, is on average 200 mm, and of this amount 108 mm is stored in the snow cover on the first of April.

The areal values of precipitation and the areal water yield of snow were defined in five different subdivisions of the observed area. In the Synsiö area the precipitation was clearly the highest. This supports the research by Solantie (1975), concerning the same area, which states that there the rains are more affected by the slope than anywhere else in the Mäntyharju drainage basin.

The effect of temperature on snow melting was studied in the Puulavesi area. The correlation between the weekly sum of the positive daily average temperatures and the snow melting in forests was quite high. On the other hand, temperature did not have as great an influence on the melting of fields. Especially earlier in winter the duration of the thaw period had also a significant influence on melting.

The average runoff coefficient between the beginning of March and May the 10th was defined on 11 small drainage basins. In spring 1978, the average runoff coefficient was 47 %, and in spring 1979 it was 59 %. When comparing different areas, it was noticed that when the proportion of cultivated land in the drainage basin increased the share of runoff in melting and precipitation increased as well.

A quite sharp flood peak is typical of the spring inflow of lake Puulavesi. However, the inflow is relatively high even on low discharge period. This is due to the shape of the drainage basin. By adapting the lake coefficient method a result was obtained that of a standard-sized change in the runoff occurring in the Puulavesi drainage basin, 50 % can be seen in the inflow in 5 days and during the following 25 days the aforementioned share could rise even up to 80 % (Fig. 13).

The total inflow estimations for winter and spring were calculated for the largest lakes of the watercourse, lake Puulavesi and lake Vuohijärvi, by using linear regression analysis. The following independent variables were used in the lake Puulavesi estimation models:

- the water level and outflow of lake Kyyvesi, the largest nonregulated lake in the drainage basin
- the water equivalent of snow
- spring precipitation

In addition to the abovementioned the Puulavesi outflow was used as one independent variable in the estimation models of lake Vuohijärvi. The general impression of the models was good. The total correlation coefficients varied between 0,92 - 0,98 (Puulavesi 0,92 - 0,98, Vuohijärvi 0,94 - 0,98) and the share of the standard error of the predictable inflow average was 5 - 23 % (lake Puulavesi winter 15 - 23 %, spring 5 - 11 %, lake Vuohijärvi 6 - 14 %).

Total inflow estimates were calculated for the spring 1980 by using regression models. The rainy summer of 1979 was followed by a winter with average snowfall. However, the spring

rainfalls were much below average (precipitation in March - April was 27 mm). Therefore much too high estimates of the total inflow of the periods 1.2 -31.5 and 1.3 - 31.5 were obtained with these models. On the other hand, much more accurate inflow estimations were calculated for the winter-months (lake Puulavesi) and for April and May. By using error percentage method all the estimations for lake Vuohijärvi were graded either satisfactory or good. With the Puulavesi models 5, 6, 7 and 8 (1.2 -31.3, 1.2 -31.5 and 16.3 -31.5) the estimate was bad (however, with formula 23 the error of model 5 was smaller than a tolerable error), with model 1 (1.1 - 31.1) good and with models 4, 9, and 10 (1.1 - 31.3, 1.4 - 31.5 and 16.4 - 31.5) satisfactory.

## KIRJALLISUUSLUETTELO

- Airaksinen, J. 1962. On the Relationship between Regulated Outflow from a Reservoir and Changes Caused by It the Outflow from the Downstream Lakes, London
- Airaksinen, J. 1971. On the Flow Routing in a Lake Water-course, Tohtorin väitöskirja, Oulun Yliopisto, s. 27-29, Kuopio
- Anderson, E. 1972. Techniques for predicting snow cover runoff, Int. Symp. on the Role of Snow and Ice in Hydrology, Banff, Canada
- Apollo, B.A., Halinin, G.P., Komarov, V.D. 1964. Hydrological forecasting, Israel program for scientific translations, Jerusalem
- Forsman, A., Milanov, T. 1971. Hydrologiska undersökningar i Velens representativa, Rapport 2, IHD Sweden, Report no 13
- Gerdel, R.W. 1954. The transmission of Water through snow, Trans., Am Geogh. Un. Vol. 35, nr 3, s. 475
- Curer, I. 1973. Long term forecasting of seasonal Inflows to Kemihara Artificial Lake, Vesihallituksen tiedotus nr 50, Helsinki
- Halt, A. 1952. Statistical Theory for Engineering Applications, New York
- Howorka, F. 1964. Dielektrische Messung des freien Wassergehaltes des Schneedecke, Dissertation. Universität, Innsbruck
- Häkkinen, P. 1981. Tulvavirtaamien muutokset ja eteneminen Mäntyharjun reitillä, Diplomityö, Tampereen Teknillinen Korkeakoulu
- Kaila, M. 1977. Hydrologiset ennusteet Saimaan säännöstelyä varten, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, s. 20-56, Helsinki
- Kaitera, P. 1939. Lumen kevät sulamisen vaikutuksesta vesiväylien purkautumissuhteisiin Suomessa. Maat. hal. kult. tekn. tutk. 2, Helsinki
- Kuusisto, E. 1973. Lumen sulamisesta ja sulamiskauden vesitaseesta Lammin Pääjärvellä 1970-1972, Vesihallituksen tiedotus nr 46, 104 s. , Helsinki
- Lemmelä, R. 1970. Lumen sulamisesta, sulamisesta aiheutuvasta valunnasta sekä pohjaveden muodostumisesta hiekkaperäisellä alueella, Filosofian lisensiaattitutkielma, Helsingin Yliopisto, s. 1-33, Helsinki

- Penttinen, A-L. 1980. Lumen vesiarvosta Mäntyharjun reitin valuma-alueella vuosina 1977-1979, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Helsinki
- O'Kelly, J.J., 1955. The employment of the unit hydrographs to determine the flows of Irish arterial drainage channels, Proc. Inst. Civil Engrs., Vol. 4, s. 365-445
- Seppänen, M. 1961. On the accumulation and decreasing of snow in pine dominated forest in Finland, Hydrologisen toimiston tiedonantojs XX, Helsinki
- Simojoki, M. 1947. Über den Zeitpunkt des Entstehens und des Verschwindens der dauernden Schneedecke in Finnland, Soc. Georg. Fenn., Fennia 70.
- Sokolowsky, D. 1939. Effect of the intensity of snow-melt on creation maximum discharges, IASH, Tome II, Washington
- Solantie, R. 1975. Talvikauden sademäärän ja maaliskuun lumen syvyyden alueellinen jakautuma Suomessa, Ilmatieteen laitoksen tiedonanto nr 28, 66 s., Helsinki
- Tywoniuk, N., Wiebe, K. 1970. Application of Regression Analysis in Hydrology, Inland Waters Branch, Department of Energy, Mines and Resources of Canada, Technical Bulletin nr 24, Ottawa
- Vesihallitus, 1977. Mäntyharjun reitin vesien käytön kokonaisuunnitelma, Vesihallituksen julkaisu nr 20, 102 s., Helsinki
- Wilson, W.T., 1941. An outline of the thermodynamics of snow-melt, Trans., Am. Geoph. Un. Part. 1
- World Meteorological Organisation, 1975. Hydrological Forecasting Practices, Operational Hydrology, Report nr 6, WMO nr 425, Geneva

TULVAVIRTAAMIEN MUUTOKSET JA ETENEMINEN  
MÄNTYHARJUN REITILLÄ





S I S Ä L T Ö	sivu
ABSTRACT	130
JOHDANTO	131
1. VIRTAAMAN MUUTOKSEN ETENEMINEN VESISTÖSSÄ	132
1.1 Yleistä	132
1.2 Airaksisen järvikerroinmenetelmä	132
1.3 Säännöstelylaskentamenetelmiä	135
1.31 Jokijaksot	135
1.32 Järvialtaat	140
1.4 Säännöstelylaskelmien virhelähteet	144
1.5 Airaksisen järvikerroinmenetelmällä saatujen tulosten vertailu säännöstelylaskelmien tuloksiin	147
2. MÄNTYHARJUN REITIN PÄÄVIRRRAN TULVAVAHINGOT	153
2.1 Yleistä	153
2.2 Järvien tulvavahinoarviot	154
3. TOIMINTAVAIHTOEHDOT TULVATILANTEISSA	158
3.1 Yleistä	158
3.2 Kevättulva	162
3.21 Poikkeusjuoksutusten tavoite	162
3.22 Poikkeusjuoksutuslaskelmat	162
3.23 Toimintavaihtoehdot kevättulvatilanteessa	164
3.3 Talvitulva	165
3.31 Poikkeusjuoksutusten tavoite	165
3.32 Poikkeusjuoksutuslaskelmat	165
3.33 Toimintavaihtoehdot talvitulvan aikana	168
3.4 Poikkeusjuoksutusten taloudelliset vaikutukset	169
3.41 Koko vesistöalue	169
3.42 Mäntyharjun reitti	170
4. TULVANTORJUNTATIEDOSTO	171
5. TULVANTORJUNTAORGANISAATIO	178
6. LOPPUTIIVISTELMÄ	179
LÄHDEKIRJALLISUUS	181
LIITTEET 1-13 Poikkeusjuoksutuslaskennat	
LIITE 14 Poikkeusjuoksutuslaskentojen juoksutus- tiedot	

## ABSTRACT

Hydrological circumstances are relative stable in Finland. Therefore exceptional floods can cause great damages to settlement, industry and farming situated on the banks of the watercourses. To diminish the damages done by floods the National Board of Waters has drawn up special plans of work. The first plan of this type has been made for the watercourse of Kymijoki river. This plan is a part of flood protection plan for the Mäntyharju river basin. The main problem of the plan was to investigate possibilities to store water into the lakes of the watercourse so that flood damages at the downstream of Kymijoki river should be minimised.

The possibilities to store water were investigated by using the reservoir-routing part of the SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) model. Several types of reservoir operations can be specified to the model. The inexact input data is the biggest source of errors in the flow routing calculations. Errors of routing methods decrease by using a short routing period. The movements of flow-waves can be observed also with hand-calculations by using the lake coefficient method developed by J. Airaksinen. The comparison of the SSARR-model and lake coefficient method showed that the results of the two methods were very close to each other.

The Mäntyharju watercourse can be used to diminish flood damages in the lower part of Kymijoki river by decreasing the discharge from Mäntyharju river basin to Kymijoki river. However because of hydrological conditions the period of storing water into the lakes of Mäntyharju river basin is maximum two weeks. The best result can be reached by regulating Vuohijärvi lake, the lowest lake of the watercourse. It is quite useless to store water in Puulavesi lake because the lake lies far from the lower part of Kymijoki river and because there are several other lakes downstream Puulavesi lake, which slow up the effect of the change of discharge. The lowering of the level of Puulavesi lake in spring more than in normal conditions diminishes however flood of the lakes downstream.

## JOHDANTO

Talvella 1974-1975 kehittyi Etelä-Suomen päävesistöissä harvinaisen vaikea ja vahinkoja aiheuttanut tulva. Päijänteellä havaittiin vuodenajan suurimmat vedenkorkeudet ja Kymijoella suurimmat virtaamat tällä vuosisadalla. Nyt vuoden 1981 keväällä odotetaan taas runsaita tulvia. Lumen vesiarvo on useissa paikoissa Etelä-Suomea n. 2-kertainen ajankohdan normaaliin arvoon verrattuna. Muunmuassa Saimaalla on jo aloitettu varautuminen runsaisiin sulamisvesiin poikkeusjuoksutuksin.

Talven 1974-1975 tulvan jälkeen on päävesistöille laadittu suunnitelmia tulvatilanteiden varalle. Kymijoen vesistön tulvantorjunnan toimintasuunnitelma on laadittu vesistöalueella sattuvan poikkeuksellisen tulvan ennakoimiseksi ja toimintaohjeeksi tulvatilanteessa. Tulvan pahetessa pyritään Kymijoen vesistön juoksutukset hoitamaan siten, että vahingot koko vesistöalueella ovat pienimmät mahdolliset käyttämällä hyväksi suurimpien järvien säännöstelymahdollisuuksia. Koko vesistön kattavan suunnitelman lisäksi laaditaan alueelliset suunnitelmat Kymen, Keski-Suomen ja Mikkelin vesipiirien alueilla.

Mikkelin vesipiirin vesitoimistossa laaditaan tulvantorjunnan toimintasuunnitelma Mäntyharjun reitille. Tämä diplomityö on osa toimintasuunnitelman laatimista. Diplomityö painottuu enemmän hydrologisiin selvityksiin kun taas varsinaisessa toimintasuunnitelmassa käsitellään laajemmin tulvantorjuntaorganisaation toimintaa.

# 1. V I R T A A M A N M U U T O K S E N E T E N E M I N E N V E S I S T Ö S S Ä

## 1.1 YLEISTÄ

Kun vesistön tulovirtaama muuttuu, aiheuttaa tämä vesistössä korkeuksien muutoksia. Vedenkorkeuksien muutokset eivät tapahdu välittömästi koko vesistössä, vaan vaikutus viivästyy vesistön luonteesta riippuen. Mitä useampia altaita ja jokijaksoja vesistössä on, sitä kauemmin kestää virtaamamuutoksen eteneminen. Etenemisnopeuteen vaikuttavat myös mm. altaiden koko ja jokijaksojen hydrauliset ominaisuudet.

Virtaaman muutoksen etenemistä on tutkittu varsin paljon. Tässä yhteydessä käsitellään J. Airaksisen kehittämää menetelmää viivästymisen arvioimiseksi. Lisäksi esitellään eräitä säännöstelylaskentamenetelmiä, joilla virtaamia ja vedenkorkeuksia voidaan arvioida.

## 1.2 AIRAKSISEN JÄRVIKERROINMENETELMÄ

Varastoyhtälö saadaan esittää seuraavasti (Airaksinen 1962):

$$\begin{aligned} \text{Idt} &= \text{Odt} + \text{AdH} & (1) \\ \text{missä } I &= \text{tulovirtaama} \\ 0 &= \text{menovirtaama} \\ A &= \text{järven pinta-ala} \\ \text{dH} &= \text{vedenkorkeuden muutos aikavälillä dt} \end{aligned}$$

Merkitsemällä purkautumiskäyrän tangentti  $m = dH/dO$  eli  $dH = mdO$  voidaan varastoyhtälö (1) esittää seuraavasti (Airaksinen 1971):

$$\text{Idt} = \text{Odt} + m\text{AdO} \quad (2)$$

Tuloa  $mA = K$  kutsutaan kirjallisuudessa varastokertoimeksi. Koska varastokerroin-käsitettä käytetään sekä kaltevien että tasapintaisten varastojen yhteydessä, kutsutaan kerrointa  $K$  tässä yhteydessä järvikertoimeksi, joka pätee vain tasapintaissa järvivarastoissa (Airaksinen 1971).

Yhtälöstä (2) saadaan

$$\frac{dO}{dt} + \frac{O}{K} - \frac{I}{K} = 0 \quad (3)$$

Yhtälö (3) on ensimmäisen asteen lineaarinen differentiaaliyhtälö. Menovirtaamalle saadaan (Airaksinen 1962)

$$0 = \frac{1}{K} \exp\left(-\frac{t}{K}\right) \int \exp\left(\frac{t}{K}\right) \text{Idt} \quad (4)$$

Tämä yhtälö voidaan integroida, jos tulovirtaama  $I$  on vakio tai vaihtelee ajan suhteen suoraviivaisesti. Ratkaiseminen on myös mahdollista, mikäli tulovirtaama voidaan esittää sini- tai cosinifunktiona tai Fourier'in sarjoina (Airaksinen, 1962).

Jos  $I$  oletetaan vakioksi, voidaan kirjoittaa yhtälö

$$O_1 = I_1 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{K_1}\right)\right) \quad (5)$$

Tässä  $K_1$  on ko. järven järvikerroin.

Vesistön alajuoksun järville voidaan menovirtaama esittää seuraavasti (Airaksinen, 1962, 1971):

$$O_L = I_1 \left[ 1 - \left( \frac{K_1^{L-1}}{(K_1-K_2)(K_1-K_3)\dots(K_1-K_L)} \exp\left(-\frac{t}{K_1}\right) + \frac{K_2^{L-1}}{(K_2-K_1)(K_2-K_3)\dots(K_2-K_L)} \exp\left(-\frac{t}{K_2}\right) + \dots + \frac{K_L^{L-1}}{(K_L-K_1)(K_L-K_2)\dots(K_L-K_{L-1})} \exp\left(-\frac{t}{K_L}\right) \right) \right] \quad (6)$$

missä  $I_1$  = ensimmäisen järven tulovirtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$O_L$  = L:nnen järven menovirtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$K_1 \dots K_L$  = kunkin järven järvikerroin (d)

$t$  = aika (d)

Yhtälöitä (5) ja (6) käytetään myös, kun halutaan tutkia tulovirtaaman muutoksen  $\Delta I_1$  vaikutusta alavirranjärvien menovirtaamiin.

Järvikertoimien avulla laskettu virtaaman viipymä.

Virtaaman viipymäksi on tässä määritetty se aika  $T_{pL}$ , joka kuluu alapuolisen järven menovirtaaman muuttumiseen määrättyyn osaan järven tulovirtaaman muutoksesta. Alaviitalla  $p$  osoitetaan se suhteellinen osa tulovirtaamasta, johon menovirtaama on ajassa  $T$  lisääntynyt tai vähentynyt. Esimerkiksi  $T_{0,9L}$  on aika, joka kuluu, ennenkuin järven ( $L$ ) menovirtaama on kasvanut määrällä  $0,9 \times$  tulovirtaaman muutos.  $L$  on järven järjestyksnumero järvi-jonossa (Airaksinen, 1962, 1974).

Yhden altaan tapauksesta voidaan yhtälöstä (5) ratkaista viipymälle  $T_{p1}$  ja järvikertoimelle  $K_1$  seuraava yhteys. Merkitään  $T_{p1} = sK_1$ . Tällöin saadaan taulukko 1.1 (Airaksinen, 1971).

Taulukko 1.1 Kertoimien  $s$  ja  $p_1$  riippuvuus yhtälössä

$$T_{p1} = sK_1.$$

Esim. 1,5 kertaa järvikertoimen osoittamassa ajassa on menovirtaama muuttunut määrällä 0,777 kertaa tulovirtaaman muutos:

$s$	$p_1$
0,5	0,394
1,0	0,632
1,25	0,713
1,5	0,777
-----	
2,0	0,865
3,0	0,950
4,0	0,982

Airaksinen on tutkinut viipymän ja järvikertoimien summan välistä riippuvuutta myös useampialtaisilla järvi-reiteillä. Kaksialtaiselle tapaukselle voidaan ratkaista  $s:n$  ja  $P_2:n$  riippuvuuden ääriarvot, kun suhde  $K_1-K_2 = 0 \dots \infty$ .<sup>2</sup> (Taulukko 1.2) (Airaksinen, 1971).

Taulukko 1.2 Kertoimien  $s$ ,  $p_{2min}$  ja  $p_{2max}$  riippuvuus yhtälössä  $T_{p2} = s (K_1+K_2)$ .

$s$	$p_{2min}$	$p_{2max}$
0,5	0,264	0,394
1,0	0,593	0,632
1,25	0,713	0,713
1,5	0,777	0,801
2,0	0,865	0,908
3,0	0,950	0,984
4,0	0,982	0,997

Useampialtaisille vesistöille Airaksinen esittää kokemusperäisesti, että reitin alempien järvien menovirtaamat muuttuvat määrällä 0,20-0,36  $\Delta I_1$  aikana, joka on puolet vastaavien järvikertoimien summaasta. Järvikertoimien summan pituisessa ajassa menovirtaamien suhteelliset muutokset ovat 0,59-0,63. Jos aika on kaksi kertaa järvikertoimien summan suuruinen, suhteelliset muutokset vaihtelevat välillä 0,88-0,93. Laskelmat on tehty Kymijoen vesistössä Päijänteen yläpuolisilla järvillä (Airaksinen, 1971-1974).

Järvikerroinmenetelmä on käyttökelpoinen useampialtaisissa järvi-reiteissä, jos järvien väliset jokiosuudet ovat lyhyitä. Kunkin järviältä tulee olla tasapintainen, eikä alemman altaan vedenkorkeus saa vaikuttaa ylemmän altaan purkautumiseen, ts. altailla pitää olla yksiehtoinen purkautumiskäyrä. Purkautumiskäyrien lisäksi tarvitaan altaiden pinta-ala tiedot (Airaksinen, 1971).

## 1.3 SÄÄNNÖSTELYLASKENTAMENETELMIÄ

## 1.31 J o k i j a k s o t

Kun virtaama-aalto kulkee jokijakson läpi, ovat virtaamakuviot kuvassa 1.1a esitetyn kaltaiset. Luonnonuomissa ovat virtausvastus sekä varastointikyky niin suuret, että virtaama-aallon luonne lievenee. Kuvioista nähdään, että menovirtaaman huippu on pienempi kuin tulovirtaamalla sekä että se on viivästynyt.

Mikäli jokijaksoon sivusta tulevat tai siitä sivulle purkautuvat vesimäärät oletetaan merkityksettömiksi, voidaan ajanjaksolle  $\Delta t$  esittää yhtälö

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 - O_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1 \quad (7)$$

missä  $I_1$  ja  $I_2$  = tulovirtaamat jakson alussa ja lopussa  
 $O_1$  ja  $O_2$  = menovirtaamat " " "  
 $S_1$  ja  $S_2$  = varastot  
 $\Delta t$  = ajanjakso

Virtaamalaskelmissa ovat useimmiten tuntemattomina suureina  $O_2$  ja  $S_2$ . Tämä tarkoittaa, että tarvitaan toinen yhtälö, jotta tuntemattomat suureet voitaisiin ratkaista. Tämän toisen yhteyden määrittäminen onkin virtaamalaskelmien suurin vaikeus.

Veden varastoituminen jokijaksoon riippuu ensisijaisesti tulo- ja menovirtaamasta sekä jakson geometrisistä ja hydraulisista ominaisuuksista. Voidaan olettaa, että jakson alku- ja loppupäällä on samankaltaiset keskimääräiset virtaama- ja varastosuhteet, jotka riippuvat virtauksen syvyydestä  $y$ . Tällöin saadaan yhtälöt (Chow):

$$I = ay^n \quad (8)$$

$$O = ay^n \quad (9)$$

$$S_i = by^m \quad (10)$$

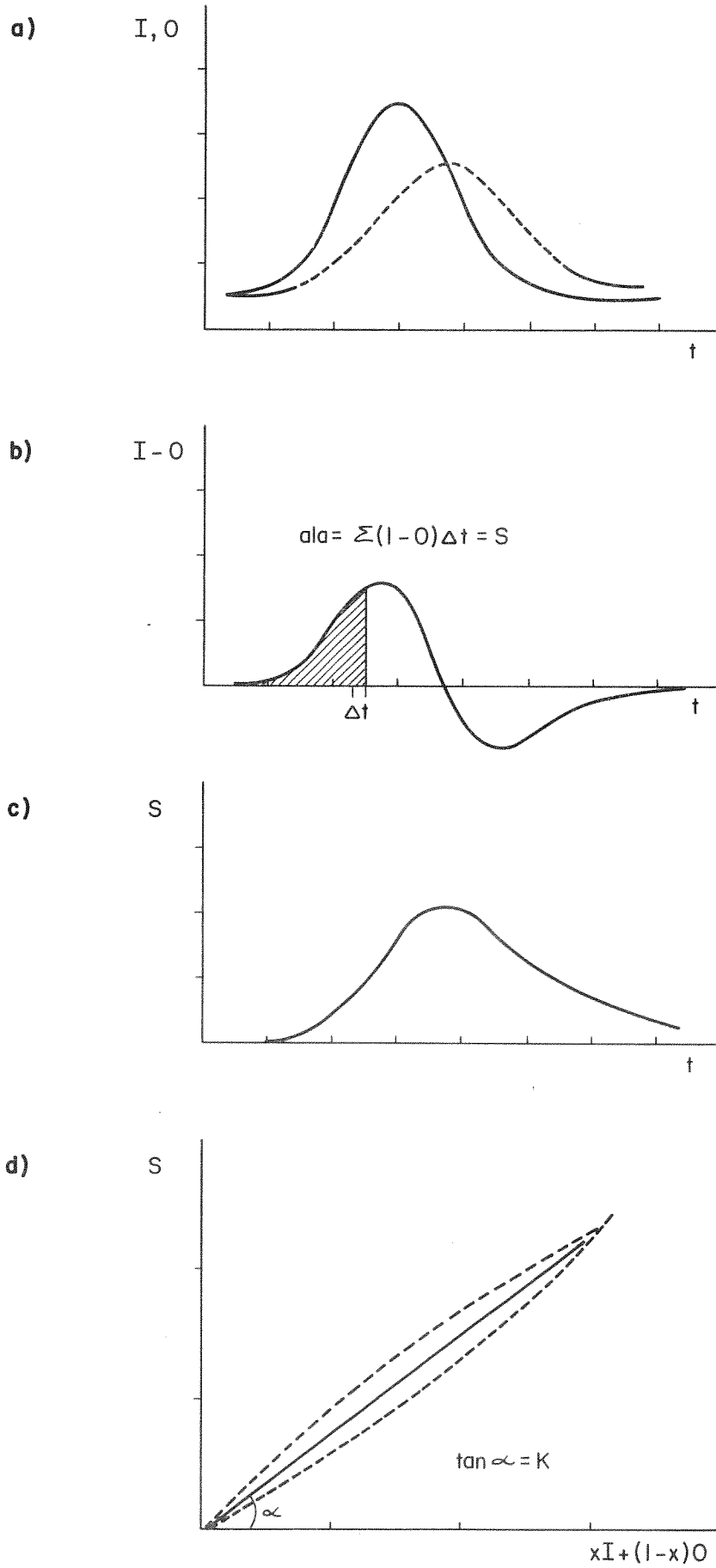
$$S_o = by^m \quad (11)$$

missä  $a$  ja  $n$  kuvaavat syvyys-virtaamasuhdetta  
 $b$  ja  $m$  kuvaavat syvyys-varastosuhdetta  
 $S_i$  ja  $S_o$  ovat jakson alku- ja loppupään syvyyksiä  
vastaavat varastot

Eliminoimalla  $y$  yhtälöistä (8) ja (10) sekä (9) ja (11) saadaan

$$S_i = b \left(\frac{I}{a}\right)^{m/n} \quad (12)$$

$$S_o = b \left(\frac{O}{a}\right)^{m/n} \quad (13)$$



Kuva 1.1 Muskingum - menetelmän kertoimien määrittäminen



Olkoon  $X$  dimensioton tekijä, joka määrää tulo- ja menovirtaaman suhteelliset osuudet jokijaksolla tapahtuvaan varastoitumiseen. Tällöin saadaan

$$S = X S_i + (1 - X) S_o \quad (14)$$

$X$ :n arvo vaihtelee  $0 \dots 1$ . Jos virtaama säädellään jokijakson lopussa padolla siten, että jaksoon muodostuu tasapintainen varasto, on  $X = 0$ . Alaveden vaikuttaessa varastoitumiseen  $X > 0$  (Chow).

Sijoittamalla yhtälö 12 ja 13 yhtälöön (14) ja sieventämällä saadaan

$$S = K (X I^z + (1 - X) I_o^z) \quad (15)$$

missä  $K = b/a^{m/n}$  ja  $z = m/n$

Suorakaiteen muotoisessa uomassa  $n = 5/3$  ja  $m = 1$ , joten  $z$  saa arvon  $0,6$ . Luonnonuomissa  $m$  saattaa olla suurempi kuin  $1$  ja täten  $z > 0,6$  (Chow).

Useat hydrologiset laskentamenetelmät perustuvat yhtälön (15) yleiselle perustalle, jossa oletetaan, että virtaaman dynaamiset vaikutukset ovat merkityksettömät ja että varastoituminen on ainoastaan virtaaman funktio. Tästä seuraa, että virtaus muuttuu hitaasti ajan suhteen. Menetelmä soveltuu tavallisiin pieneen kaltevuuden omaaviin uomiin. Suuri kaltevuus lisää virtauksen dynaamisia vaikutuksia eikä niitä voida jättää huomioimatta (Chow).

Muskingum-menetelmässä oletetaan, että yhtälön (15) kerroin  $z = 1$  (Chow). Tällöin saadaan yhtälö

$$s = K [X I + (1 - X) I_o] \quad (16)$$

$K$  ja  $X$  määritetään jokijakson havaitusta arvosta.  $X$  on dimensioton painokerroin ja  $K$ :n dimensio on aika, vrk tai h.

Yhtälöstä (16) saadaan

$$S_1 = K (X I_1 + (1 - X) I_o)$$

$$S_2 = K (X I_2 + (1 - X) I_o)$$

Eliminoimalla  $S_1$  ja  $S_2$  saadaan

$$Q_2 = C_o I_2 + C_o I_1 + C_2 \cdot O_2 \quad (17)$$

missä

$$C_0 = - \frac{KX - 0,5 \Delta t}{K - KX + 0,5 \Delta t} \quad (18)$$

$$C_1 = \frac{KX + 0,5 \Delta t}{K - KX + 0,5 \Delta t} \quad (19)$$

$$C_2 = \frac{K - KX - 0,5 \Delta t}{K - KX + 0,5 \Delta t} \quad (20)$$

$$\text{ja } C_0 + C_1 + C_2 = 1 \quad (21)$$

Vakiot  $K$  ja  $X$  määritetään kokeellisesti todellisista havainnoista (Colenbrander et. al. 1975).

Ensin piirretään tulo- ja menovirtaamat ajan funktiona. Tämän kuvion perusteella määritetään  $I_0$ .  $I_0$ -käyrän ja aika-akselin rajoittama ala vastaa varastoa, joka esitetään myös ajan funktiona (kuvat 1.1 b ja c). Seuraavaksi piirretään varasto  $S$  tekijän  $XI + (1-X)Q$  funktiona.  $X$ :n arvona käytetään useita arvoja  $0$ :n ja  $1$ :n väliltä. Useissa tapauksissa  $X \sim 0,3$  (Colenbrander et. al. 1975). Oikea  $X$ :n arvo saadaan, kun kuvion pisteet erilaisilla  $S$ :n,  $I$ :n ja  $0$ :n muodostavat lähes suoran viivan. Suoran kulmakerroin on tällöin  $K$  (kuva 1.1 d).

Kun  $K$  ja  $X$  on määritetty, lasketaan kertoimet  $C_0$ ,  $C_1$  ja  $C_2$ . Seuraavaksi esitetään laskentaesimerkki käyttäen yhtälöä (17) (Colenbrander et. al. 1975).

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Oletetaan, että  $C_0 = 0,1$ ,  $C_1 = 0,4$ ,  $C_2 = 0,5$

jakso	tulovirtaama	$C_0 I_2$	$C_1 I_1$	$C_2 O_1$	$O_2$
1	200	-	-	-	200
2	300	30	80	100	210
3	500	50	120	105	275
4	550	55	200	138	393
5	500	50	220	196	466
6	400	40	200	233	473
7	300	30	160	236	426
8	200	20	120	213	353

Lähtötietona saadaan tulovirtaama jokaisen jakson lopussa ja  $O_2$ :n lähtöarvo 200. Laskenta alkaa jaksolla 2. Tällöin  $I_2 = 300$ ,  $I_1 = 200$  ja myös  $O_2 = 200$ .

Kerroinmenetelmässä oletetaan yhtälössä (15);  $z = 1$  ja  $X = 0$ . Varaston oletetaan siis olevan suoraan verrannollinen menovirtaamaan (Chow, 1964)

$$S_2 - S_1 = K (O_2 - O_1) \quad (22)$$

Yhtälöstä (7) saadaan tällöin

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t = K (O_2 - O_1) \quad (23)$$

Merkitsemällä  $\frac{I_1 + I_2}{2} = I_m$  ja sieventämällä saadaan

$$O_2 = \frac{(I_m - O_1) \Delta t}{K + 0,5 t} + O_1 \quad (24)$$

K voidaan laskea yhtälöstä (Karvonen 1980, Usce 1975)

$$K = \frac{KTS}{Q^n} \quad (25)$$

missä  $KTS$  = kerroin  
 $Q$  = jakson virtaama  
 $n$  = kerroin, joka vaihtelee -1:n ja 1:n välillä

Kerroin KTS voidaan määrittää joko yritys- ja erehdysmenetelmällä tai mittaamalla virtaamat ja niitä vastaavat virtausajat. KTS:n määrittämiseksi on myös olemassa nomogrammeja. USA:ssa tehtyjen selvitysten mukaan n:n arvo 0,35 näyttäisi soveltuvan useimpiin jokiin K:n arvon laskemiseksi (Karvonen 1980, Usce 1975).

Kuvaa (1.2) voidaan käyttää KTS:n määrittämiseen tietylle jokijaksolle, jos jakson keskimääräinen virtaama ja viipymä tiedetään sekä n:n arvo on valittu. Käyttämällä yhteyttä (Usce 1975)

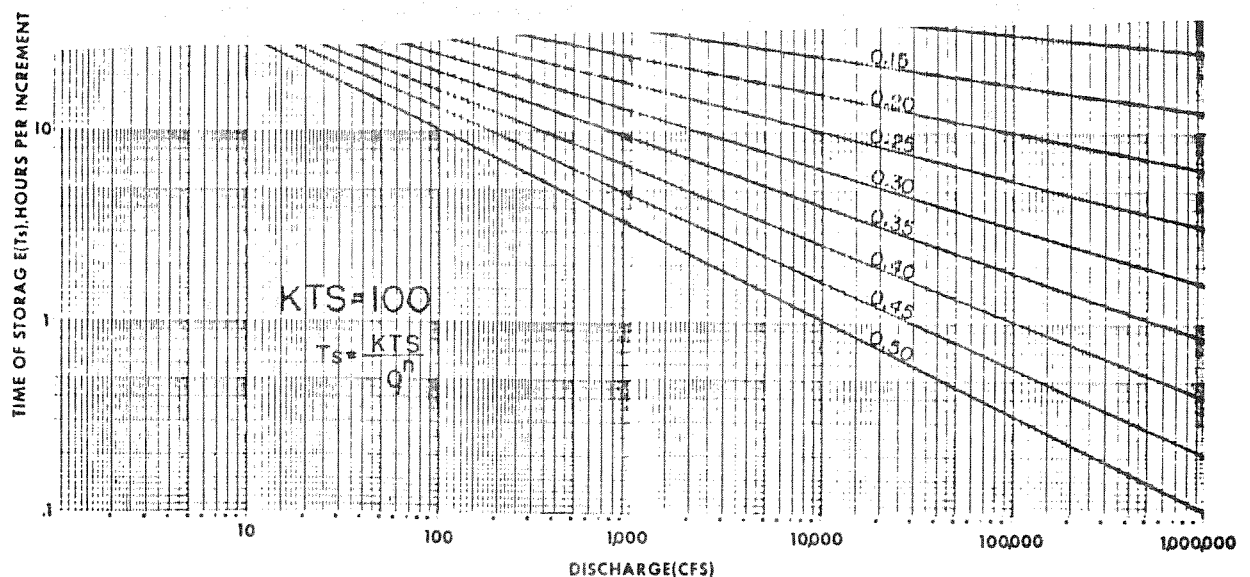
$$\frac{K_{\text{kuvio}}}{KTS_{\text{kuvio}}} = \frac{K_{\text{jokijakso}}}{KTS_{\text{jokijakso}}} \quad (KTS_{\text{kuvio}} = 100) \quad (26)$$

saadaan

$$KTS_{\text{jokijakso}} = \frac{100 K_{\text{jokijakso}}}{K_{\text{kuvio}}} \quad (27)$$

$K_{\text{jokijakso}}$  = jakson viipymä

Kuva 1.2. Käyrästä KTS:n määrittämiseksi tietylle jokijaksolle (Usce 1975)



RELATIONSHIP BETWEEN KTS, DISCHARGE(Q), AND N VALUES FOR KTS EQUAL TO 100

## 1.32 J ä r v i a l t a a t

Virtaaman etenemisen laskeminen järivialtaissa perustuu ns. varastoyhtälöön (7)

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} - \frac{S_2 - S_1}{\Delta t}$$

missä

- $I_1$  = tulovirtaama jakson alussa
- $I_2$  = tulovirtaama jakson lopussa
- $O_1$  = menovirtaama jakson alussa
- $O_2$  = menovirtaama jakson lopussa
- $S_1$  = varasto jakson alussa
- $S_2$  = varasto jakson lopussa
- $\Delta t$  = jakson pituus

Altaasta purkautuvalle vesimäärälle ja varastolle voidaan esittää yhteys

$$O = f(h) \text{ ja } S = Ah \quad (28)$$

missä  $h$  = altaan vedenkorkeus ja  $A$  korkeutta  $h$  vastaava pinta-ala

Joskus purkautuminen riippuu myös alapuolisesta altaasta, jolloin

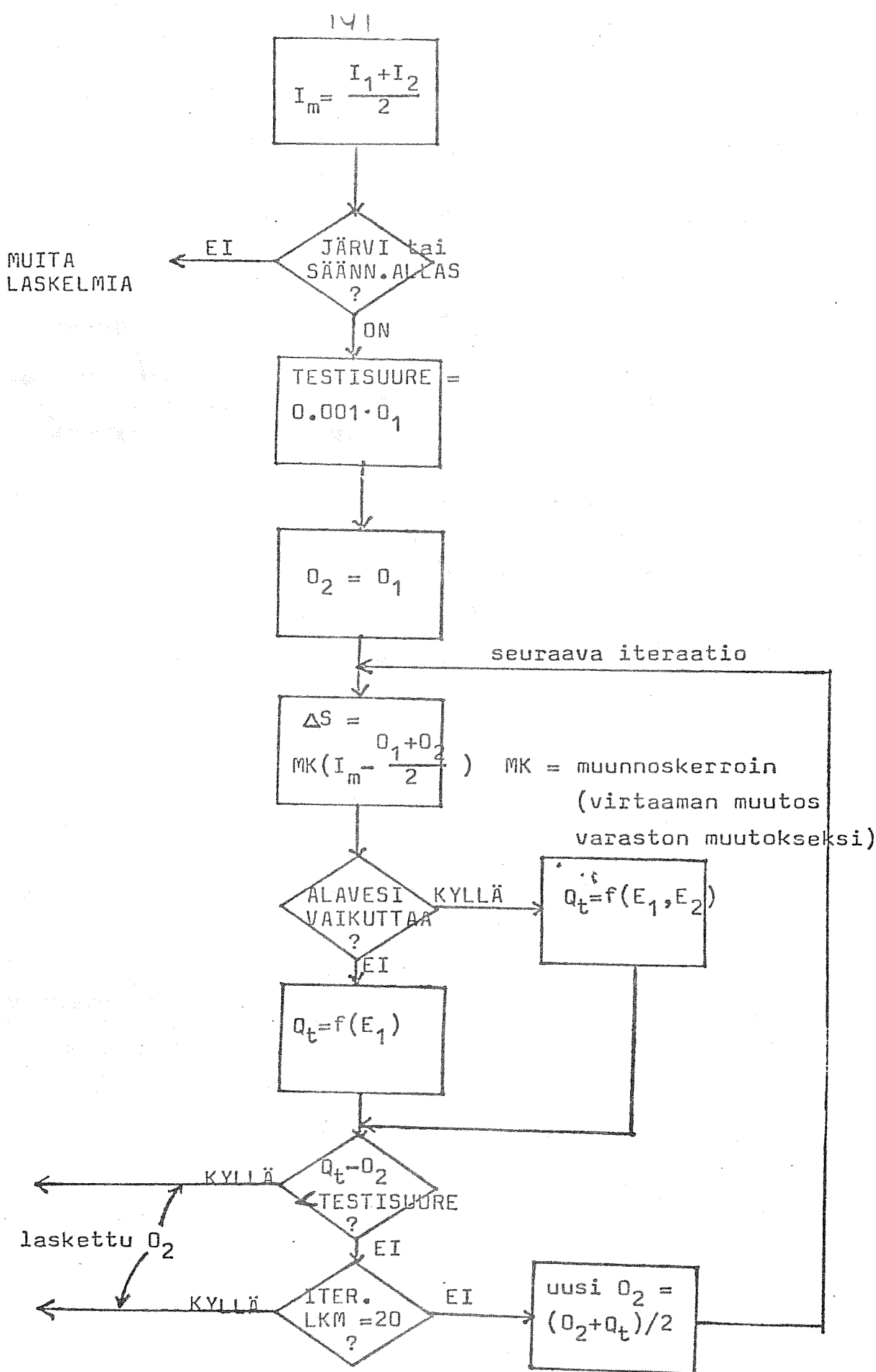
$$O = f(h, h_{\text{ala}}) \quad (29)$$

Varaston ja menovirtaaman välinen yhteys esitetään tavallisesti purkautumiskäyrällä, jolla ordinaatta-akselilla on altaan vedenkorkeus ja abskissa-akselilla virtaama. Jos alavesi vaikuttaa purkautumiseen, akseleilla ovat altaiden vedenkorkeudet ja virtaama esitetään käyräparvena.

Yhtälön (7) ratkaisemista on käsitellyt mm. Castrén 1961. Tietokonelaskelmiin soveltuu mm. seuraavankaltainen iteraatiomenettely (Karvonen, 1980).

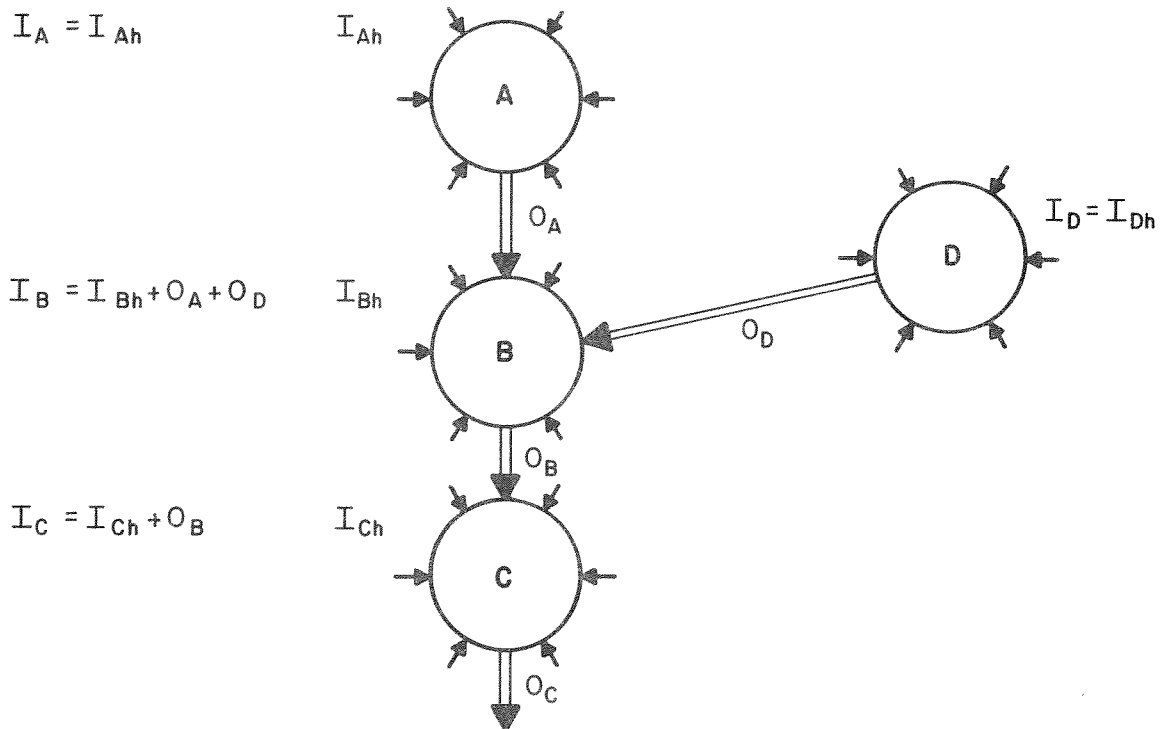
Yhtälöön (7) sijoitetaan  $O_2$ :lle alkuarvo  $= O_1$  ja lasketaan  $S_2$ . Tämä puolestaan määrää vedenkorkeuden. Vedenkorkeutta vastaava virtaama  $O_t$  haetaan purkautumiskäyrältä tai purkautumiskäyrästä.  $O_t$ :n arvoa verrataan alkuarvoon  $O_2$ . Mikäli erotus  $O_2 - O_t >$  haluttu testisuure, joudutaan suorittamaan uusi iteraatio ottaen alkuarvoksi  $O_2$ :n ja  $O_t$ :n keskiarvo. Näin menetellen saadaan yhtälö (7) ratkaistua. Kuvassa (1.4) on esitetty kaavio SSARR-sadanta-valuntamallin reservoir-routing-menetelmästä.

Useita altaita sisältävän vesistön virtaamalaskelmissa oletetaan altaiden väliset jokiosuudet tavallisesti niin lyhyiksi, että niiden aiheuttama viipymä on merkityksetön. Monialtaisen vesistön vesitase voidaan esittää karkeasti seuraavan kuvan 1.5 kaaviolla.



Kuva 1.4 Kaavio erään tietokonemallin reservoar-routigmenetelmästä (Karvonen 1980)

Kuva 1.5 Kaavio monialtaisen vesistön vesitaseesta



$I_A$  = tulovirtaama altaaseen A

$I_{Ah}$  = Hyödyllinen tulovirtaama altaaseen A sis.haihdunnan

$O_A$  = menovirtaama altaasta A

Säännöstelylaskelmilla halutaan tavallisesti tutkia virtaaman muutosten vaikutusta vesistöön. Tällöin lasketaan ensin altaiden tulovirtaamat luonnonmukaisessa tilanteessa varastoyhtälöä käyttäen. Tulovirtaamista vähennetään ylemmän altaan menovirtaamat, jolloin saadaan hyödylliset tulovirtaamat. Tämän jälkeen laskenta voidaan suorittaa halutuilla menovirtaamien arvoilla eri säännöstelyvaihtoehtojen tutkimiseksi.

J. Airaksinen on kehittänyt monialtaiselle vesistölle laskentamenetelmän, jossa ei tarvitse laskea hyödyllisiä tulovirtaamia (Airaksinen, 1971). Siinä verrataan luonnonmukaista ja säännösteltyä vedenkorkeutta ja lasketaan eron suuruus.

Lähtemällä varastoyhtälöstä

$$I(t) = O[H(t)] = \frac{dS[H(t)]}{dt} \quad (30)$$

$$\text{missä } dS[H(t)] = A[H(t)] dH(t)$$

saadaan säännöstellylle altaalle

$$dH_r(t) = \frac{I_r(t) - O_r[H_r(t)]}{A_r[H_r(t)]} dt \quad (31)$$

Vastaavasti saadaan luonnonmukaisessa tilanteessa

$$dH_n(t) = \frac{I_n(t) - O_n[H_n(t)]}{A_n[H_n(t)]} dt \quad (32)$$

Säännösteltyjen ja luonnonmukaisten vedenkorkeuksien ero on

$$\begin{aligned} \Delta H(t) &= H_r(t) - H_n(t) \\ d\Delta H(t) &= dH_r(t) - dH_n(t) \end{aligned} \quad (33)$$

Sijoittamalla yhtälöt (32) ja (33) yhtälöön (34) saadaan

$$\begin{aligned} d\Delta H(t) &= \frac{I_r(t) - O_r[H_r(t)]}{A_r[H_r(t)]} dt - \frac{I_n(t) - O_n[H_n(t)]}{A_n[H_n(t)]} dt \\ &= \frac{(I_r(t) - O_r[H_r(t)]) \frac{A_n}{A_n} - (I_n(t) - O_n[H_n(t)]) \frac{A_r}{A_n}}{A_r} dt \end{aligned} \quad (34)$$

Tekemällä yksinkertaistus  $\frac{A_r}{A_n} = 1$  saadaan

$$d\Delta H(t) = \frac{I_r(t) - O_r[H_r(t)] - I_n(t) + O_n[H_n(t)]}{A_r[H_r(t)]} dt \quad (35)$$

Ylläoleva yhtälö ratkaistaan käyttämällä Runge-Kutta-menetelmää (Airaksinen 1971, Sorvari 1973).

$$\Delta(\Delta H) = \frac{\Delta t}{6} (K_0 + 2K_1 + 2K_2 + K_3) \quad (37)$$

Kertoimet  $K$  ovat vedenkorkeuden ensimmäisiä aikaderivaattoja eli vedenkorkeuden muutosnopeuksia seuraavissa pisteissä:

$$K_0 = f \left[ (t_i, \Delta H(t_i)) \right] \quad (38)$$

$$K_1 = f \left[ t_i + \frac{\Delta t}{2}, \Delta H(t_i) + \frac{K_0}{2} \Delta t \right] \quad (39)$$

$$K_2 = f \left[ t_i + \frac{\Delta t}{2}, \Delta H(t_i) + \frac{K_1}{2} \Delta t \right] \quad (40)$$

$$K_3 = f \left[ t_i + \Delta t, \Delta H(t_i) + K_2 \Delta t \right] \quad (41)$$

Näissä yhtälöissä  $t_i$  on laskentajakson alkuhetki ja  $\Delta t$  jakson pituus.

Yllä esitetty menetelmä tarkoittaa säännöstelysuureiden määrittämistä neljässä eri korkeusasemassa ja lopullisen jakson aikana tapahtuneen korkeudenmuutoksen laskemista painotettuna keskiarvona (Sorvari, 1973).

Mikäli ero säännöstelyjen ja luonnonmukaisten vedenkorkeuksien välillä on suuri, antaa menetelmä virheellisiä tuloksia yksinkertaistuksesta  $\frac{A_r}{A_n} = 1$  johtuen (Airaksinen, 1971).

#### 1.4 SÄÄNNÖSTELYLASKELMIEN VIRHELÄHTEET

Säännöstelylaskelmien virheet voidaan syntytapansa perusteella jakaa kahteen ryhmään, lähtöaineiston virheellisyydestä ja laskentamenetelmästä aiheutuviin virheisiin. Virheet voidaan jaotella myös tulovirtaamien laskennan ja varsinaisten säännöstelylaskelmien yhteydessä syntyviksi.

Lähtöaineistona laskelmiin tarvitaan tavallisesti tiedot altaiden vedenkorkeuksista, purkautumissuhteista ja pinta-aloista eri vedenkorkeuksilla. Vedenkorkeushavainnoissa esiintyvät tavallisimmat virheet ja muut korjattavat ilmiöt ovat seuraavat (Castrén, 1961):

- asteikon nollapiste on epätarkka
- asteikko luetaan väärin
- asteikkohavainnoilla on taipumus keskittyä 5 ja 10 cm:n viivojen läheisyyteen väliarvojen ollessa harvinaisempia
- tuulet ja ilmanpaineen vaihtelut aiheuttavat heilahteluja havaintoihin
- talvikausien jääolot sekä hyytäminen vaikuttavat vedenkorkeuksiin etenkin jokijaksoissa.

Vedenkorkeushavaintojen virheet tulevat usein esille, kun piirretään vedenkorkeuskäyrää. Tällöin käyrässä esiintyvät äkilliset hyppäykset ovat useimmiten virheellisten havaintojen aiheuttamia. Virheitä voidaan vähentää käyttämällä korjattuja vedenkorkeuksia, jotka saadaan oikaisemalla vedenkorkeuskäyrän äkilliset hyppäykset.



Altaan purkautumissuhteet esitetään tavallisesti purkautumiskäyrällä tai -käyrästöllä. Siinä esitetään altaasta purkautuvat vesimäärät vedenkorkeuden funktiona. Käyrä määrätään mittaamalla purkautuva vesimäärä erilaisilla vedenkorkeuksilla. Virhettä purkautumiskäyrälle aiheuttavat luonnollisesti virtaaman mittaamisessa tehdyt virheet. Samoin talvisaikaiset jääolot saattavat aiheuttaa huomattaviakin muutoksia purkautumiseen (Castrén, 1961). Mäntyharjun reitillä tulkittiin virheellisen purkautumiskäyrän vaikutusta järviketjun virtaamien ja vedenkorkeuksien laskemiseen. Puulaveden alapuolella sijaitsevan Vahvajärven purkautumiskäyrään aiheutettiin n. 20 %:n virhe ja suoritettiin laskelmat näillä virheellisillä purkautumistiedoilla. Laskelmiin sisältyi Puulaveden luusuassa tehty voimakas virtaaman supistus. Purkautumiskäyrän muuttaminen vaikutti eniten itse Vahvajärven vedenkorkeuksiin, mutta jo sen alapuolella sijaitsevalla Tuusjärvellä vaikutus oli huomattavasti lieventynyt (kuva 1.6).

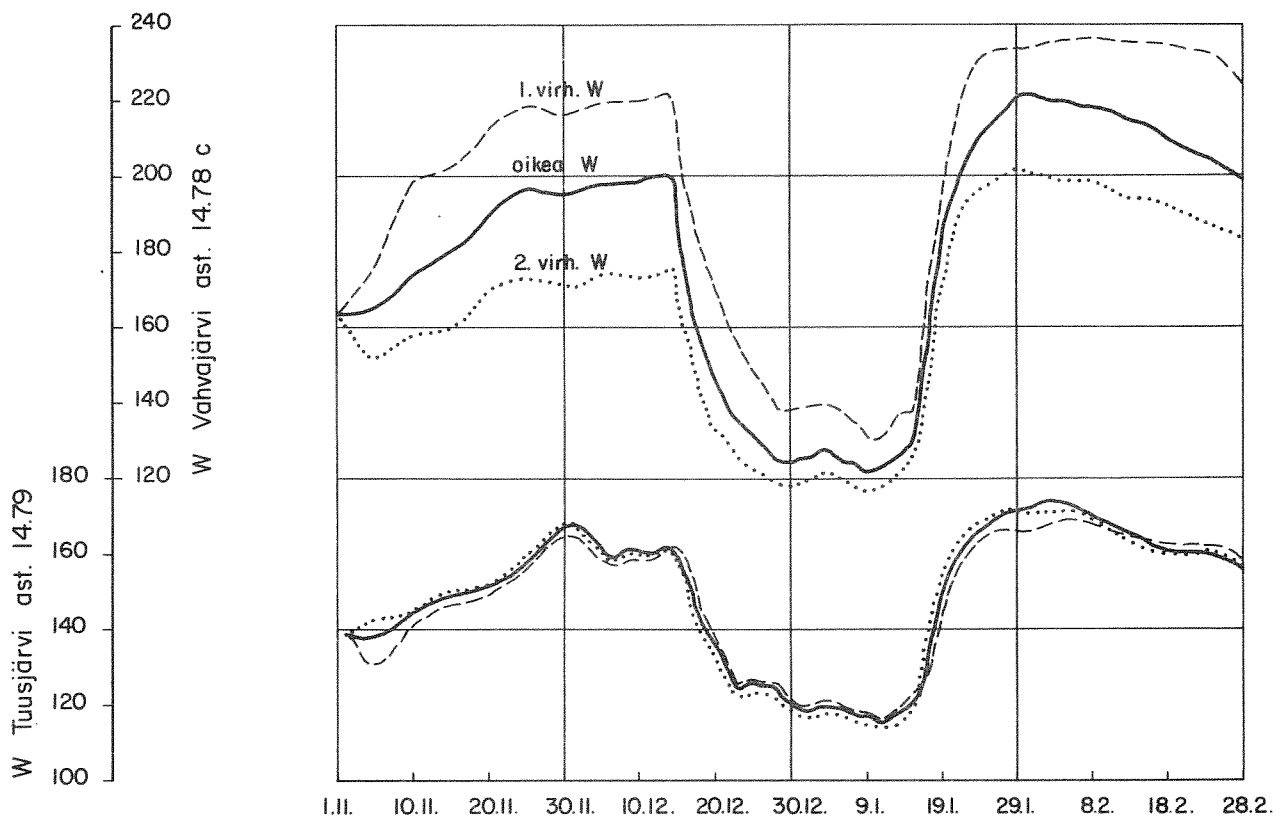
Järvien pinta-alat pystytään meillä määrittämään melko tarkasti koko valtakunnan kattavilta peruskartoilta. Ongelman muodostaakin pinta-alan muuttuminen vedenkorkeuden vaihdellussa. Castrén on todennut yhdenmukaisuutta Suomen järvien pinta-alojen poikkeamissa prosentteina keskiveden korkeutta vastaavasta pinta-alasta, kuten allaolevasta taulukosta 1.5 ilmenee.

Taulukko 1.5 Järven pinta-alan muuttuminen korkeusvyöhykkeittäin prosentteina keskiveden korkeutta vastaavasta pinta-alasta (Castrén, 1961)

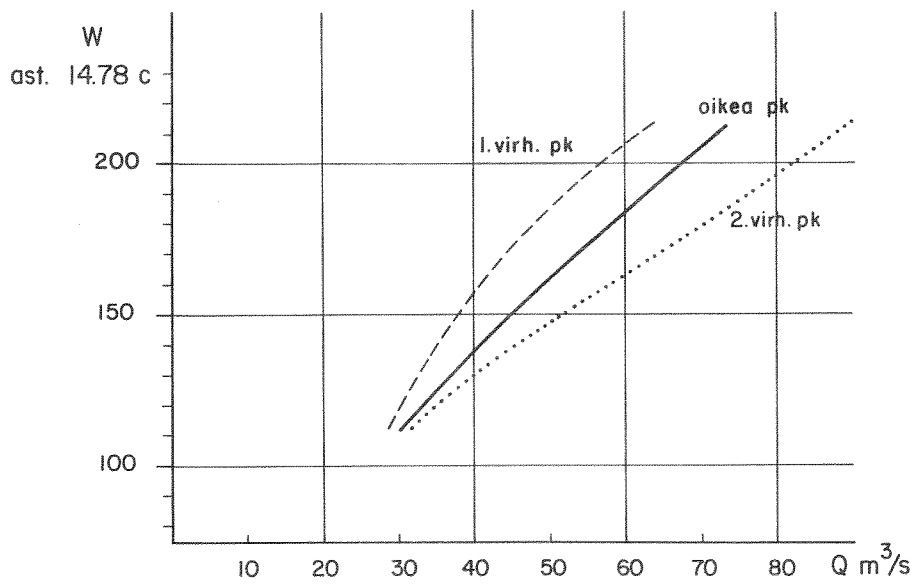
Vyöhyke MW:stä m	Pinta				Pinta ala km <sup>2</sup>
	-2,0 - -1,0	-1,0-0	0-1,0	1,0-2,0	
Päijänne	-	4,0	3,0	2,7 %	1090
Pyhäjärvi III, Tonttonenselkä	-	3,2	7,0	6,2 "	92
" Saviselkä	-	4,0	6,0	5,2 "	33
Aia-Salmaa	-	4,8	5,2	8,8 "	2619
Haukivesi	-	6,0	7,1	6,9 "	825
Orivesi	-	5,8	6,9	7,8 "	990
Vanajavesi	-	7,0	6,5	9,1 "	183
Oulujärvi	7,5	7,5	4,5	5,5 "	919
Nuasjärvi	3,5	10,2	5,0	5,0 "	95
Kiimasjärvi Pieltijärvi	9,2	9,8	4,0	10,5 "	96
Ontojärvi	8,8	12,5	8,0	9,8 "	96
Vanajan reitti	-	18,0	65,0	68,0 "	20

Taulukko osoittaa, että ilmeisesti on mahdollista tehdä melko tarkka arvio järven pinta-alan muuttumisesta pelkästään silmävaraisella tutkimuksella sekä muutamalla järvelle tyypillisen rannan poikkileikkauksen mittauksella (Castrén, 1961). Syynä järvien samankaltaisuuteen lienevät Suomen maaperän suhteellisen pienet korkeuden vaihtelut sekä aaltoilun aikaansaamat rantakerrostumat.

### Vahvajärven ja Tuusjärven vedenkorkeuskäyrät



### Ripatinkosken purkautumiskäyrät



Kuva 1.6 Vahvajärven virheellisten purkautumiskäyrien vaikutus vedenkorkeuksiin

Laskentamenetelmissä aiheuttaa eniten virhettä pitkä laskentajakso ja se, että vedenkorkeuden muutoksen oletetaan usein olevan suoraviivaista ajan suhteen. Tietokoneet mahdollistavat niin lyhyiden laskenta-ajanjaksojen käytön, että laskentamenetelmien tekemät virheet ovat merkityksettömiä lähtöaineiston tarkkuuteen verrattuna.

Monialtaisen vesistön säännöstelylaskelmat suoritetaan usein siten, että ensin lasketaan altaisiin luonnonmukaisessa tilanteessa tulevat tulovirtaamat yhtälöstä (1).

$$I = O - \frac{A \Delta W}{\Delta t}$$

missä

I	=	tulovirtaama
O	=	menovirtaama
A	=	altaan pinta-ala
$\Delta W$	=	vedenkorkeuden muutos
$\Delta t$	=	laskentajakso

Virheelliset lähtötiedot aiheuttavat näin epätarkkuutta tulovirtaamiin, joita sitten käytetään varsinaisiin säännöstelylaskelmiin. Käytettäessä lyhyttä ajanjaksoa saattaa virheellisistä vedenkorkeushavainnoista syntyä suuria vaihteluita tulovirtaamiin, minkä johdosta olisi syytä käyttää korjattuja vedenkorkeuksia. Laskeminen pitemmällä ajanjaksoilla tasaa tulovirtaaman vaihteluita. Samalla tavalla vaikuttaa liukuvan keskiarvon käyttäminen, jonka periaate selviää allaolevan taulukon 1.6 laskelmasta. Jos menovirtaama luetaan purkautumiskäyrältä, voidaan vedenkorkeutena käyttää liikkuvaa keskiarvoa.

Taulukko 1.6 Tulovirtaaman laskeminen käyttäen 3 vedenkorkeushavainnon liukuvaa keskiarvoa

W	$W_{\text{kesk}}$	$\Delta W$	A	$\frac{A \Delta W}{\Delta t}$	O	I	$I_{\text{ilman ka.}}$
cm	cm	cm	km <sup>2</sup>	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
155	155,3	0,4	10	0,5	15	15,5	16,2
155							
156							
156							
158	155,7	1,0	10	1,2	16	17,2	16,0
158							
159	156,7	1,0	10	1,2	16	17,2	18,3
159							
160	157,7	1,3	10	1,5	18	19,5	19,2
160							
162	159,0	1,3	10	1,5	19	20,5	20,2
162							
163	160,3	1,4	10	1,6	20	21,6	22,3
163							
163	161,7	1,0	10	1,2	22	23,2	23,2
163							
163	162,7	0,3	10	0,3	23	23,3	23,0
163							
163	163,0	0,0	10	0,0	23	23,0	23,0
163							

#### 1.5 AIRAKSISEN JÄRVIKERROINMENETELMÄLLÄ SAATUJEN TULOSTEN VERTAILU SÄÄNNÖSTELYLASKELMIEN TULOSSIIN

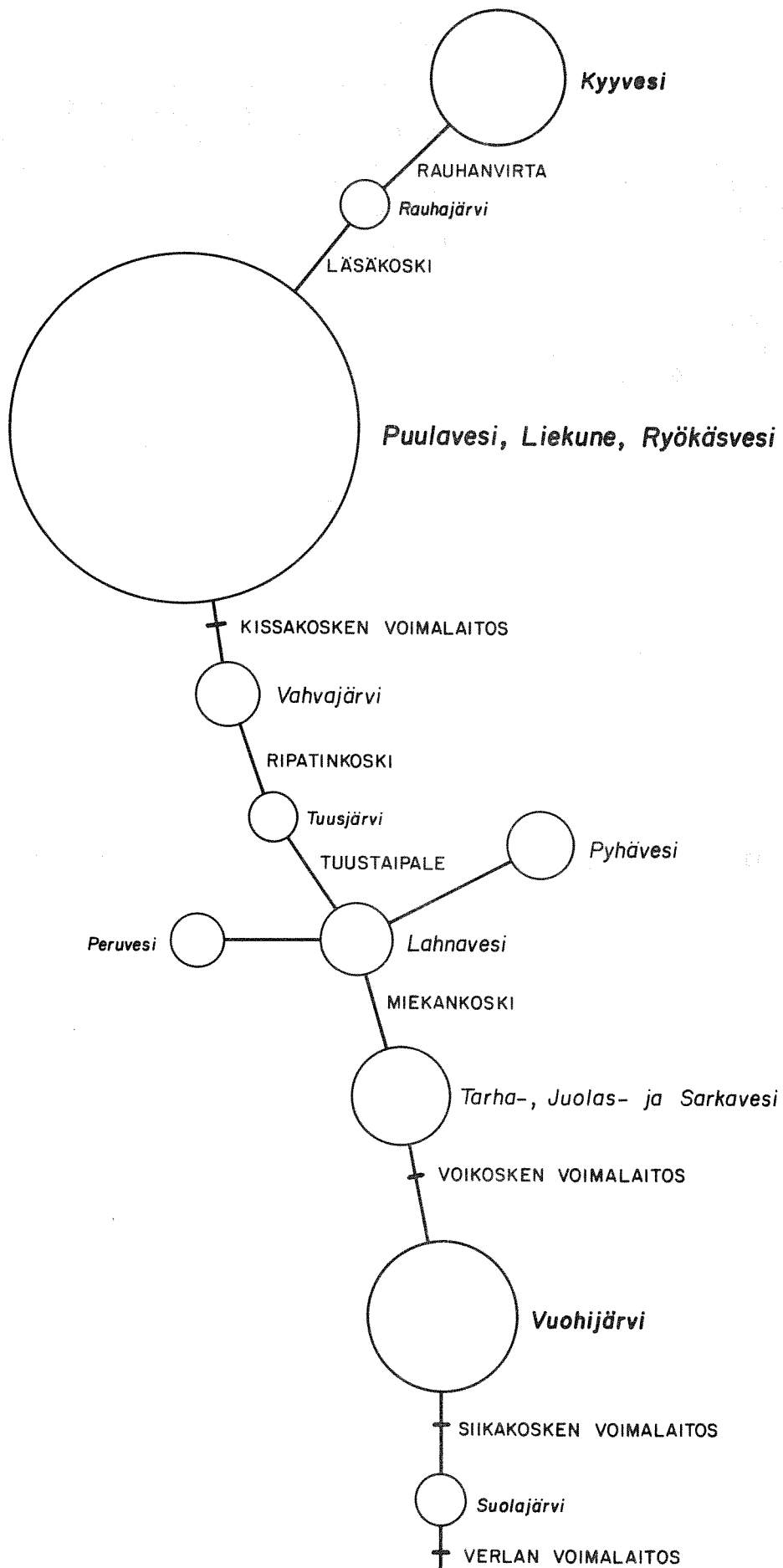
Järviokerroin on määritelty tiettyä altaan vedenkorkeutta vastaavien pinta-alan ja purkautumiskäyrän tangentin tulok-

si. Järvikerroin lasketaan piirtämällä purkautumiskäyrälle tietyin korkeusvälein tangentteja ja määräämällä tangenteille kulmakertoimet. Altaan vedenkorkeutta vastaava pinta-ala kerrotaan vastaavan purkautumiskäyrän tangentin kulmakertoimella. Järvikertoimen yksikkönä on d, tangentin kulmakertoimen  $s/m^2$  ja altaan pinta-alan  $km^2$ , mikä on huomioitava laskelmissa (Airaksinen, 1974).

Mäntyharjun reitillä (kts. luku 2.1 ja kuva 1.7) haluttiin tutkia tulvanaikaisten juoksutusmuutosten vaikutusta virtaamiin. Tätä varten määritettiin reitin päävirran altaiden järvikertoimet Kissakosken voimalaitoksen alavirtaan Siikakosken voimalaitoksen (Vuohijärven luusua) väliltä. Kertoimet laskettiin järvien HW- ja MHW-tilanteille. Kertoimet ovat seuraavat:

Vahvajärvi	HW = NN + 89,61 m,	MHW = NN + 88,88 m
	$A_{HW} = 15,4 km^2$ ,	$A_{MHW} = 14,3 km^2$
	$m_{HW} = 0,020 s/m^2$ ,	$m_{MHW} = 0,025 s/m^2$
	$K_{HW} = 3,6 d$ ,	$K_{MHW} = 4,1 d$
Tuusjärvi	HW = NN + 81,30 m,	MHW = NN + 80,85 m
	$A_{HW} = 5,9 km^2$ ,	$A_{MHW} = 5,7 km^2$
	$m_{HW} = 0,007 l/m^2$ ,	$m_{MHW} = 0,007 s/m^2$
	$K_{HW} = 0,5 d$ ,	$K_{MHW} = 0,5 d$
Lahnavesi	HW = NN + 80,29 m,	MHW = NN + 79,93 m
	$A_{HW} = 14,1 km^2$ ,	$A_{MHW} = 13,5 km^2$
	$m_{HW} = 0,011 s/m^2$ ,	$m_{MHW} = 0,011 s/m^2$
	$K_{HW} = 1,8 d$ ,	$K_{MHW} = 1,7 d$
Sarka-, Tarha- ja Juolasvesi	HW = NN + 79,80 m,	MHW = NN + 79,51 m
	$A_{HW} = 25,6 km^2$ ,	$A_{MHW} = 25,2 km^2$
	$m_{HW} = 0,012 s/m^2$ ,	$m_{MHW} = 0,013 s/m^2$
	$K_{HW} = 3,5 d$ ,	$K_{MHW} = 3,8 d$
Vuohijärvi	HW = NN + 77,10 m,	MHW = NN + 76,81 m
	$A_{HW} = 117,8 km^2$ ,	$A_{MHW} = 116,0 km^2$
	$m_{HW} = 0,010 l/m^2$ ,	$m_{MHW} = 0,010 l/m^2$
	$K_{HW} = 13,6 d$ ,	$K_{MHW} = 13,4 d$

Kuva 1.7 Mäntyharjun reitin kaaviokuva



Virtaamamuutosten viipymää reitillä tarkasteltiin yhtälön (6) avulla. Kissakosken voimalaitoksen alapuolisina altaina otettiin huomioon Vahvajärvi, Tuusjärvi, Lahnavesi sekä Tarha-, Juolas- ja Sarkavesi. Sarkaveden luusuassa olevan Voikosken voimalaitoksen katsottiin tulvatilanteessa noudattavan luonnonmukaista purkautumiskäyrää, koska tällöin virtaamaa rajoittavaksi tekijäksi tulee laitoksen yläpuolella sijaitseva koskenniska. Tarha-, Juolas- ja Sarkavesi oletettiin tasapintaisiksi ja Tarhaveden vedenkorkeuden ei tulvatilanteessa katsottu haittaavan Lahnaveden purkautumista Miekankoskella, jolla on reitin ainoa kaksiehtoinen purkautumiskäyrä.

Kissakoskella suoritettu virtaamamuutos  $\Delta I_1$  (Vahvajärven tulovirtaaman muutos) aiheuttaa Voikoskella virtaamamuutoksen  $\Delta O_4$ . Tämä voidaan esittää ajan  $t$  ja järvikertoimien  $K_1 \dots 4$  avulla (yhtälö 6).

$$\begin{aligned} \Delta O_4 = & \Delta I_1 \left[ 1 - \frac{K_1^3}{(K_1 - K_2)(K_1 - K_3)(K_1 - K_4)} \exp\left(-\frac{t}{K_1}\right) \right. \\ & + \frac{K_2^3}{(K_2 - K_1)(K_2 - K_3)(K_2 - K_4)} \exp\left(-\frac{t}{K_2}\right) \\ & + \frac{K_3^3}{(K_3 - K_1)(K_3 - K_2)(K_3 - K_4)} \exp\left(-\frac{t}{K_3}\right) \\ & \left. + \frac{K_4^3}{(K_4 - K_1)(K_4 - K_2)(K_4 - K_3)} \exp\left(-\frac{t}{K_4}\right) \right] \end{aligned}$$

Sijoittamalla järvien ylivedenkorkeutta vastaavat järvikertoimien arvot saadaan

$$\begin{aligned} \Delta O_4 = & \Delta I_1 \left( 1 - (83,61 \exp\left(-\frac{t}{3,6}\right) - 0,01 \exp\left(-\frac{t}{0,5}\right) \right. \\ & \left. + 1,47 \exp\left(-\frac{t}{1,8}\right) - 84,07 \exp\left(-\frac{t}{3,5}\right) \right) \end{aligned}$$

Erilaisilla ajan  $t$  arvoilla saadaan

$t = 5$ d	$\Delta O_4 = 0,21 \Delta I_1$
$t = 10$ d	$\Delta O_4 = 0,62 \Delta I_1$
$t = 15$ d	$\Delta O_4 = 0,86 \Delta I_1$
$t = 20$ d	$\Delta O_4 = 0,96 \Delta I_1$
$t = 25$ d	$\Delta O_4 = 0,99 \Delta I_1$

$$\begin{aligned}
 t &= 1/2 \sum K_L = 4,7 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,18 \Delta I_1 \\
 t &= \sum K_L = 9,4 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,58 \Delta I_1 \\
 t &= 2 \sum K_L = 18,8 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,94 \Delta I_1
 \end{aligned}$$

Keskiylivedenkorkeutta vastaavilla järvikertoimilla saadaan

$$\begin{aligned}
 \Delta O_4 &= \Delta I_1 \left( 1 - \left( 26,59 \exp \left( -\frac{t}{4,1} \right) - 0,01 \exp \left( -\frac{t}{0,5} \right) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + 0,81 \exp \left( -\frac{t}{1,7} \right) - 26,39 \exp \left( -\frac{t}{3,8} \right) \right) \right)
 \end{aligned}$$

Erilaisilla ajan  $t$  arvoilla saadaan

$$\begin{aligned}
 t &= 5 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,19 \Delta I_1 \\
 t &= 10 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,58 \Delta I_1 \\
 t &= 15 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,82 \Delta I_1 \\
 t &= 20 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,94 \Delta I_1 \\
 t &= 25 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,98 \Delta I_1 \\
 t &= 1/2 \sum K_L = 5,1 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,20 \Delta I_1 \\
 t &= \sum K_L = 10,1 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,59 \Delta I_1 \\
 t &= 2 \sum K_L = 20,2 \text{ d} & \Delta O_4 &= 0,94 \Delta I_1
 \end{aligned}$$

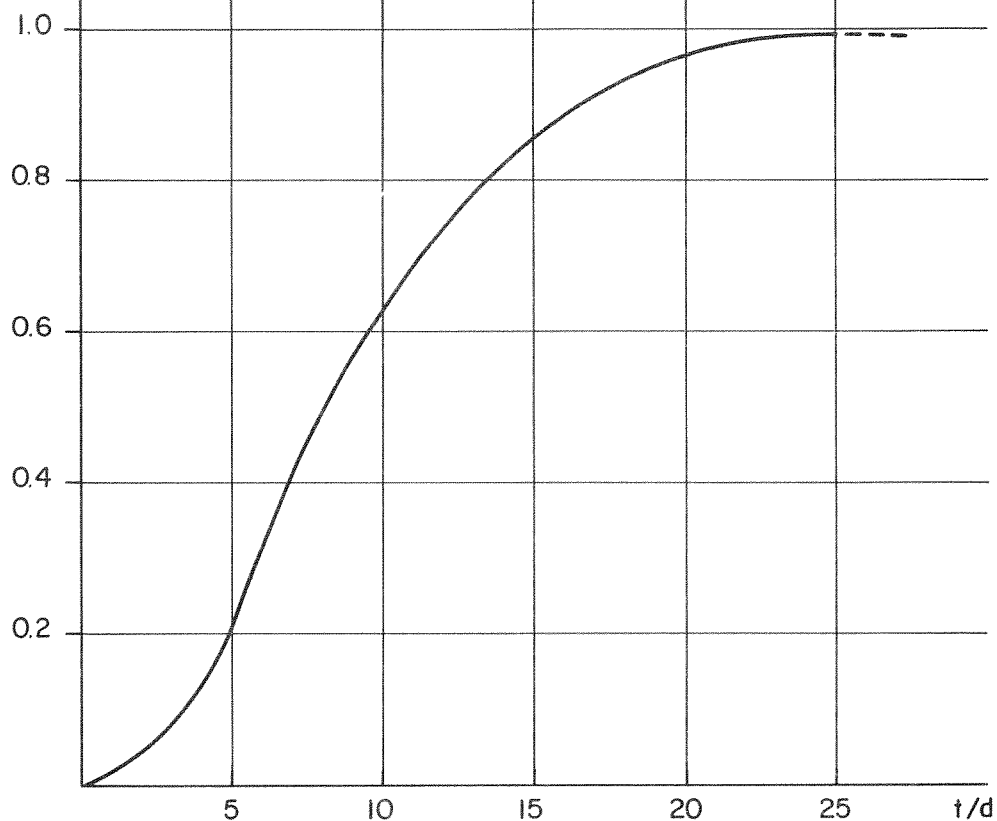
Kuvissa 1.8 a ja b on esitetty suhteen  $\Delta O_4 / \Delta O_1$  arvo ajan funktiona HW- ja MHW-tilanteissa. Jos KISSAKOSKEN voimalaitoksella tehdään esimerkiksi  $-20 \text{ m}^3/\text{s}$ :n juoksutuksen muutos MHW-tilanteessa, on VOIKOSKEN virtaaman muutos 10 vrk:n kuluttua kuvan 6b mukaan  $0,58 \times (-20 \text{ m}^3/\text{s}) \sim -12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Menetelmän tarkistamiseksi suoritettiin SSARR-sadanta-valunta-mallilla säännöstelylaskenta, jossa Puulaveden luusuassa KISSAKOSKELLA virtaamaa pienennettiin  $33 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tällöin Voikoskella virtaama pienenee SSARR-mallin (kts 1.32) ja Airaksisen järvikerroinmenetelmän mukaan seuraavassa taulukossa 1.7 esitetysti.

$$\frac{\Delta O_4}{\Delta I_1}$$

HW - tilanne

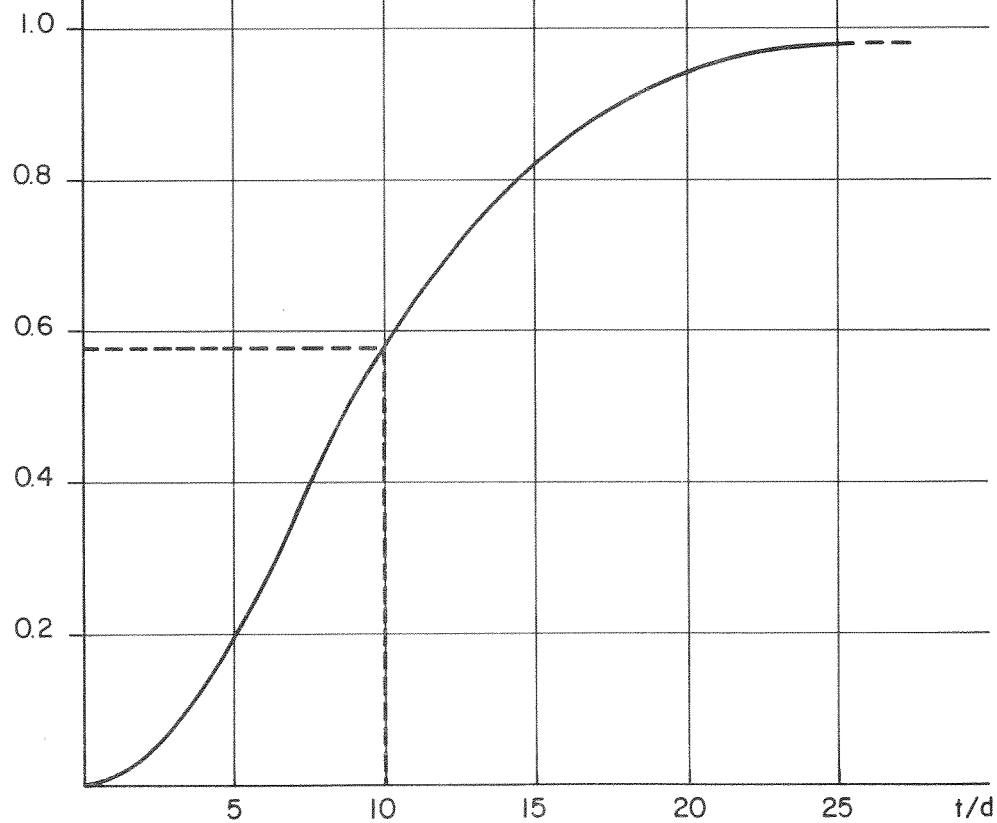
a)



$$\frac{\Delta O_4}{\Delta I_1}$$

MHW - tilanne

b)



Kuva 1.8 Suhde  $\frac{\Delta O_4}{\Delta I_1}$  ajan t funktiona



Taulukko 1.7 Voikosken virtaaman pienennys  $\Delta O_4$  kun  $I_1 = -33 \text{ m}^3/\text{s}$

t d	$\Delta O_4$ (SSARR) $\text{m}^3/\text{s}$	$\Delta O_4$ Airaksinen HW $\text{m}^3/\text{s}$
5	92,4 - 85,0 ~ 7	0,21 x 33 ~ 7
10	95,2 - 75,6 ~ 20	0,62 x 33 ~ 20
15	98,4 - 70,6 ~ 28	0,86 x 33 ~ 28
20	92,7 - 60,1 ~ 33	0,96 x 33 ~ 32
25	91,2 - 56,8 ~ 34	0,99 x 33 ~ 33

Taulukko 1.8 Voikosken virtaaman lisäys  $\Delta O_4$  kun  $I_1 = 40 \text{ m}^3/\text{s}$

t d	$\Delta O_4$ (SSARR) $\text{m}^3/\text{s}$	$\Delta O_4$ (Airaksinen MHW) $\text{m}^3/\text{s}$
5	65,5 - 57,3 ~ 8	0,19 x 40 ~ 8
10	80,5 - 57,3 ~ 23	0,58 x 40 ~ 23
15	90,9 - 57,3 ~ 34	0,82 x 40 ~ 33
20	92,7 - 57,3 ~ 35	0,94 x 40 ~ 38
25	92,7 - 57,3 ~ 35	0,98 x 40 ~ 39

Vaikka reittiin sivulta purkautuvat vesimäärät eivät olleet täysin vakioita ja vaikuttavat näin hiukan SSARR-mallilla saatuihin  $\Delta O_4$ :n arvoihin, voidaan Airaksisen järvikerroinmenetelmällä saatavia tuloksia pitää vertailun perusteella varsin käyttökelpoisina.

## 2. M Ä N T Y H A R J U N R E I T I N P Ä Ä V I R R A N T U L V A - V A H I N G O T

### 2.1 YLEISTÄ

Mikkelin vesipiirin vesitoimisto on suorittanut Mäntyharjun reitin päävirran järvioltailla tulvavahinkojen kartoituksen. Järvien rannoilla olevat mahdolliset vahinkokohteet kartoitettiin kiertämällä järven rannat maastossa kokonaan läpi lukuunottamatta Puulavettä, jonka osalta käytettiin otantamenettelyä.

Tulvavahingot jaettiin maatalous-, rakennus- ja muihin vahinkoihin. Maataloudelle aiheutuvat vahingot arvioitiin määrittämällä kullakin tulvakorkeudella veden alle jäävä ja vettyvä peltoala. Saaduille aloille käytettiin keskimääräistä vahinkoa hehtaaria kohti. Peittyvän peltoalan vahinkona käytettiin 850 mk/ha ja vettyvän peltoalan osalta 420 mk/ha.

Metsätaloudelle aiheutuvia vahinkoja ei käsitelty, koska poikkeuksellisen tulvan keston oletettiin olevan lyhyemmän kuin puuston tuhoutumiseen vaadittavan vesikatteen keston.

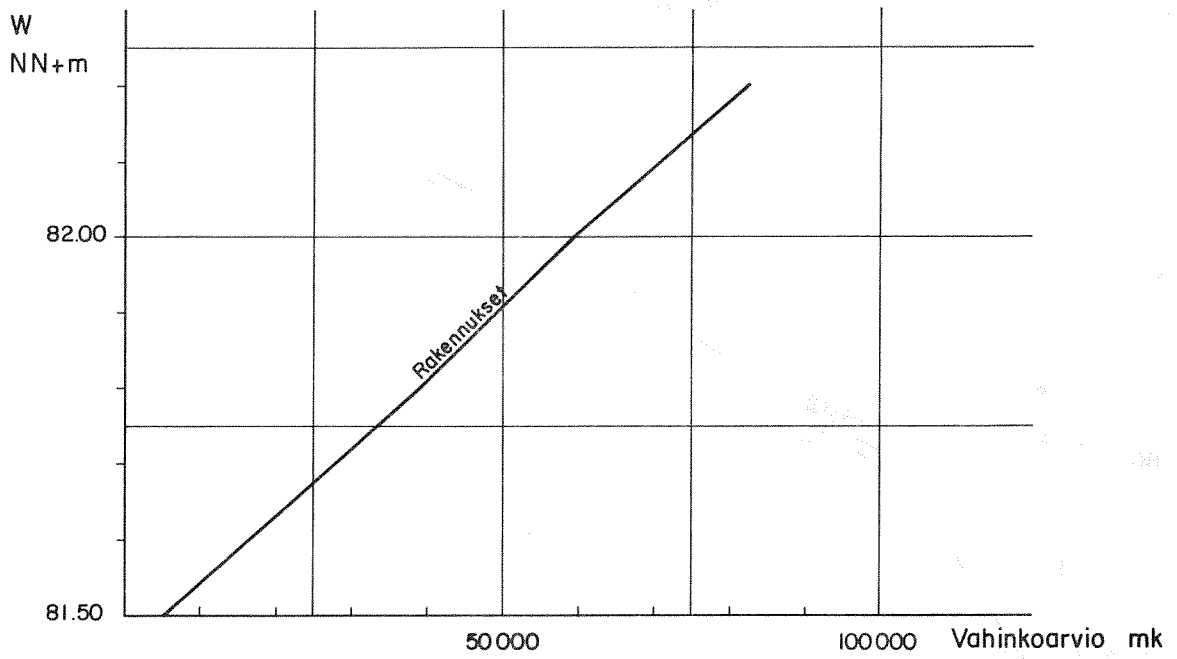
Rakennuksille aiheutuvat vesivahingot arvioitiin prosentteina rakennuksen arvosta riippuen siitä, kuinka korkealle vesi nousisi rakennuksen sokkelitasosta. Rakennukset luokiteltiin kahteen arvoluokkaan, hyviin ja huonoihin. Hyvien rakennusten arvona käytettiin 1000 mk/m<sup>2</sup> ja huonojen 500 mk/m<sup>2</sup>.

Muita vahinkokohteita reitillä ovat asutuskeskusten vesihuoltolaitteet, voimalaitokset ja järvien rannoilla sijaitsevat teollisuuslaitokset.

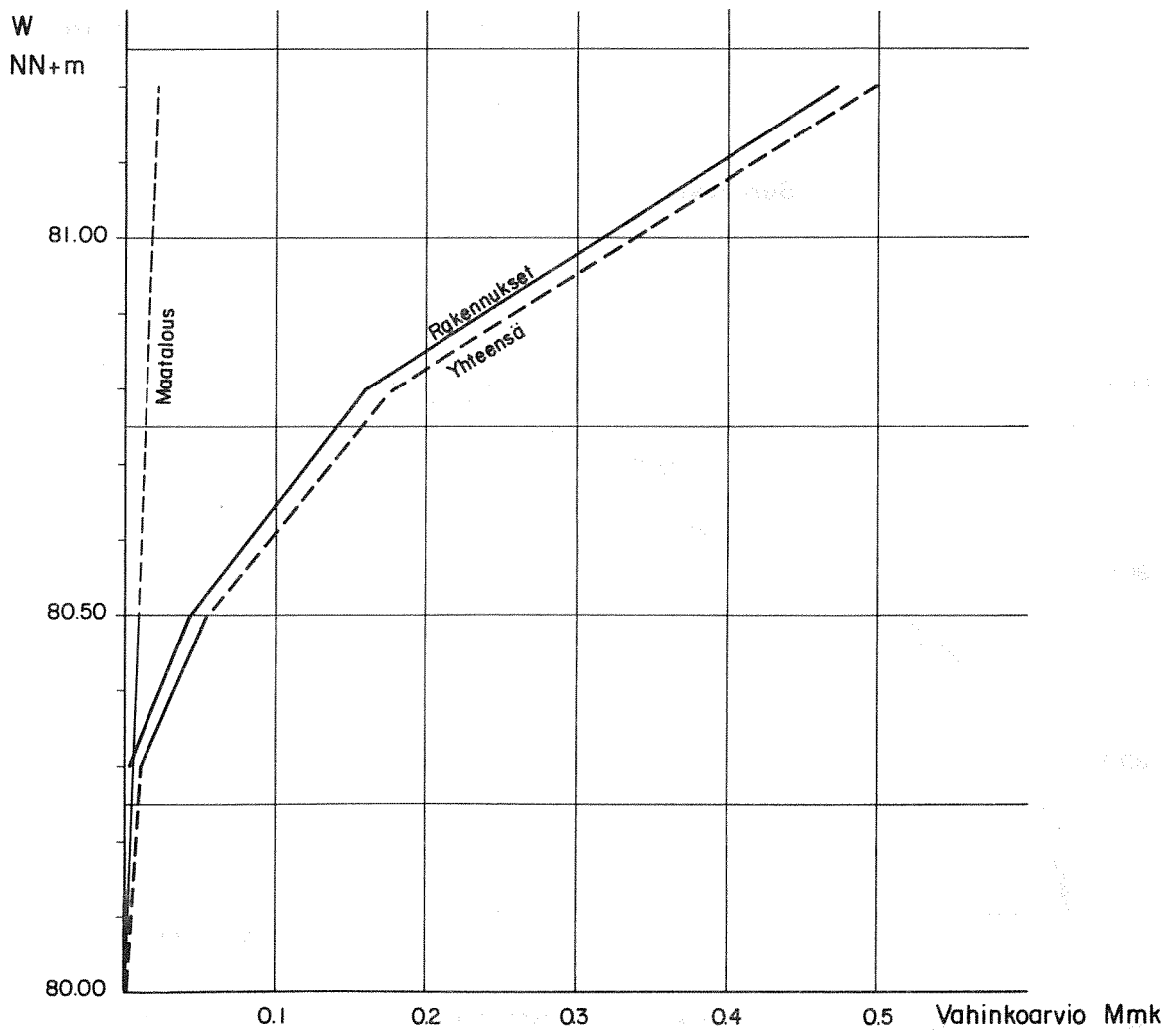
## 2.2 JÄRVIEN TULVAVAHINKOARVIOT

Edellisessä luvussa selostetun tulvavahinkojen kartoituksen perusteella laadittiin kullekin reitin päävirran järvelle vahingonarviot erilaisilla tulvakorkeuksilla. Vahingonarviot on esitetty graafisesti kuvissa 2.3-2.5.

## Tuusjärvi

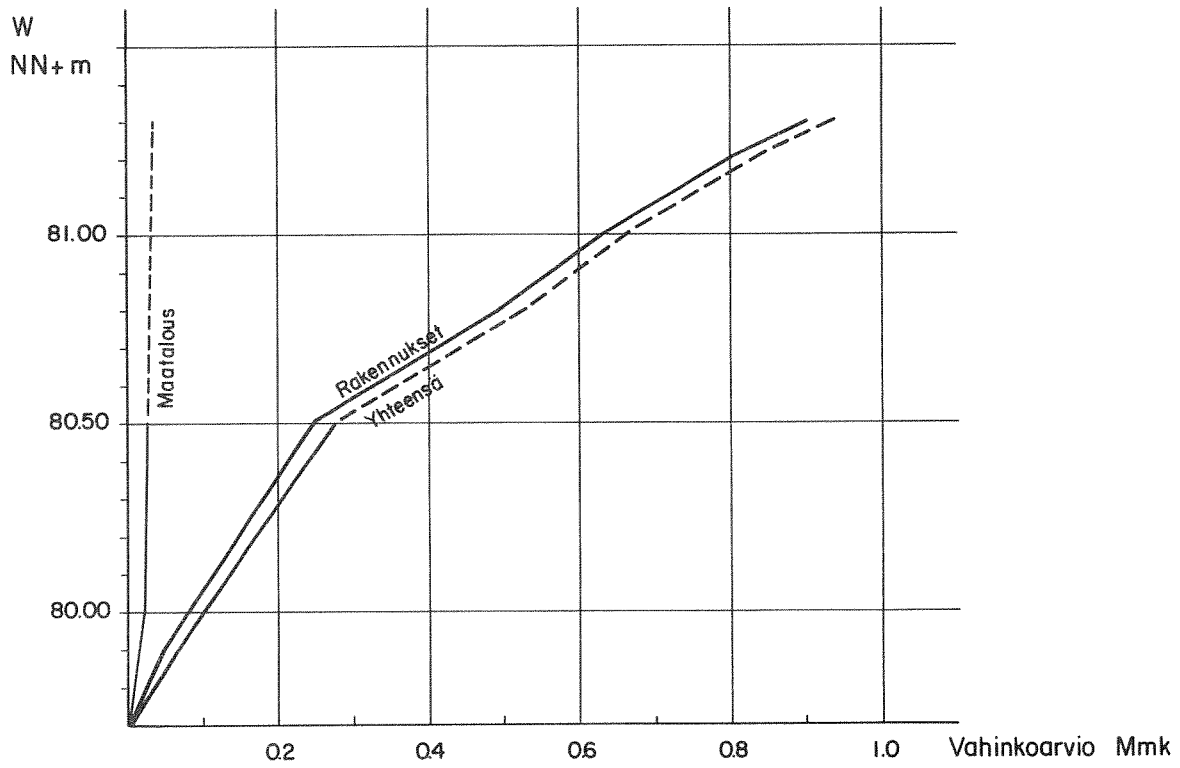


## Lahnavesi

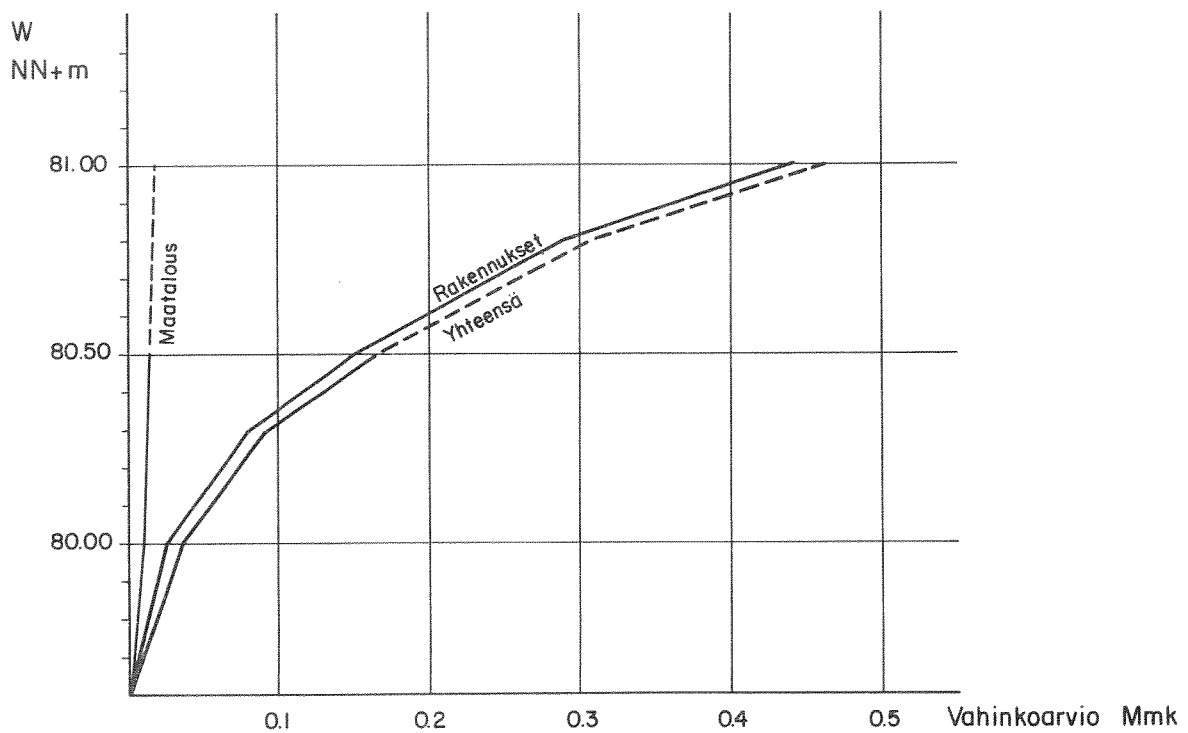


Kuva 2.3 Tuusjärven ja Lahnaveden tulvavahinkoarviot (hintataso 1978)

## Tarha- ja Juolasvesi

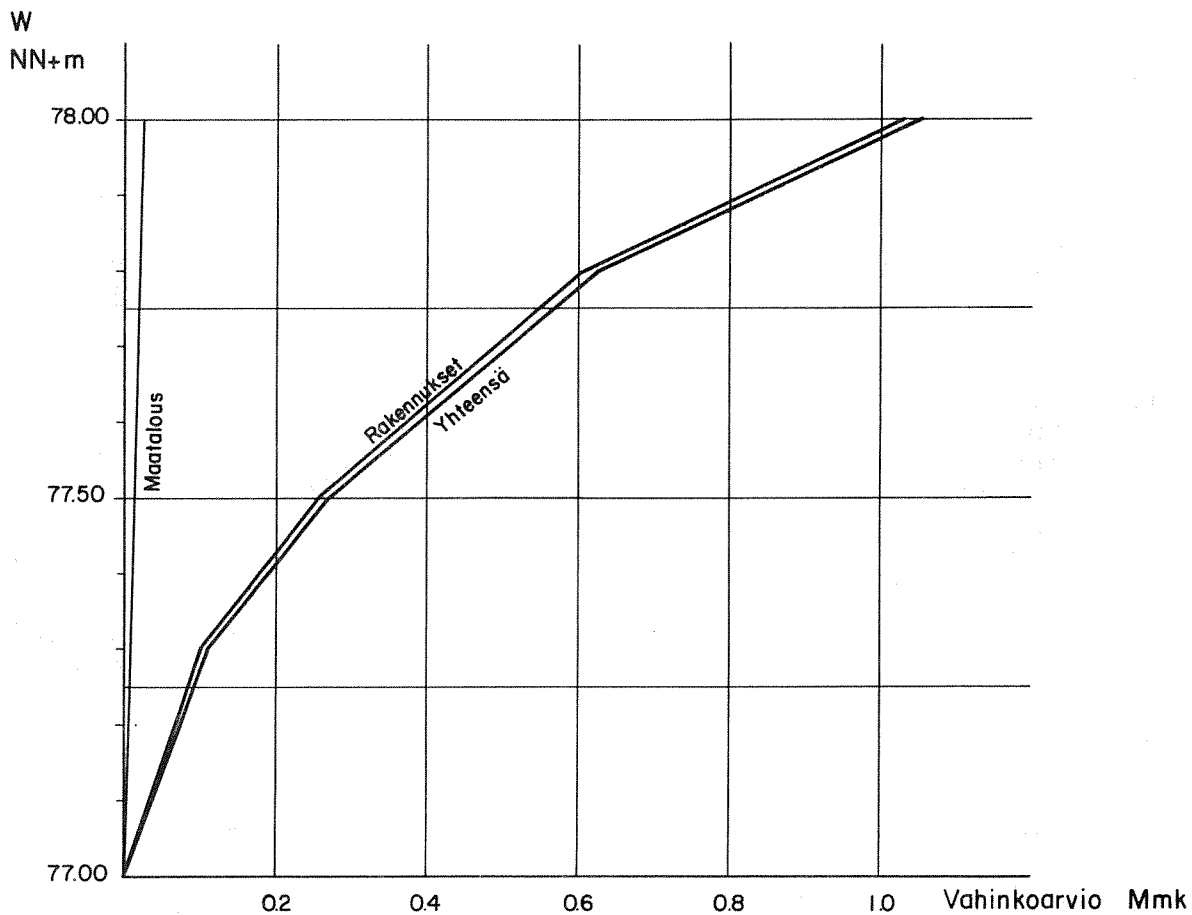


## Sarkavesi

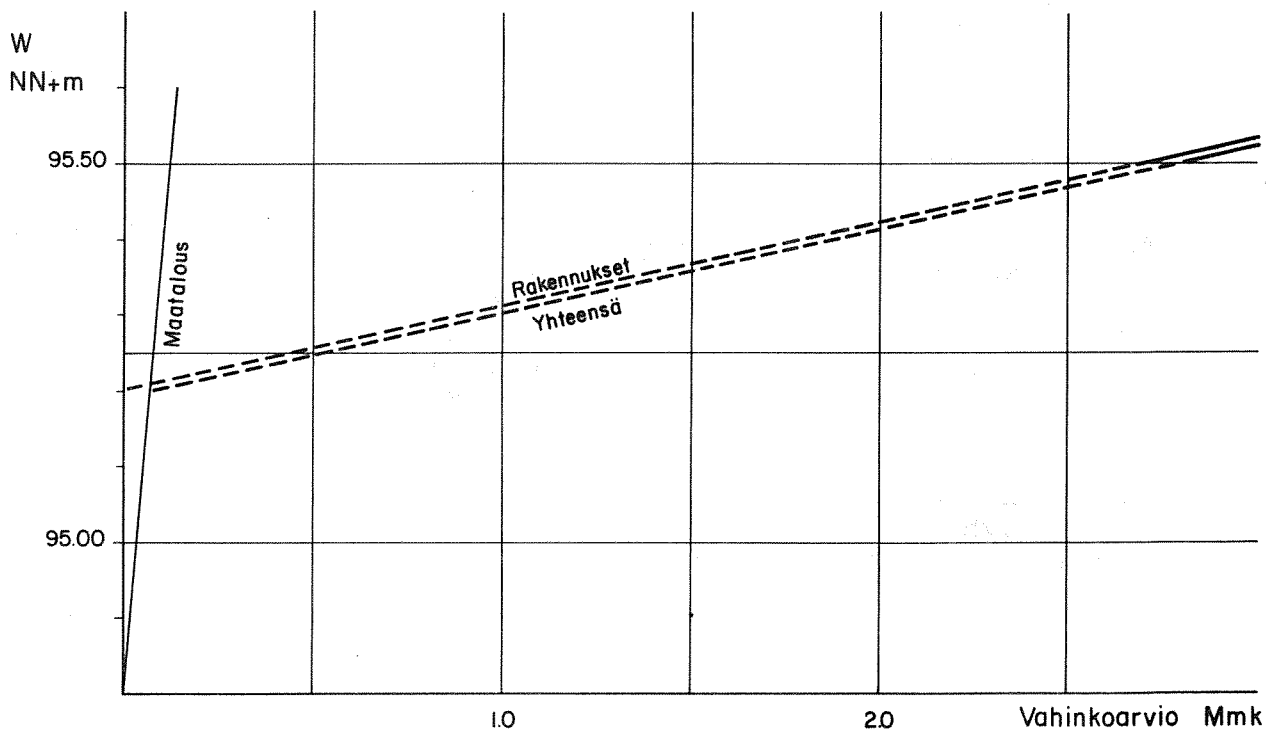


Kuva 2.4 Tarha-, Juolas- ja Sarkaveden tulvavahinkoarviot (hintataso 1978)

Vuohijärvi ja muut samassa tasossa olevat järvet



Puulavesi ja muut samassa tasossa olevat järvet



Kuva 2.5 Vuohijärven ja Puulaveden tulvavahinkoarviot (hintataso 1978)

### 3. TOIMINTAVAIHTOEHDOT TULVATILAN - TEISSÄ

#### 3.1 YLEISTÄ

Vahinkoselvityksistä ja hydrologisista toistuvuustarkaste-  
luista ilmenee, että jo keskimäärin 20 vuodessa toistuva  
tulva aiheuttaa Kymijoen vesistössä varsin suuria vahinkoja.  
Tämän vuoksi Kymijoen vesistön tulvantorjunta tähtää siihen,  
että suurilla säännösteltävillä järvillä ja jokiosalla pys-  
tyttäisiin vesistön yhteiskäytöllä pitämään kokonaisvahingot  
mahdollisimman pieninä. Vesistöalueen järville on tulvantor-  
juntatoimenpiteiden käynnistymisen perustaksi määritelty pait-  
si hydrologiseen toistuvuustarkasteluun myös vahinkoselvityk-  
siin perustuen ohjearvot. Ohjearvot ja keskimäärin kerran 20  
vuodessa toistuvat tulvakorkeudet esitetään taulukossa 3.1  
(Vesihallitus, 1980).

Taulukko 3.1 Vahinkoihin perustuvat ohjearvot ja keskimäärin  
kerran 20 vuodessa toistuvat tulvakorkeudet  
(Vesihallitus 1980)

Järvi	Ohjearvo	Tulvakorkeus 1/20 v
Kivijärvi	NN + 131,40 m	NN + 131,55 m
Kolimajärvi	NN + 111,60 m	NN + 111,65 m
Keitele	NN + 99,90 m	NN + 100,00 m
Päijänne	NN + 78,90 m	NN + 79,20 m
Puulavesi	NN + 95,20 m	NN + 95,30 m
Vuohijärvi	NN + 77,10	NN + 77,25 m
Jokiosa (ennen haaraut.)	600 m <sup>3</sup> /s	650 m <sup>3</sup> /s
(itäinen haara)	340 "	370 "
(läntinen haara)	260 "	280 "

Poikkeuksellisen suuret tulvat aiheuttivat eniten vahinkoa  
Kymijoen alaosalla, missä sijaitsee suuria teollisuuslaitok-  
sia. Siksi Kymijoen vesistön tulvantorjunnan kannalta on mää-  
räävä tekijä jokiosan virtaama. Mäntyharjun reitti käyttäy-  
tyy tulvatilanteessa hyvin. Reitin tulvantorjunnalle onkin  
ominaista, koska se ei itse ole erityisen tulvanherkkä, että  
sen käytöllä pyritään supistamaan koko Kymijoen vesistön tul-  
vavahinkoja.

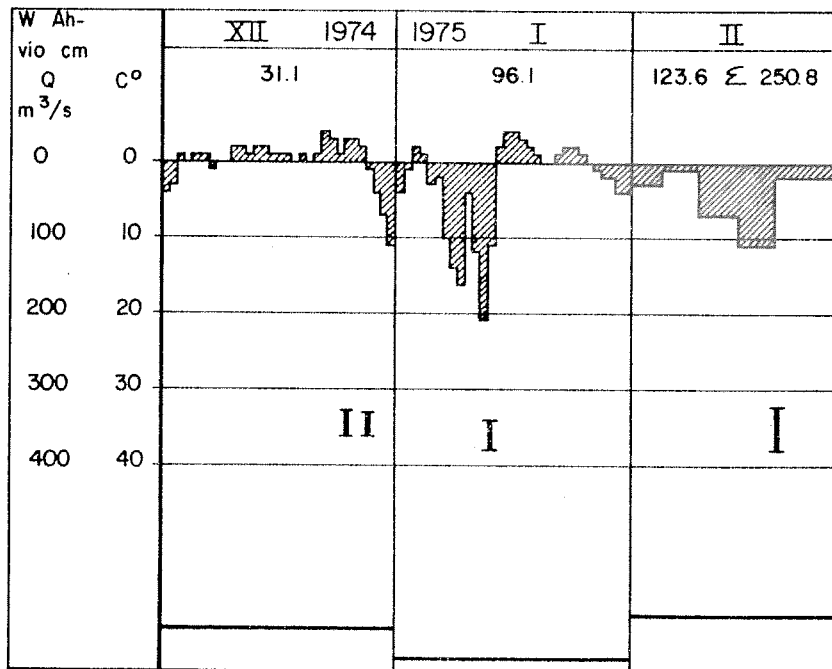
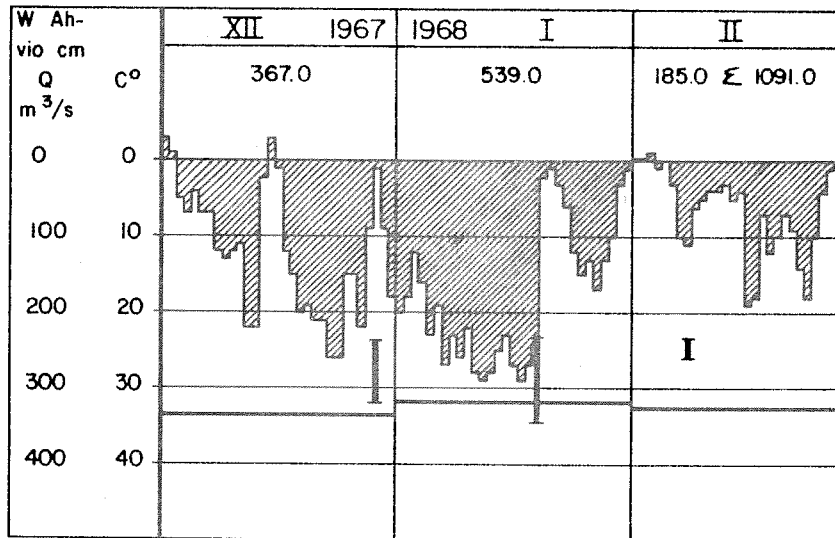
Kymijoen alaosan virtaama määräytyy juoksutuksesta Päijänteest-  
tä, Mäntyharjun reitin virtaamasta sekä lähivalunnasta. Mänty-  
harjun reitin osuus koko vesistön valuma-alueesta on vain  
14 %, kun Päijänteen luusuassa Kalkkisissa sama osuus on yli  
70 %. Päijänteen juoksutus määrää siis suurelta osin Kymi-  
joen virtaaman.

Mäntyharjun reitin alin järviällä Vuohijärvi sijaitsee lähellä Kymijoen alaosaa, joten Vuohijärven luusuassa tehdyt virtaaman muutokset vaikuttavat nopeasti jokiosan virtaamaan. Vuohijärven suhteellisen pienen pinta-ala (n. 110 km<sup>2</sup>) rajoittaa kuitenkin sen käyttöä tulvan torjuntaan. Reitin suurin säännöstelty järvi Puulavesi sijaitsee kaukana Kymijoen alaosalta. Puulaveden ja Vuohijärven välissä on monialtainen järviketju, joka hidastaa virtaaman etenemistä (kts. luku 1.5).

Reitin altaiden varastotilavuuden pienuudesta johtuen tulee sen käyttö tulvatilanteessa olemaan lyhytaikaista virtaaman säätelyä. Lähinnä tulee kysymykseen virtaaman voimakas pienentäminen, kun tilanne Kymijoen alaosalla muodostuu vaikeaksi. Selvän tarpeen pienentää nopeasti jokiosan virtaamaa aiheuttava hyytämislmiö, joka saattaa aiheuttaa jokiosalla suuria vahinkoja, vaikka virtaama olisikin vielä alle aikaisemmin esitetyn ohjearvon. Kuvassa 3.1 on esitetty eräiden vuosien osalta hyydön esiintyminen ja vaikutus Ahvion asteikkolukemaan Kymijoella (Kymen vesipiiri).

Kun veden nopeus uomassa on riittävän suuri ( $>0,6$  m/s), se ei normaalioloissa pysty jäätymään, vaikka se jäähtyykin alle jäätympisteensä. Alijäähtyneen veden kohdatessa esteen sen virtausnopeus hidastuu, jolloin tapahtuu jäätyminen yhtäkkiä ja uomaan muodostuu nopeasti kasvavaa hyytöä. Hyytö on sitä runsaampaa, mitä kylmempää vesi on. Virtaaman kasvaminen uomassa lisää veden virtausnopeutta, mikä osaltaan lisää hyytöä (Vesihallitus, 1980).

Kuva 3.1 Talvikauden päivittäiset keskilämpötilat ja Kymijoen kuukausikeskivirtaamat eräiltä vuosilta sekä kuukauden ja talvikauden pakkasmäärä (aste-päiväsumma ( $d^{\circ}$ )), samoin kunkin kuukauden suurin vedenkorkeus Ahvion yläasteikolla ja virtaamaa vastaava sulan uoman lukema (I), erotus = hyydön vaikutus (Kymen vesipiiri)





Veden alijäähtymistä pyritään estämään asentamalla jokeen hyytöpuomeja. Puomien tarkoituksena on hidastaa veden pinta-virtausta ja näin edesauttaa jääkannen muodostumista. Virtausnopeutta voidaan pienentää myös virtaamaa pienentämällä. Muodostunutta hyytöä poistetaan räjäyttämällä, mikä edellyttää suurta jokiosan tuntemusta. Voimalaitosten välppärakenteita on puhdistettu hyydöstä mm. kaivinkoneiden avulla.

Hyytämisilmiö on ongelmallinen Kymijoen alaosalla. Mäntyharjun reitin virtapaikoissa ei ole merkittäviä hyytöongelmia, koska reitin jokijaksot ovat lyhyitä. Hyytöä tiedetään kuitenkin satunnaisesti esiintyneen ainakin Puuskankoskessa.

Hyytäminen liittyy talviaikaisiin tulvatilanteisiin, joille on ominaista niiden vaikea ennustettavuus. Talvitulva aiheutuu pääasiassa syyskauden sadannasta. Toisenlainen tulvatilanne on pääasiassa lumen sulamisesta aiheutuva tulva. Kevättulvaa pystytään jollain tarkkuudella ennustamaan, jolloin vesistön käyttö on luonteeltaan erilaista kuin talvitulvan aikana. Seuraavassa esityksessä käsitellään erilaisia toimintavaihtoehtoja Mäntyharjun reitin tulvantorjunnassa lähtien liikkeelle sekä kevät- että talvitulvan niille asettamista tavoitteista. Toimintavaihtoehtoilta tarkoitetaan normaalisista reitin käytöstä poikkeavia juoksutusvaihtoehtoja. Näiden poikkeusjuoksutusten vaikutusta reitin virtaamiin ja vedenkorkeuksiin on tutkittu käyttäen SSARR-sadanta-valunta-mallia, lähinnä sen reservoir-routing osaa (kts. myös 1.3). Laskennassa olivat sen mukana reitin suurimmat päävirran järvet Puulavedeltä Vuohijärvelle. SSARR-mallissa voidaan säännötellyille altaille määrätä seuraavia ohjeita (Karvonen, 1980):

- vapaa purkautuminen
- menovirtaaman suuruuden haluttu säätteleminen
- altaan vedenkorkeuden haluttu säätteleminen
- vedenkorkeuden muutoksen haluttu säätteleminen
- varastotilavuuden haluttu säätteleminen
- varastotilavuuden muutoksen haluttu säätteleminen

Mallille syötettiin myös voimalaitosten maksimipurkautumiskykyä kuvaavat käyrät, joita noudatettiin, kun haluttiin juoksuttaa lupaehtoja suurempia vesimääriä.

Vedenkorkeustietoina mallille syötettiin kevättulvan osalta vuoden 1955 kevään ja talvitulvan osalta vuosien 1974-75 talvikuukausien vedenkorkeudet.

Kummassakin tulvatilanteessa on Päijäntelle laaditulla juoksutusohjeella suurin vaikutus Kymijoen virtaamaan. Juoksutusohje perustuu tulovesimäärän ennakoarvioihin, jotka ovat tarkempia kevättulvan osalta. Vuosien 1974-75 talvikuukaudet täydensivät kuitenkin hydrologista havaintoaineistoa talvitulvien osalta. Mäntyharjun reitin käyttö Kymijoen alaosan tulvantorjuntaan tulee niveltää Päijänteen tulvanaikaiseen juoksutusohjeeseen.

Reitin poikkeuksellisten juoksutusten taloudellisia vaikutuksia käsitellään luvussa 3.4.

### 3.2 KEVÄTTULVA

#### 3.21 P o i k k e u s j u o k s u t u s t e n t a v o i t e

Mäntyharjun reitin tavallisesta poikkeavilla juoksutuksilla pyritään pienentämään Kymijoen tulvavirtaamaa. Tällöin hyödynnetään Päijänteen ja reitin tulvahuippujen välinen aikavero. Päijänteen vedenkorkeus on suurimmillaan keskikesällä, kun taas Vuohijärvestä purkautuvat suurimmat vesimäärät jo alkukesällä.

Poikkeusjuoksutuksiin juoksutetaan reitin tulvavedet mahdollisimman aikaisin keväällä, jotta myöhemmin kesällä virtaamaa voitaisiin Päijänteen menovirtaaman maksimin niin vaatiessa pienentää.

#### 3.22 P o i k k e u s j u o k s u t u s l a s k e l m a t

Tulvatilanteessa suoritettiin useita erilaisia poikkeusjuoksutuslaskelmia. Seuraavassa esityksessä selostetaan em. laskelmia ja viitataan tarpeen mukaan liitteenä oleviin numeroitujen poikkeusjuoksutuslaskelmien juoksutustietoihin sekä graafisiin esityksiin.

Kevättulvatilanteessa tutkittiin ensin, kuinka Vuohijärven poikkeuksellisella käytöllä voitaisiin lieventää Kymijoen tulvaa. Lähinnä tuli kysymykseen menettely, jossa Vuohijärveä lasketaan maalishuhtikuussa enemmän kuin se säännöstelyluvan mukaisesti laskisi. Vedenpinnan alentaminen onnistuu hyvin, koska järvi laskee jo lisäjuoksutuksella  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  maalishuhtikuussa n. 0,5 m. Tulvantorjuntaorganisaatiolla on maaliskuun alussa käytössään melko hyvä arvio kevään tulovirtaamasta, joten alentamispäätös voidaan tarvittaessa tehdä ajoissa. Samoin organisaatiolla on tieto, että reitin latvaosan järvissä on vettä riittämiin, jotta Vuohijärvi saadaan palautettua ennalleen, mikäli tulvatilanne nopeasti helpottuisikin. Toukokuussa saavutettu varastotilavuus menetetään, jollei virtaamaa pidetä keinotekoisesti suurempana kuin lupaehdot edellyttävät. Siikakoskella on tällöin juoksutettava järven tulovirtaamaa, jota voidaan arvioida Voikosken purkautumiskäyrän ja Sarkaveden asteikkolukeman perusteella. Valuma-alueiden pinta-alojen mukaan arvioituina Vuohijärven tulovirtaama riippuu 90 %:sti Voikosken virtaamasta. Voikosken purkautumiskäyrä on esitetty poikkeusjuoksutustiedostossa (luku 4). Toukokuun tulovirtaama saattaa kuitenkin olla niin suuri, ettei Vuohijärveä pystytä täysin pitämään kuun alun tasossa, koska voimalaitosten purkautumiskyvyt ja Kymijoen virtaama asettavat omat rajoituksensa.

Siikakosken virtaaman pidättämistä Vuohijärveen on arvioitava aiheutettavien vahinkojen sekä jokiosalla saavutettavien hyötyjen valossa (kts. luvut 2, 3 ja 4). Ehdoton yläraja Siikakosken voimalaitoksella on taso NN + 78,00 m, jonka jälkeen

vesi alkaa purkautua maapenkereiden yli. Virtaaman supistaminen  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  nostaa Vuohijärven vedenpintaa 1 m:n n. 26 vuorokaudessa.

Virtaaman rajoittamista ei ole syytä jatkaa liian kauan, koska tällöin jokiosalla saavutettu hyöty menetetään, jos Siikakoskella joudutaan äkillisesti palaamaan "normaaliin" juoksutukseen. Varaamalla 0,3 m:n "varmuusväli" voidaan virtaamaa rajoittaa vielä 2 viikon ajan n.  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Poikkeusjuoksutuslaskenta 1:ssä suoritettiin kuvatulainen voimakas kevätalennus.

Seuraavaksi selvitettiin, voidaanko myös Puulavettä käyttää jokiosan tulvan helpottamiseen. Tavoitteeseen pyrittiin juoksuttamalla Puulavesi keväällä huomattavasti alle luonnonmukaisen vedenkorkeuden. Juoksutus aloitettiin maaliskuun alussa ja sitä jatkettiin toukokuun loppuun asti. Tämän jälkeen virtaamaa rajoitettiin huomattavasti kesäkuun ajan (poikkeusjuoksutuslaskenta 2).

Toimenpiteillä oli tarkoitus helpottaa Vuohijärven käyttöä. Suuret juoksutukset ennen lumen sulamista nostavat reitin säännöstelemättömien järvien vedenkorkeudet ylös ja kun sulamiskaudella altaiden lähivaluma-alueiden vedet tulivat altaisiin, nousivat näiden vedenkorkeudet luonnonmukaista tilannetta ylemmäs. Vuohijärvellä vedenpinta olisi ollut niin korkealla, ettei virtaaman rajoittamiseen Siikakoskella olisi ollut mahdollisuuksia. Kokeilun opetuksena voidaan sanoa, että Puulaveden lisäjuoksutusten on oltava ennen tulvakautta hyvin lieviä, koska suuremmat virtaamat edellyttävät suurempia vedenkorkeuksia reitin säännöstelemättömissä järvissä. Lisäksi reitin järvet on voitava pitää selvästi tulvakorkeuden alapuolella ennen lähivaluma-alueiden purkautumista järviin.

Virtaaman rajoittaminen Puulavedellä aiheuttaa vastaavasti reitin järvien voimakkaan laskun (poikkeusjuoksutuslaskenta 2). Vedenkorkeusvaihteluita voidaan arvioida purkautumiskäyrien avulla. Virtaaman muutos aiheuttaa käyrän määräämän vedenkorkeuden muutoksen.

Puulaveden ylimääräinen kevätalennus on siis tehtävä lievästi. Alennuksen suuruutta voidaan arvioida tulovirtaamaennusteiden avulla, jollaisia on tehty myös Puulavedelle (luku 4). Tällöin Puulavedelle voidaan määrittää tavoitekorkeus, johon pyritään toukokuun alkuun mennessä. Lumen sulaminen alkaa Mäntyharjun reitillä yleensä huhtikuun puolella välissä. Suurin laskettu toukokuun tulovirtaama Puulaan oli v. 1955 keskimäärin  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tällä virtaamalla Puulan vedenpinta nousisi 0,86 m, jos altaasta ei juoksutettaisi vettä lainkaan. Jos toukokuussa Kissakoskella juoksutetaan rakennusvirtaamaa  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  olisi nousu n. 0,6 m. Kissakosken voimalaitoksen maapatojen harja on alimmillaan tasossa n. NN + 95,30 m. Jos toukokuussa pyritään juoksuttamaan rakennusvirtaamaa, on toukokuun alussa järven vedenkorkeuden oltava tasossa n. NN + 94,70 m., johon järvi lasketaan maaliskuun huhtikuun aikana. Puulan tulovirtaamaennusteen avulla kevään juoksutuksia voidaan tarkentaa.

Vuoden 1955 kevään tulvatilanteessa toukokuun alun tavoitekorkeuteen päästään  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ :n lisäjuoksutuksella, mikä aiheuttaa maaliskuuhun aikana n.  $0,15 \text{ m}$ :n ylimääräisen vedenpinnan laskun. Toukokuussa ja kesäkuussa Kissakoskella juoksutettiin  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , jolloin Puula nousi tasoon n. NN + 95,20 m. Tällä toimenpiteellä reitin päävirran järvien tulvakorkeudet alenivat huomattavasti ja Vuohijärven tulvahuippu siirtyi aikaisemmaksi (poikkeusjuoksutuslaskenta 3).

Kun edellä selostettuun toimintaan yhdistettiin Vuohijärven alennus sekä toukokuun aikainen ylimääräinen juoksutus Siikakoskella, voitiin kesäkuussa juoksutukseen tehdä keskimäärin  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ :n suuruinen virtaaman pienennys ilman, että Vuohijärvi nousi merkittävästi luonnonmukaista korkeutta ylemmäs (poikkeusjuoksutuslaskenta 4).

Toukokuun aikaisen Puulaveden pidätyksen yhteydessä heräsi kysymys, mitä tapahtuisi, jos Puulavedellä jouduttaisiin palaamaan tulvan voimakkuuden vuoksi suunniteltua suurempaan juoksutukseen. Tätä tutkittiin siirtymällä toukokuun puolesta välissä Kissakoskella luonnonmukaiseen juoksutukseen (poikkeusjuoksutuslaskenta 5). Tällöin Puulavesi jäi luonnonmukaista korkeutta alemmas, mutta muualla tilanne vastasi käytännöllisesti katsoen luonnonmukaista tilannetta.

### 3.23 Toimintavaihtoehdot kevättulvatilanteessa

#### Vuohijärven käyttäminen

Vuohijärven käyttäminen Kymijoen jokiosan tulvahuipun tasaamiseen perustuu voimakkaaseen kevätalennukseen. Alennus suoritetaan maaliskuuhun aikana, jolloin järvi lasketaan lähes tasoon NN + 76,00 m. Alennukseen tarvittavaa juoksutusta arvioidaan Voikosken virtaaman perusteella. Voikosken virtaama on karkeasti 90 % Vuohijärven tulovirtaamasta. Toukokuun ja mahdollisesti kesäkuunkin aikana Vuohijärvi pidetään keinotekoisesti alhaalla. Jokiosan tulvan niin vaatiessa Siikakosken virtaamaa supistetaan määrällä, joka on riippuvainen jokiosalla saavutettavasta hyödystä, supistuksen kestosta, Vuohijärven tulovirtaamasta ja vedenkorkeudesta sekä Vuohijärvellä aiheutuneista vahingoista. Virtaaman rajoittaminen on lopetettava asteittain ja ottamalla huomioon, että Vuohijärven vedenpinta saattaa tällöin vielä nousta. Siikakosken ja Verlan voimalaitosten maksimipurkautumiskyvyt on huomioitava juoksutuksia suunniteltaessa. Nämä sekä muuta päätöksen teossa tarvittavaa aineistoa esitetään luvuissa 3.4 ja 4.

#### Puulaveden ja Vuohijärven yhteiskäyttö

Vuohijärvellä menetellään, kuten edellä on esitetty. Puulaveden käyttäminen perustuu tulovirtaaman ennakoarvioon sekä toukokuun alun tavoitevedenkorkeuteen. Tavoitevedenkorkeutena pidetään tasoa NN + 94,70 m, jolloin Kissakosken voimalaitospatojen harjakorkeuden ja ko. tason välinen varastotilavuus on n. 225 milj.  $\text{m}^3$ , mikä vastaa karkeasti  $85 \text{ m}^3/\text{s}$ :n pidätettyä virtaamaa 1 kuukauden aikana. Tulovirtaaman ennustamiseen on Puulavedelle kehitetty regressiomalli (Muotka, 1982). Sillä

ennustetaan kevään kokonaistulovesimäärää ja sen avulla voidaan tarkentaa tavoitevedenkorkeutta. Malli esitetään luvussa 4.

Tavoitevedenkorkeuteen pyrkiminen on aloitettava jo maaliskuun alussa. Tällöin ero luonnonmukaiseen virtaamaan ei kasva liian suureksi. Lisäjuoksutuksen suuruus on määrättävä tulovirtaamalaskelmien ja vallitsevan juoksutuksen perusteella.

Toukokuun alusta virtaama rajoitetaan Kissakosken voimalaitoksen rakennusvirtaaman ( $\sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ ) suuruiseksi. Rajoittamista jatketaan niin kauan kuin tilanne sallii. Tulvan kehitymistä voidaan seurata tulovirtaamaennusteen avulla, kun ennusteessa epävarmana tekijänä esiintynyt kevään sadanta tiedetään.

Puulaveden palauttaminen luonnonmukaiseen korkeuteen aloitetaan keskikesällä, kun tulvatilanne alkaa helpottua. Palauttaminen on tehtävä lievästi pitemmällä ajanjaksolla, jottei alapuolisilla järvillä aiheuteta suuria vedenkorkeuksien vaihteluita.

Vuoden 1955 kevättulvatilanteessa pystyttiin pelkästään Vuohijärven käytöllä rajoittamaan virtaamaa yhden kuukauden ajan  $n. 40 \text{ m}^3/\text{s}$  ilman, että järvenpinta nousi yli luonnonmukaisen vedenkorkeuden. Puulan ja Vuohijärven yhteiskäytöllä päästiin samassa tilanteessa yhden kuukauden kestävään  $n. 60 \text{ m}^3/\text{s}$  virtaaman pienennykseen.

### 3.3 TALVITULVA

#### 3.31 P o i k k e u s j u o k s u t u s t e n t a v o i t e

Mäntyharjun reitin tavallisesta poikkeavilla juoksutuksilla pyritään varautumaan hyytötilanteeseen. Tällöin Kymijoen alaosalla tarvitaan nopeaa virtaaman pienentämistä, jolloin lähellä alaosaa sijaitsevalla Vuohijärvellä on tärkeä osa veden varastoimisessa. Hyytötilanteessa tarvitaan kestoltaan lyhyttä ( $n. 2 \text{ vko}$ ) virtaaman pienentämistä. Jo  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ :n pienennyksellä helpottuu tilanne oleellisesti. Poikkeusjuoksutuksilla pyritään Vuohijärveen saamaan varastotilavuutta, johon virtaaman pienennys voidaan varastoida.

#### 3.32 P o i k k e u s j u o k s u t u s l a s k e l m a t

Poikkeusjuoksutuslaskelmilla pyrittiin selvittämään, kuinka Mäntyharjun reittiin voitaisiin varastoida hyytötilanteen vaatima vesimäärä. Talvitulvan 1974-1975 aikana oli tammi-kuussa pakkasjakso, jolloin hyytöä esiintyi. Laskelmat tehtiin sillä perusteella, että tällöin Kymijoen virtaamaa olisi koetettu pienentää. Virtaaman pienentämisen tarve ajoittui siten, että reitin järvien vedenkorkeudet olivat tulvakorkeudella.

Ensiksi tutkittiin pelkästään Vuohijärven käyttöä tulvan-  
torjuntaan. Jos Siikakoskella tehdään kaksi viikkoa kestä-  
vä  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ :n suuruinen virtaaman pienennys aiheuttaa tä-  
mä Vuohijärvellä n.  $0,55 \text{ m}$  ylimääräisen vedenpinnan nousun.  
Talvella 1974-1975 Vuohijärven vedenpinta olisi noussut ta-  
soon n. NN +  $77,70 \text{ m}$ , jos rajoittaminen olisi aloitettu  
9.1 eli päivä pakkasjakson alkamisen jälkeen (poikkeusjuok-  
sutuslaskenta 6).

Yliveden alentamiseksi tutkittiin mahdollisuutta alentaa  
Vuohijärven vedenpintaa ennen hyytökautta. Alentaminen oli  
tehtävä jo marraskuun alussa, koska tämän jälkeen virtaama  
Kymijoessa oli liian suuri, jotta sitä olisi voitu vielä  
suurentaa. Vesistöissä oli marraskuussa 1974 vettä huomatta-  
vasti keskimääräistä enemmän. Puulaveden vedenpinta oli ta-  
sossa n. NN +  $94,80 \text{ m}$  ja Päijänteen n. NN +  $78,80 \text{ m}$ . Eroa  
marraskuun keskimääräisiin vedenkorkeuksiin jaksolla 1961-1970  
oli Puulalla n.  $0,3 \text{ m}$  ja Päijänteellä n.  $0,7 \text{ m}$ . Tällainen  
tilanne saattaisi antaa päätöksentekijöille aiheen varautua  
talven mahdollisiin hyytötilanteisiin jo marraskuussa.

Siikakosken lisävirtaama määrätään Voikosken purkautumiskäy-  
rän perusteella. Vuohijärven alennus on tämän jälkeen pidet-  
tävä yllä keinotekoisesti juoksuttamalla tulovirtaamaa niin  
kauan, kunnes hyytäminen edellyttää virtaaman pienentämistä.  
Laskemalla Vuohijärvi marraskuussa tasoon n. NN +  $76,20 \text{ m}$   
ja pitämällä se tässä tasossa, saatiin tammikuussa Vuohijär-  
veen pidätettyä virtaama  $85 \text{ m}^3/\text{s}$  kahden viikon ajan, jolloin  
Vuohijärvi nousi tasoon n. NN +  $77,10 \text{ m}$  (poikkeusjuoksutus-  
laskenta 7).

Laskemalla Vuohijärvi marraskuun alusta tasoon n. NN +  
 $76,40 \text{ m}$  ja pitämällä se ko. tasossa hyytötilanteeseen asti  
voidaan Siikakoskella supistaa virtaamaa kahden viikon ajan  
hyytökaudella  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  ilman, että Vuohijärvi nousee merkit-  
tävästi luonnonmukaista vedenkorkeutta ylemmäs, vaikka vir-  
taamaa kasvatettiin hyytökauden jälkeen asteittain (poikkeus-  
juoksutuslaskenta 8).

Puulaveden varastotilavuutta käytettiin hyväksi pienentämällä  
Kissakosken virtaamaa samanaikaisesti Siikakosken kanssa.  
Kissakosken pidätetty virtaama oli n.  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , mikä on käy-  
tännössä liian suuri. Virtaaman näin suuri pienentäminen  
havainnollistaa kuitenkin niitä vaikutuksia, joita virtaaman  
muuttaminen Kissakoskella aiheuttaa. Alapuolisten säännöste-  
lemättömien järvien vedenkorkeus saattaa muuttua yli  $1 \text{ met-}$   
rillä. Voikosken voimalaitoksella pyrittiin myös rajoitta-  
maan virtaamaa, mutta sen yläpuolisten altaiden varastotila-  
vuus osoittautui merkityksettömäksi. Voimalaitoksen avulla  
voidaan kuitenkin pienentää yläpuolisten altaiden vedenkor-  
keuden vaihteluita.

Kun Puulavedellä rajoitettiin virtaamaa 9.1 alkaen 2 viikon ajan  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  samanaikaisesti Siikakosken  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  virtaaman pienennyksen kanssa, nousi Vuohijärven vedenpinta tasoon n. NN + 77,60 m. Puulavedellä näin suuri virtaaman rajoitus nosti vedenpinnan yli Kissakosken voimalaitoksen maapatojen tasoon n. NN + 95,35. Virtaaman rajoittamisen lopettaminen Puulalla aiheutti alapuolisissa järvissä nopean vedenpintojen nousun (poikkeusjuoksutuslaskenta 9).

Jos edellä selostettuun toimintaan yhdistettiin Vuohijärven alennus tasolle n. NN + 76,20 m marraskuussa, jäi järven pinta alle tason NN + 77,00 m (poikkeusjuoksutuslaskenta 10).

Kun Puulavedellä pienennettiin virtausta 9.1 alkaen 2 viikon ajan n.  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ , nousi sen vedenpinta tasoon n. NN + 95,30 m. Vuohijärvi oli marraskuun alussa laskettu tasoon n. NN + 76,40 m ja pidetty tässä korkeudessa hyytökaudelle saakka. Siikakosken virtaamaa rajoitettiin 9.1 alkaen n.  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  2 viikon ajan ja n.  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  viikon ajan. Tällöin Vuohijärven vedenpinta jäi rajoituksista huolimatta alle tason NN + 77,00 m (poikkeusjuoksutuslaskenta 11). Puulavesi nousi näinkin pienellä virtaaman rajoittamisella ylimmälle mahdolliselle pidätysrajalle, joten sen käyttäminen hyytötilanteessa tuntuu melko hankalalta.

Kun Kissakosken virtaaman pienennys toteutettiin viikko Siikakosken virtaaman pienennyksen jälkeen, oli toimenpiteen tarkoituksena lisätä Siikakosken virtaaman rajoittamisaikaa. Tällöin päädyttiin 3 viikon ja  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  virtaaman rajoittamisella Vuohijärvellä vedenkorkeuteen n. NN + 77,60 m, kun järven vedenpinta oli pidetty marraskuun alun tasossa. Puulavedellä virtaaman rajoittaminen, n.  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  2 viikkoa, nosti järven vedenkorkeuden tasolle NN + 95,25 m (poikkeusjuoksutuslaskenta 12). Näin pitkälle viedyt virtaaman pidättämiset saattavat aiheuttaa Kymijoen jokiosalla uuden katastrofitilanteen, kun altailla joudutaan palaamaan nopeasti suuriin juoksutuksiin.

Puulaveteen koetettiin myös tehdä varastotilavuutta ennen hyytökautta rajoittamalla vedenpinta marraskuun alun tasoon. Puulan tulovirtaama oli kuitenkin marraskuussa niin suuri, että Kissakoskelta juoksutettavat vesimäärät aiheuttivat alapuolisissa järvissä luonnonmukaista huomattavasti suuremman tulvan. Tällöin Vuohijärven tulovirtaamakin olisi ollut yli  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  luonnonmukaista virtaamaa suurempi ja virtaaman rajoittamismahdollisuus täten heikentynyt. Virtaaman rajoittaminen Puulaveden luusuassa aiheutti alapuolisissa järvissä voimakkaan vedenpintojen alenemisen (poikkeusjuoksutuslaskenta 13). Puulaveden ennakointi tuntuu näin ollen huonolta vaihtoehdolta, ovathan reitin ylimmällä altaalla suoritettut runsaat ohijuoksutukset myös voimataloudellisesti arveluttavia.

### 3.33 Toimintavaihtoehdot talvitulvan aikana

#### Vuohijärven käyttäminen

Vuohijärven käyttäminen talvitulvan aikana tulvavahinkojen lieventämiseen on tarpeellista ja tehokkainta hyytämistilanteessa. Tällöin suhteellisen pienellä ja lyhyellä veden varastoimisella voidaan saada aikaan tuntuvia hyötyjä. Hyytötilanteessa on todettu 2 viikon  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ :n virtaaman pienentämisellä olevan huomattava suppotulvaa pienentävä vaikutus. Vuohijärvellä ko. virtaaman pienentäminen aiheuttaa n.  $0,54 \text{ m}$ :n vedenpinnan nousun. Kun tulvatilanne näyttää loppusyksyllä vielä pahenevan ja jatkuvan pakkaskaudelle, lienee perusteltua tehdä Vuohijärveen varastotilavuutta, johon virtaamaa hyytötilanteessa varastoidaan. Varastotilavuuden tekemistä Vuohijärveen helpottaa tieto siitä, että reitin latvaosilla on vettä riittämiin täyttämään ko. varastotilavuus, mikäli tulvatilanne alkaisikin helpottua.

Varastotilavuuden tekeminen on sitä helpompaa, mitä aikaisemmin tulvantorjuntaorganisaatio päättää siihen ryhtyä. Liian myöhään tehdyn päätöksen toteuttamisen esteenä saattaa olla Kymijoen jokiosan virtaama. Se voi olla jo niin suuri, että lisäjuoksutukset aiheuttavat vahinkoja.

Vuohijärven vedenkorkeuden rajoittaminen tasoon  $\text{NN} + 76,50 \text{ m}$ , mikä on marras-joulukuun keskimääräinen arvo jaksolla 1961-1970, turvaisi yhden melko vahingottoman supontorjuntatilavuuden. Järven laskeminen ja pitäminen tässä tasossa tehdään juoksuttamalla Siikakoskella Vuohijärven tulovirtaamaa. Tulovirtaamalle saadaan arvio Voikosken purkautumiskäyrän avulla. Hyytötilanteessa virtaamaa rajoitetaan tarvittavalla määrällä (arvio  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Virtaaman rajoittaminen pitemmäksi aikaa on mahdollista, mikäli vahingot Kymijokivarressa sitä vaativat. Ehdoton yläraja Vuohijärvellä on taso  $\text{NN} + 78,00 \text{ m}$ , jonka yläpuolella vesi purkautuu voimalaitospenkeiden yli. Palautuminen luonnonmukaiseen tilanteeseen on tehtävä jokiosan virtaaman sallimissa puitteissa, jolloin Vuohijärven vedenpinnan nousu saattaa vielä jonkin aikaa jatkua.

#### Puulaveden ja Vuohijärven yhteiskäyttö

Puulaveden käyttämiseen nopeaan hyydöntarjuntaan liittyy monia rajoittavia tekijöitä. Suurin lienee epätietoisuus tulvatilanteen kehittymisestä. Puulaveteen ei tunnu realistiselta tehdä varastotilavuutta hyydöntorjuntaan. Puulaveden käytön veden varastoimiseen hyytötilanteessa tulisi perustua vesitilanteen kehittymisen ennakoarvioon, ettei vedennousu ryöstäytyisi liian suureksi. Talvikuukausille laadittu tulovesimäärän ennustemalli esitetään luvussa 4. Kissakosken voimalaitoksen maapatojen korottaminen tasoon  $\text{NN} + 95,50 \text{ m}$  on eräs varmuutta lisäävä toimenpide. Se on kuitenkin suoritettava ennakkoon sulan aikana siten, että maapadon tiiveysvaatimukset saavutetaan.

Virtaaman rajoittaminen Kissakoskella on tehtävä mahdollisimman pian hyytötilanteen syntymisen jälkeen, jotta toimenpiteen



vaikutus tuntuisi mahdollisimman pian Vuohijärvellä. Virtaaman pienentäminen aiheuttaa alapuolisissa järvissä vedenkorkeusvaihteluita. Tältä pohjalta voidaan sanoa, ettei virtaamaa tulisi rajoittaa pienemmäksi kuin voimalaitoksen rakennusvirtaama, n.  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tarha-, Juolas- ja Sarkaveden vedenkorkeusvaihteluita voidaan tasata Voikosken voimalaitospadon avulla. Puulaveden vedenpinnan alentaminen pöytätyksen jälkeen on tehtävä virtaamaa lievästi suurentamalla, jotta alapuolisten järvien vedenpinnan nousu ei ole liian suurta. Lisäjuoksutukset on myös rajoitettava siten, että hyytämiskaava Kymijoen jokiosalla on pienentynyt.

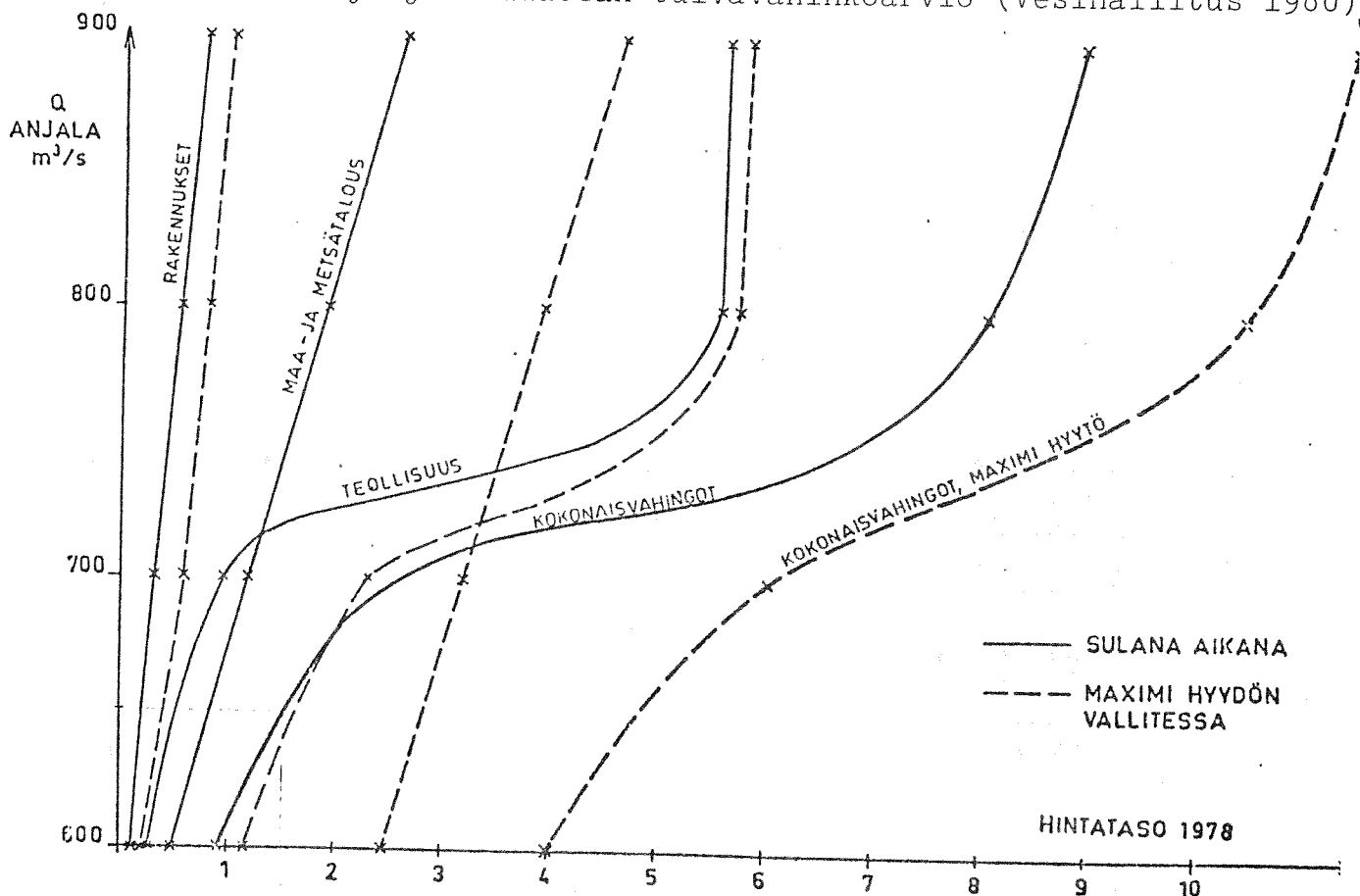
Talvitulvan 1974-75 mukaisessa tilanteessa päästiin virtaaman rajoittamistavoitteeseen ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , 2 vko) pelkästään Vuohijärven poikkeuksellisella käytöllä. Puulaveden mukaanotto lisää virtaaman rajoittamisaikaa n. 5 vuorokaudella. Veden varastoitumiseen Puulaveteen sisältyy paljon haittoja ja riskejä. Samansuuruinen hyöty saavutettaneen pienemmällä vähingoilla varastoimalla vettä Päijänteeseen.

### 3.4 POIKKEUSJUOKSUTUSTEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

#### 3.41 K o k o v e s i s t ö a l u e

Poikkeusjuoksutuksilla pyritään minimoimaan tulvan Kymijoen vesistöalueella aiheuttamia vahinkoja. Mäntyharjun reitin poikkeuksellisella käytöllä pienennetään Kymijokivarressa tapahtuvia vahinkoja. Toisaalta veden pidättäminen reitin järviin aiheuttaa siellä lisävahinkoja. Jokiosalla saavutettavien hyötyjen pitää olla selvästi suurempia kuin reitillä aiheutuvat lisävahingot. Alla olevassa kuvassa 3.2 on Kymijoen alaosan tulvavahinkoarvio (Vesihallitus, 1980).

Kuva 3.2 Kymijoen alaosan tulvavahinkoarvio (Vesihallitus 1980)



Kuvion perusteella voidaan arvioida jokiosalla tietyllä virtaaman rajoittamisella saavutettavaa hyötyä. Hyydön valitessa saavutettavat hyödyt saattavat olla suurempia kuin mitä kokonaisvahinkokäyrä virtaaman funktiona antaa. Tämä johtuu siitä, että jos hyytötilanne virtaaman pienenemisen seurauksena helpottuu, siirrytään käyrällä paitsi alaspäin, myös kohti sulan aikaista kokonaisvahinkokäyrää. Seuraavassa tarkastellaan poikkeusjuokсутusten Mäntyharjun reitille aiheuttamia haittoja.

### 3.42 M ä n t y h a r j u n r e i t t i

Poikkeusjuokсутukset aiheuttavat reitillä seuraavanlaisia haittoja:

- vedenkorkeuksien ylimääräisestä noususta aiheutuvat vahingot
- ohijuokсутuksista aiheutuvat voimataloudelliset tappiot
- suurien vedenkorkeusvaihteluiden aiheuttamat vahingot

Vedenkorkeuksien ylimääräisestä noususta aiheutuvia vahinkoja arvioidaan järville laadittujen vahinkokäyrien avulla. Lähinnä tulee kysymykseen Vuohijärven ja Puulaveden vahinkoarviot. Reitin järvien vahinkokohteet on kartoitettu ja arkistoitu Mikkelin vesipiirin vesitoimistossa.

Ohijuokсутusten voimataloudellisia tappioita arvioidaan laskemalla ohijuokсутettavalle kuutiolle keskimääräisen putouskorkeuden avulla ko. tehoa vastaava arvo.

$$W = 8,3 \cdot 24 \cdot Q \cdot H \cdot t$$

missä  $W$  = ohijuokсутuksesta aiheutuva energiatappio (kWh)

$Q$  = ohijuokсутettava vesimäärä ( $m^3/s \cdot d$ )

$H$  = putouskorkeus (m)

$t$  = aika (d)

Kissakosken voimalaitokselle ( $RQ = 37 \text{ m}^3/s$ ,  $H = 4,8 \text{ m}$ ) saadaan

$$W = 956,2 Q \cdot t$$

Siikakosken voimalaitos ( $RQ = 70 \text{ m}^3/s$ ,  $H = 3,4 \text{ m}$ )

$$W = 677,3 Q \cdot t$$

Voikosken ja Verlan voimalaitosten rakennusvirtaamat ovat niin pienet, että ne joutuvat tulvatilanteessa aina ohijuokсутuksiin. Kissakosken ja Siikakosken voimalaitosten poikkeusjuokсутuksista aiheutuvaa energiatappiota on verrattava tulvan luonnonmukaisiin virtaamiin, jolloin myös saatetaan joutua turvautumaan ohijuokсутuksiin. Esimerkkinä siitä, että voimatalouden tappiot on arvioitava tapauskohtaisesti, voidaan esittää poikkeusjuokсутuslaskenta 4:n mukaiset ohijuokсутustappiot. Kissakosken voimalaitoksella saatiin luonnonmukaisessa tilanteessa n. 1180 MWh:n ohijuokсутustappio

ja poikkeusjuoksutuksin n. 1300 MWh. Näiden erotus vastaa 0,25 mk/kWh hinnalla n. 30.000 mk:n lisätappiota. Siikakoskella luonnonmukaisessa tilanteessa saadaan ohijuoksutus-tappioksi karkeasti 1700 MWh ja poikkeusjuoksutuksin 1600 MWh. Näin Siikakoskella saavutettaisiin ko. energian hinnalla n. 25.000 mk:n hyöty.

Suuret vedenkorkeuden vaihtelut kuluttavat rantaviivaa varsininkin jäiden aikana. Kalastolle aiheutuneista vahingoista on tarkoitus teettää asiantuntijoiden suorittama erillinen tutkimus. Järvien jääpeitteen on todettu seuraavan vedenpinnan vaihteluita. Äkilliset virtaaman lisäykset nostavat vettä jään päälle, mikä aiheuttaa paksuuden lisääntymistä. Harvoin suoritettavat virtaamamuutokset eivät kuitenkaan aiheuta merkittäviä jääongelmia. Jäiden liikkuminen vahingoittaa rantarakenteita, kuten laitureita.

#### 4. T U L V A N T O R J U N T A T I E D O S T O

Tämän otsakkeen alle on koottu Mäntyharjun reitin tulvan-torjunnan suunnitteluun tarvittavaa lähtöaineistoa:

1. Muutetun virtaaman ja vedenpinnan muutoksen välinen yhteys Puulavedellä ja Vuohijärvellä (kts. kuva 4.1)

2. Ylimmät padotuskorkeudet säännöstellyille altaille:

Kissakosken voimalaitoksen alimmat maapenkereet tasossa NN + 95,30 m

Voikosken voimalaitoksen tulokanavan reuna tasossa NN + 80,20 m

Siikakosken voimalaitoksen alimmat maapenkereet tasossa NN + 78,00 m

3. Voimalaitosten rakennusvirtaamat ja suurimmat purkautumiskyvyt:

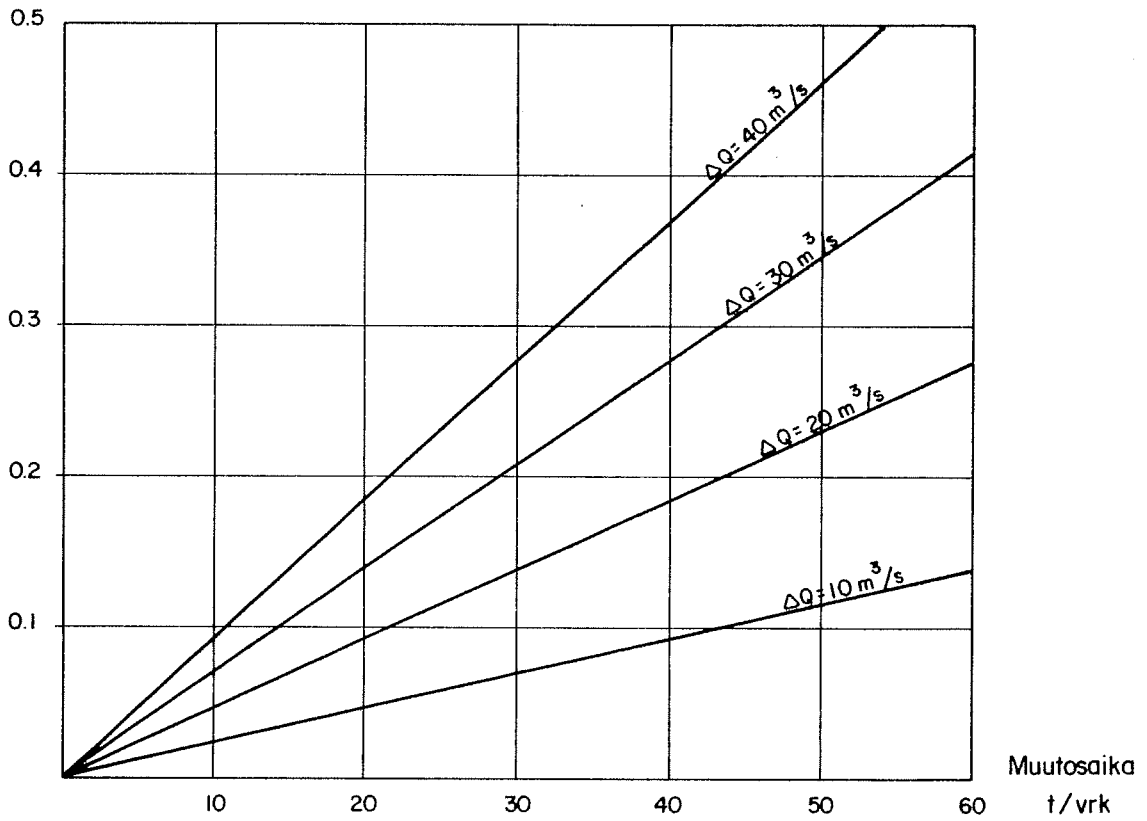
Kissakoski RQ = 37 m <sup>3</sup> /s	W = NN + 94,00 m	Q <sub>max</sub> = 60 m <sup>3</sup> /s
	W = NN + 95,20 m	Q <sub>max</sub> = 130 m <sup>3</sup> /s
Voikoski RQ = 16 m <sup>3</sup> /s	W = NN + 78,90 m	Q <sub>max</sub> = 44 m <sup>3</sup> /s
	W = NN + 79,50 m	Q <sub>max</sub> = 101 m <sup>3</sup> /s
Siikakoski RQ = 70 m <sup>3</sup> /s	W = NN + 76,00 m	Q <sub>max</sub> = 130 m <sup>3</sup> /s
	W = NN + 77,00 m	Q <sub>max</sub> = 200 m <sup>3</sup> /s
Verla RQ = 28 m <sup>3</sup> /s	W = NN + 73,20 m	Q <sub>max</sub> = 126 m <sup>3</sup> /s
	W = NN + 73,70 m	Q <sub>max</sub> = 155 m <sup>3</sup> /s

4. Purkautumiskäyrät virtaamien ja vedenkorkeuksien arviointiin (kts. kuvat 4.2 a ja 4.2 b)

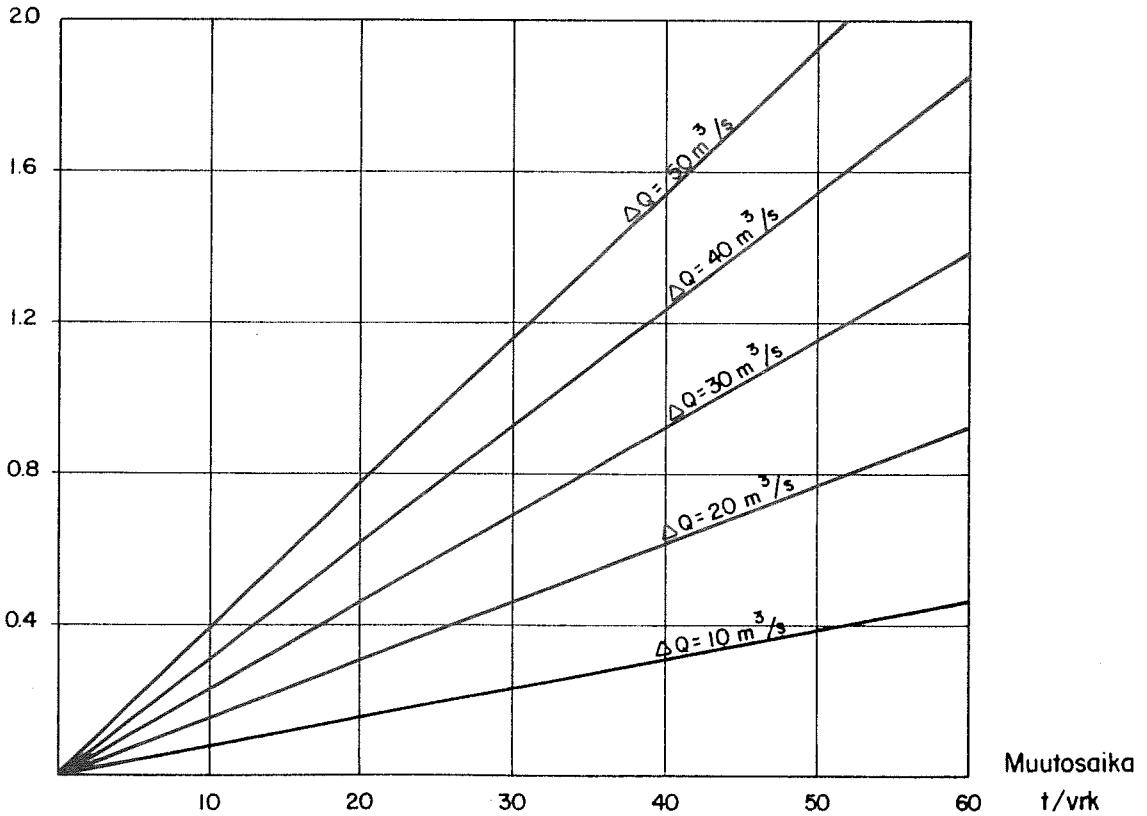
5. Virtaamamuutoksen etenemistiedot Kissakosken voimalaitok-selta Voikoskelle (kts. kuva 4.3)

$\Delta W/m$ 

## Puulaveden vedenkorkeuden muutos

Muutosaika  
t/vrk $\Delta W/m$ 

## Vuohijärven vedenkorkeuden muutos

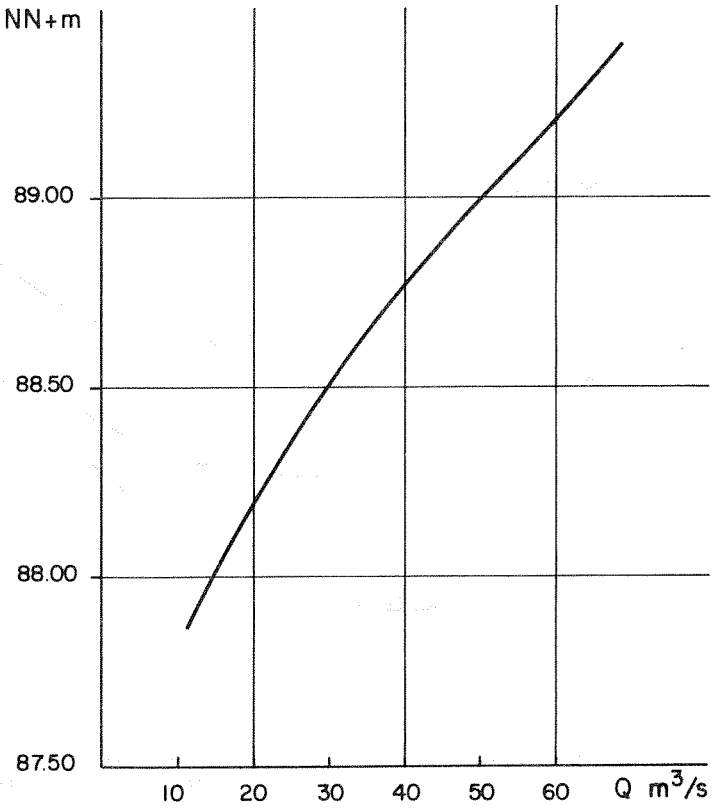
Muutosaika  
t/vrk

Kuva 4.1 Puulaveden ja Vuohijärven vedenkorkeuden muutos erilaisilla virtaaman muutoksilla

Vahvajärvi 173 Ripatinkoski

W

NN+m

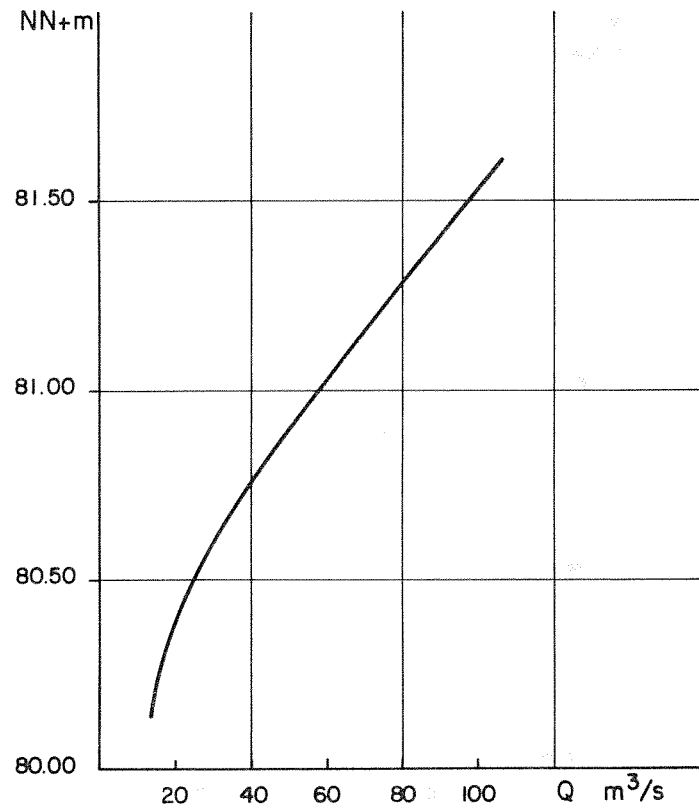


Tuusjärvi

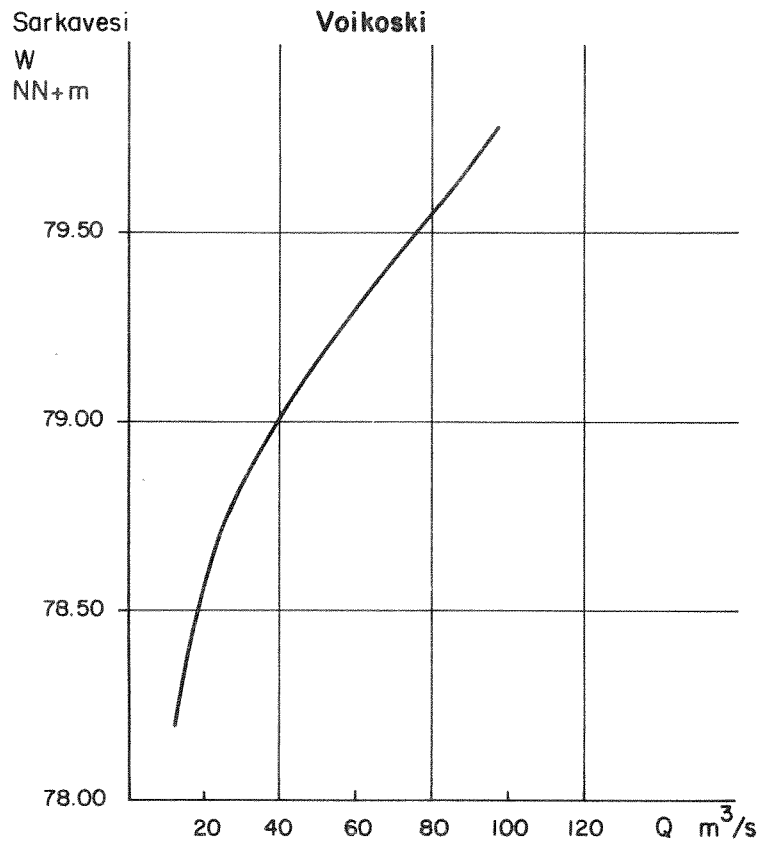
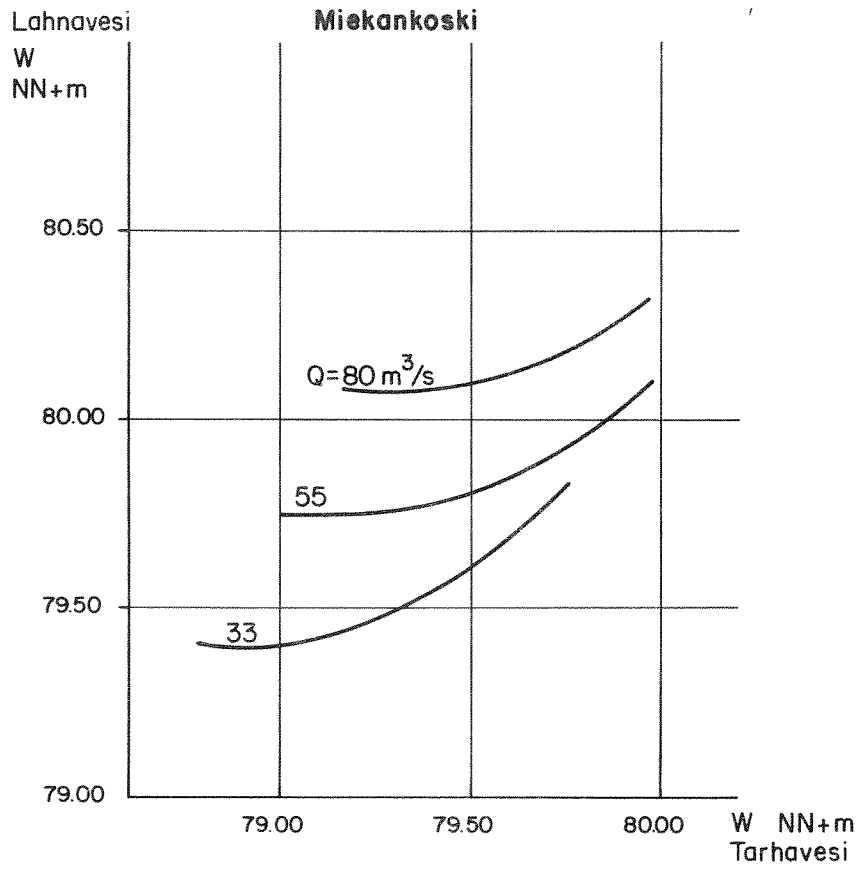
Tuustaipale

W

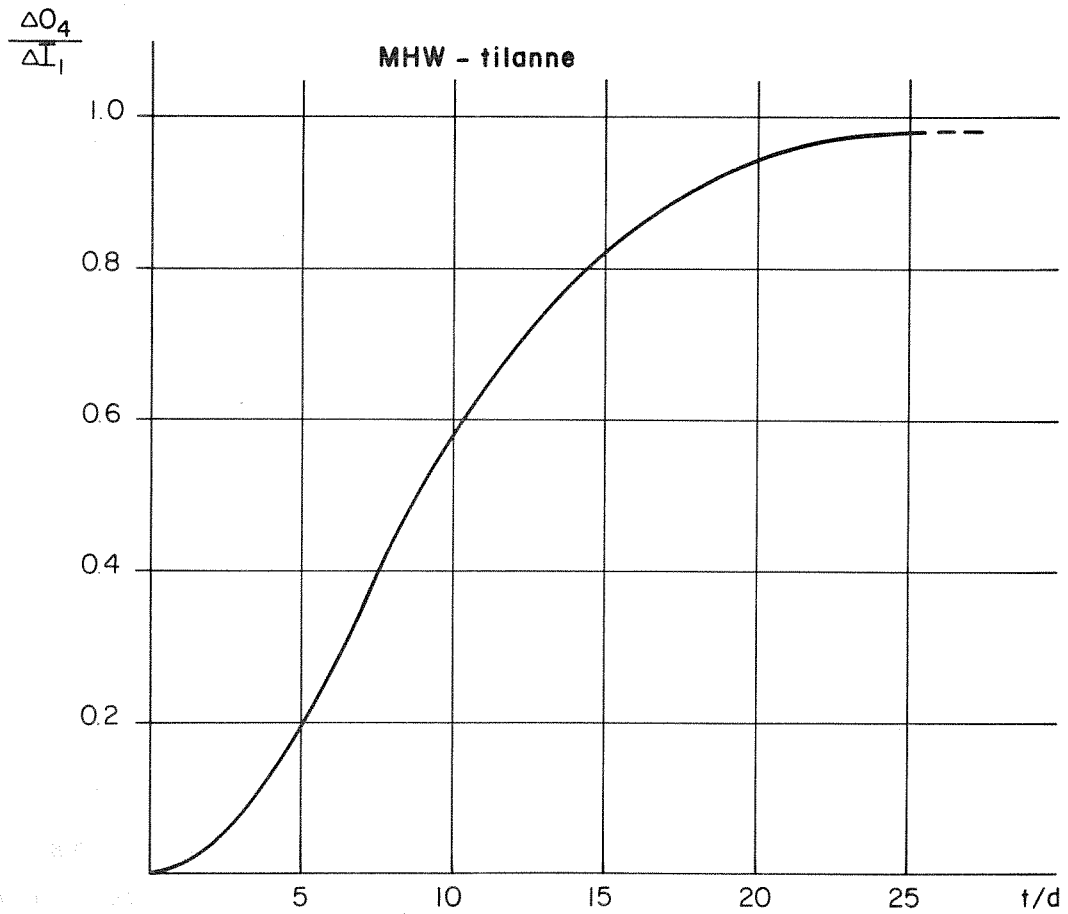
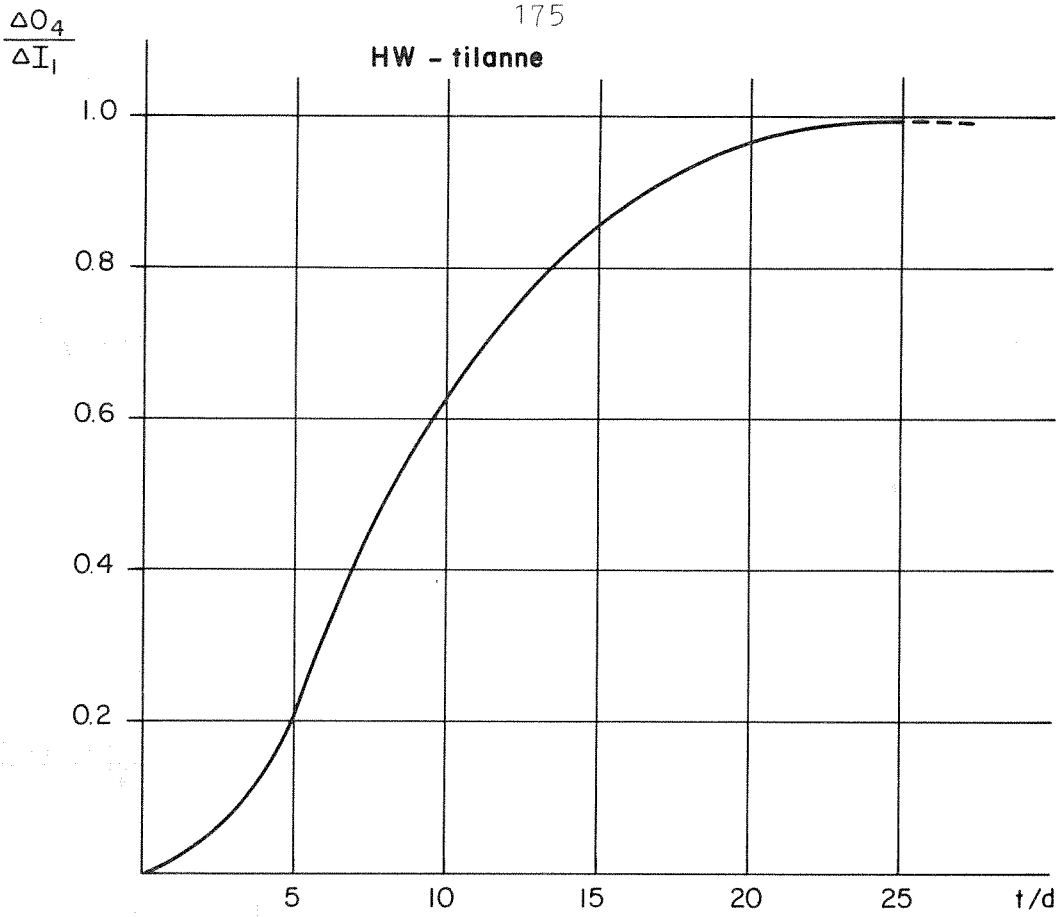
NN+m



Kuva 4.2a Mäntyharjun reitin altaiden purkautumiskäyriä



Kuva 4.2b Mäntyharjun reitin altaiden purkautumiskäyrä



Kuva 4.3 Virtaaman muutoksen eteneminen Kissakoskelta Voikoskelle

6. Vahinkoarviot tärkeimmiltä reitin altailla on esitetty Vahinkoarviokäyrät luvussa 2
7. Kartta riskikohteista (kts. kuva 4.4)
8. Puulaveden tulovesimääräennusteet

Puulavedelle on laadittu tulovesimääräennusteita sekä talvi- että kevätkuukausille. Talvikuukausille voidaan esittää seuraavat ennustemallit (Muotka, 1982):

$$\text{OTP}_I = 10,47842 + 0,34509 \exp\left(\frac{W_K 31.12 - 99,129}{0,543}\right) - 0,34178 \text{ VRKERO}$$

$$\text{OTP}_{I-II} = 25,89196 + 0,51836 \exp\left(\frac{W_K 31.12 - 99,129}{0,543}\right) - 4,28397 \left( \exp\left(\frac{W_{K\max} \text{ XII} - 99,129}{0,543}\right) - \exp\left(\frac{W_K 31.12 - 99,129}{0,543}\right) \right)$$

joissa  $\text{OTP}_N$  = N:n kuukauden tulovirtaama Puulaan ( $\text{Mm}^3$ )  
 $W_{KNN}$  = Kyyveden vedenkorkeus (NN+m) (NN = päivä/kuukausi)

VRKERO = joulukuun suurimman vedenkorkeuden ero tammi-kuun alusta (d)

Jaksolla 1966-79 on ensimmäisen mallin korrelaatiokerroin  $R = 0,979$  ja toisen mallin  $R = 0,953$ . Samalla jaksolla on ensimmäisen mallin tekemä suurin virhe  $16,7 \text{ Mm}^3$  ja keskimääräinen virhe  $6,2 \text{ Mm}^3$ . Toisen mallin vastaavat virheet ovat  $38,3 \text{ Mm}^3$  ja  $14,2 \text{ Mm}^3$ .

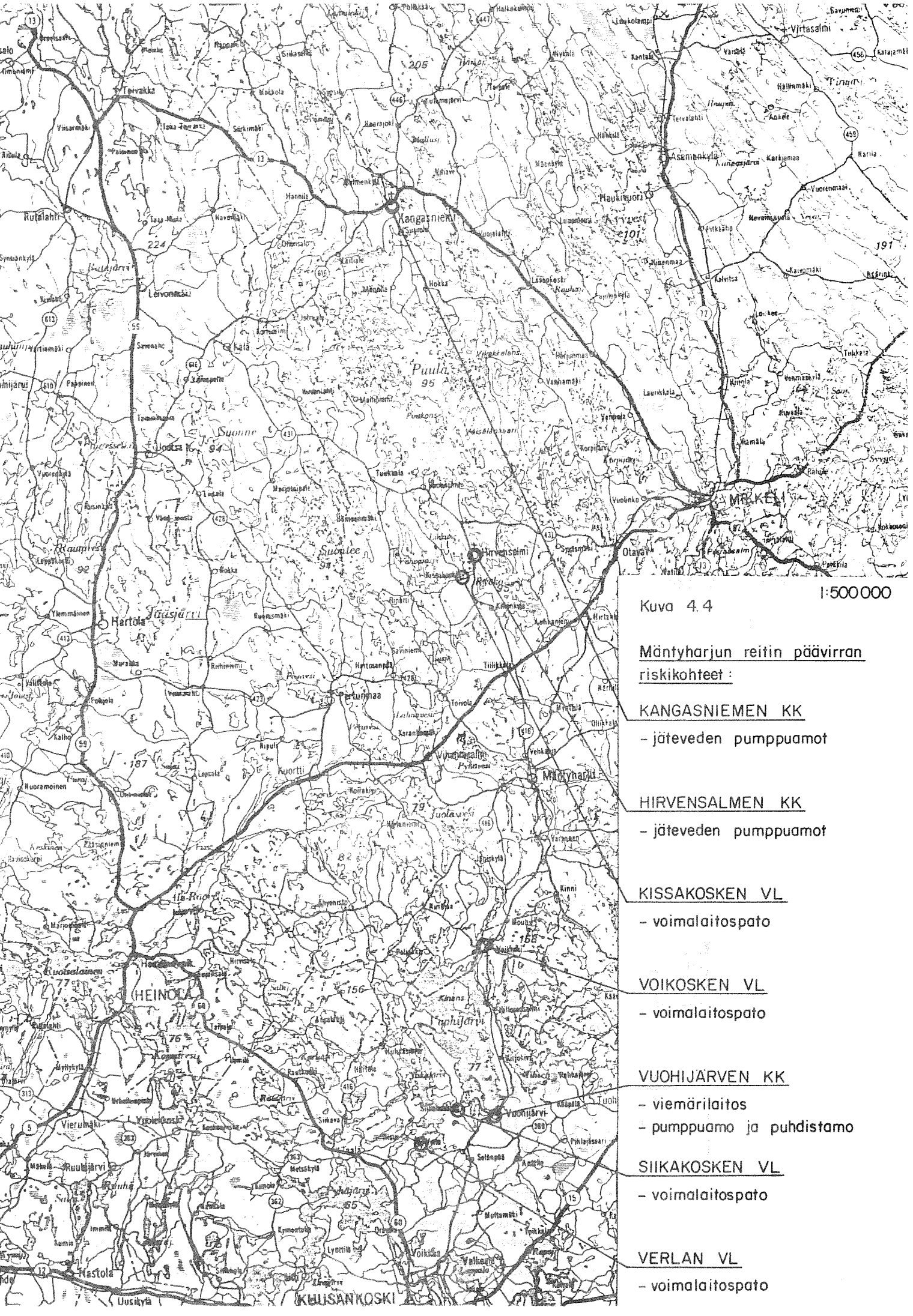
Kevätkuukausille voidaan esittää seuraavat ennustemallit (Muotka, 1982):

$$\text{OTP}_{II-V} = 79,11 + 2,28154 W_{K 1.2} + 1,73395 P_{II} + 1,232 P_{III} + 1,61013 P_{IV} + 1,81 P_V + 1,30725 L_{1.3}$$

$$\text{OTP}_{III-V} = -69,0 + 1,65234 W_{K 1.3} + 1,71934 P_{III} + 1,88455 P_{IV} + 1,64445 P_V + 1,13068 L_{1.3}$$

joissa  $\text{OTP}_{N-N}$  = N-N kuukausien tulovirtaama Puulaan ( $\text{Mm}^3$ )  
 $W_{N-N}$  = Kyyveden vedenkorkeus päivämäärällä N.N. (NN + cm - 10000), esim.  $W_K = \text{NN} + 100,60 \text{ m} = 60 \text{ cm}$   
 $P_N$  = N:n kuukauden sadanta  
 $L_{1.3}$  = lumen vesi-arvo 1.3.





1:500000

Kuva 4.4

Mäntyharjun reitin päävirran riskikohteet :

KANGASNIEMEN KK  
- jäteveden pumppuamot

HIRVENSALMEN KK  
- jäteveden pumppuamot

KISSAKOSKEN VL  
- voimalaitospato

VOIKOSKEN VL  
- voimalaitospato

VUOHIJÄRVEN KK  
- viemärilaitos  
- pumppuamo ja puhdistamo

SIIKAKOSKEN VL  
- voimalaitospato

VERLAN VL  
- voimalaitospato

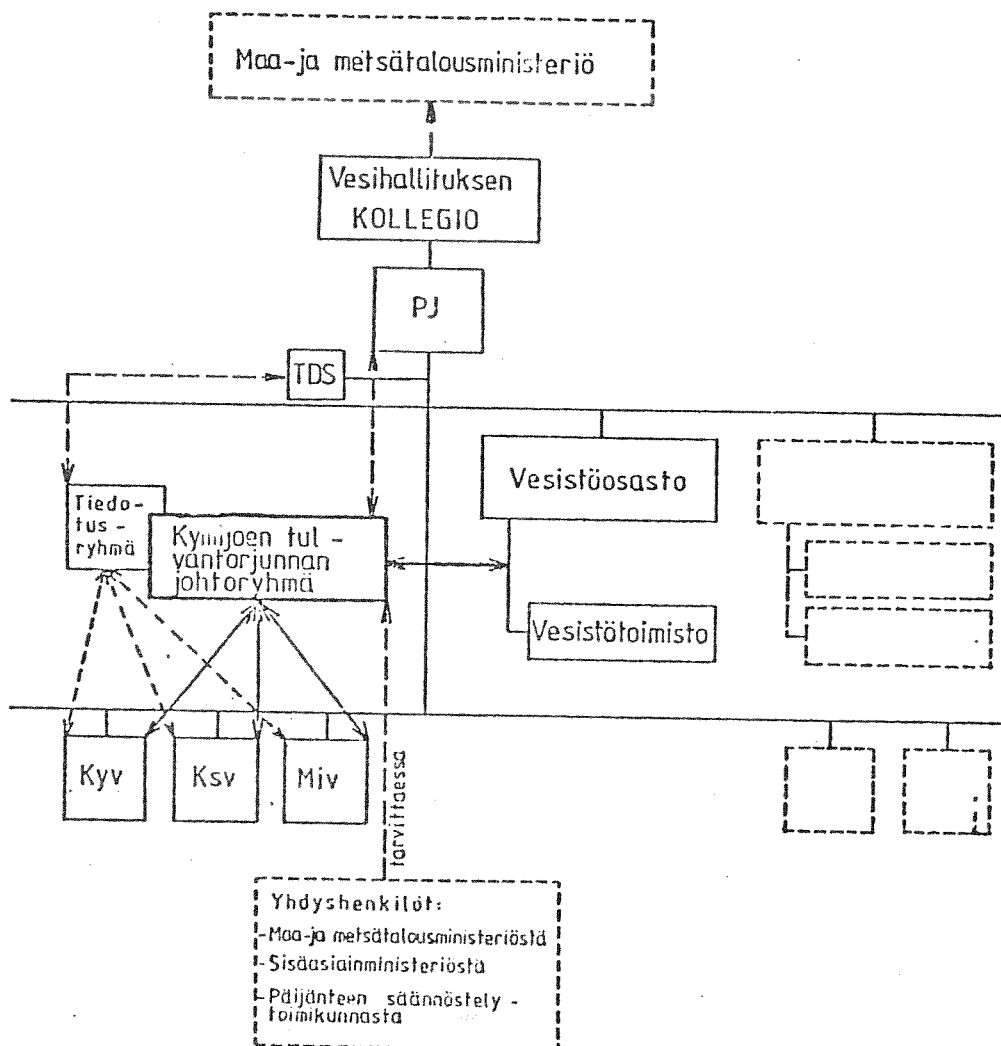
Jaksolla 1966-79 on 1. mallin korrelaatiokerroin  $R = 0,983$ , maksimivirhe  $95 \text{ Mm}^3$  ja keskimääräinen virhe  $39 \text{ Mm}^3$ . Toisen mallin vastaavat luvut ovat  $0,964$ ,  $88 \text{ Mm}^3$  ja  $42 \text{ Mm}^3$ .

## 5. T U L V A N T O R J U N T A O R G A N I S A A T I O

Tulvantorjuntaorganisaation rakennetta ja toimintaa käsitellään Kymijoen tulvantorjunnan toimintasuunnitelmassa (Vesihallitus, 1980) sekä Mikkelin vesipiirin vesitoimistossa laadittavassa Mäntyharjun reitin tulvantorjunnan toimintasuunnitelmassa. Tässä yhteydessä asia esitetään varsin suppeasti:

Kun luvussa 3.1 esitetyt tulvantorjunnan ohjearvot on saavutettu tai tullaan ilmeisesti saavuttamaan jossakin osin Kymijoen vesistöä, on kutsuttava kokoon tulvantorjunnan johtoryhmä. Johtoryhmän selonteon perusteella ja vesistöosaston esittelystä vesihallitus käsittelee tulvatilannetta istunnonsa ja määrää tarvittaessa Kymijoen vesistön tulvantorjunnan johtoryhmän toimintaan. Johtoryhmä on neuvoa antava elin, joka ohjaa ja koordinoi vesihallituksen ja vesipiirien tulvantorjuntatyötä. Toimenpiteiden toteutus vesihallituksessa ja vesipiireissä tapahtuu normaalin organisaation puitteissa nykyisen käytännön mukaisesti. Tulvantorjunnan johtoryhmän ja tiedotusryhmän muodostaminen ja niiden sijoittuminen normaaliin organisaatioon on esitetty kaaviokuvassa 5.1 (Vesihallitus 1980).

Kuva 5.1. Kymijoen tulvantorjunnan organisaatio (Vesihallitus, 1980)



## 6. L O P P U T I I V I S T E L M Ä

Vesihallituksessa on laadittu Kymijoen vesistölle tulvantorjunnan toimintasuunnitelma. Se on tehty vesistössä sattuvan poikkeuksellisen tulvan ennakoimiseksi ja toimintaohjeeksi tulvatilanteessa. Tulvan pahetessa pyritään Kymijoen vesistön juoksutukset hoitamaan siten, että vahingot koko vesistöalueella ovat pienimmät mahdolliset käyttämällä hyväksi suurimpien järvien säännöstelymahdollisuuksia. Koko vesistön kattavan suunnitelman lisäksi laaditaan alueelliset suunnitelmat Kymen, Keski-Suomen ja Mikkelin vesipiirien alueilla.

Mikkelin vesipiirissä laaditaan tulvantorjunnan toimintasuunnitelma Mäntyharjun reitille. Reitin pääjuoksun voidaan katsoa alkavan Kyyvedeltä, mistä vedet laskevat Rauhajärveen ja sitä seuraavan Läsäkosken kautta Puulaveteen. Sieltä vedet menevät Kissakosken kautta noin kymmenen järven muodostamaan järviketjuun, mihin päävirran lisäksi laskee lännestä Peruveden ja idästä Pyhäjärven reitti. Alimpana järvenä reitillä on Vuohijärvi, joka laskee vetensä Kymijoen Pyhäjärveen, mistä ne edelleen purkautuvat Kymijokea pitkin Suomenlahteen.

Erilaisissa tulvatilanteissa tutkitaan mahdollisuuksia varastoida vettä reitin suurimpiin säännösteltyihin järviin Puulaveteen ja Vuohijärveen, jotta virtaama Kymijoen alaosalla pieneneisi. Suurimmat tulvavahinkokohteet sijaitsevat Kymijokivarressa. Puulavesi sijaitsee reitin yläosassa ja siellä toteutettu virtaaman muutos viivästyy monialtaisessa järviketjussa. Viivästymistä arvioidaan J.U. Airaksisen kehittämällä järvi-kerroinmenetelmällä. Siinä järviketjun alueille lasketaan pinta-alan ja purkautumiskäyrän tangentin avulla ns. järvikerroin. Järvikertoimien avulla voidaan määrittää, mihin osaan järviketjun ylimmän altaan tulovirtaaman muutoksesta jonkin alavirran järven menovirtaama on muuttunut tietyn ajan kuluessa. Menetelmällä saatuja tuloksia verrataan samalla lähtöaineistolla suoritettujen säännöstelylaskelmien tuloksiin. Tulokset osoittautuvat tarkkuudeltaan riittäviksi poikkeusjuoksutusten suunnitteluun.

Säännöstelylaskelmat suoritettiin SSARR-sadanta-valunta-mallilla. Monialtaisen järviketjun kyseessä ollen käytetään mallin reservoir-routing-osaa. Siinä laskentajakson lopun virtaamat ja vedenkorkeudet saadaan ratkaistua iteroimalla. Jokijaksojen virtaamien laskennassa yleisin käytetty menetelmä on ns. Muskingum-menetelmä. Lyhyillä laskentajaksoilla voidaan käyttää yksinkertaisempaa kerroinmenetelmää. Tietokoneiden käyttö mahdollistaa lyhyiden laskentajaksojen käytön, jolloin itse laskentamenetelmän tekemät virheet pienenevät. Suurimman virheen säännöstelylaskelmiin aiheuttavatkin lähtötiedot, joiden oikeellisuuteen onkin kiinnitettävä lisääntyvää huomiota.

Tulvavahinkojen kartoituksen perusteella voidaan todeta, että Mäntyharjun reitillä vahingot alkavat kasvaa voimakkaasti vasta, kun vedenpinnat ovat nousseet voimalaitosten patojen tasolle. Tulvatilanteissa altaiden varastotilavuutta pystytään käyttämään hyväksi, kun Kymijoen alaosalla tarvitaan lyhytkaista virtaaman supistusta. Parhaaseen tulokseen päästäneen

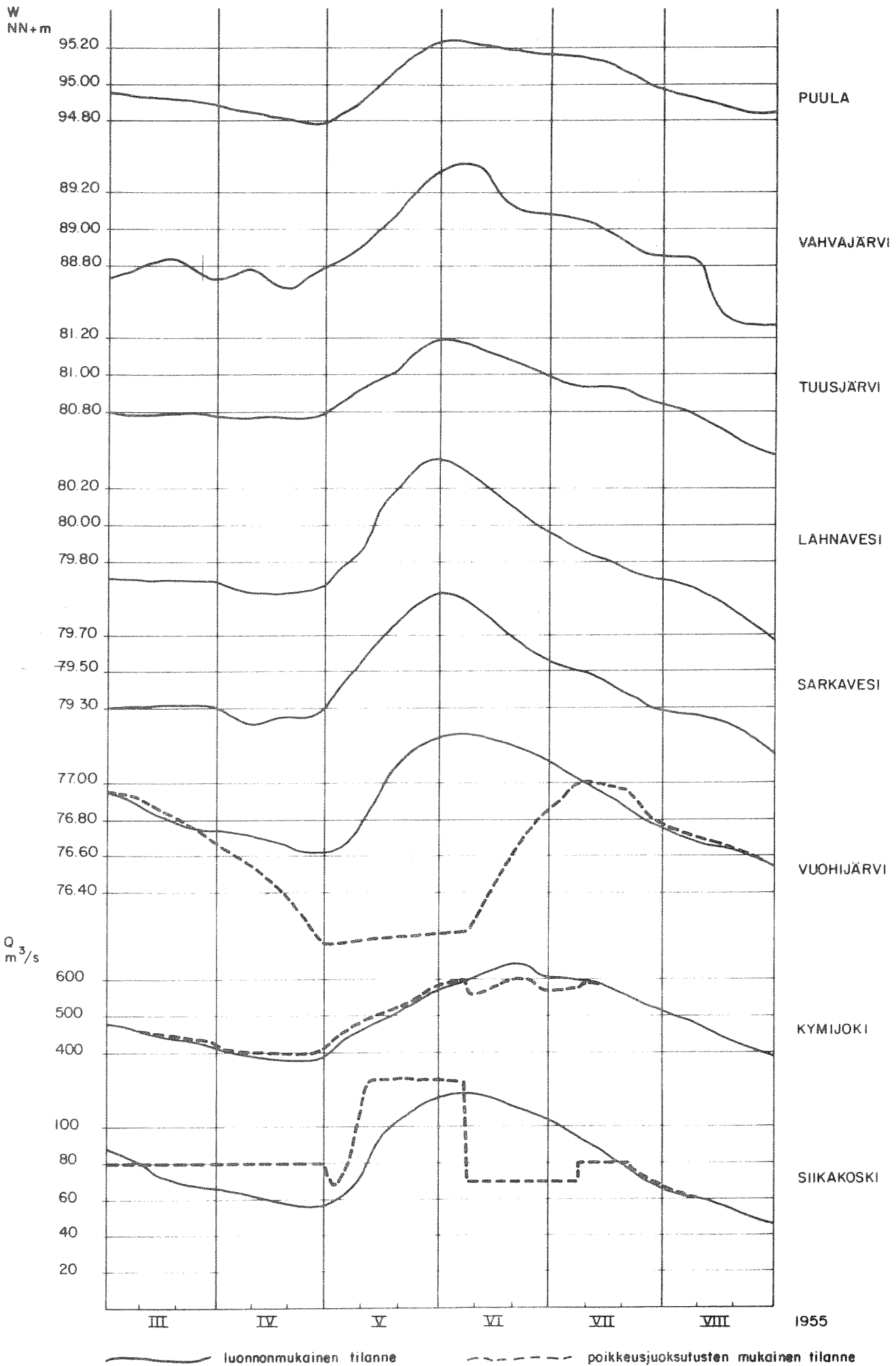
pelkästään Vuohijärven poikkeuksillisilla juoksutuksilla. Kevättulvatilanteessa Puulaveden ylimääräisellä kevätalennuksella on kuitenkin tulvaa lieventävä vaikutus. Suurin vaikutus Kymijoen tulvaan on Päijänteelle laaditulla juoksutusohjeella, johon reitillä suoritettut poikkeusjuoksutukset tulee niveltää.

Poikkeuksellisen suuren tulvan uhatessa kokoontuu ennalta määrätty tulvantorjunnan johtoryhmä. Sen tehtävänä on ohjata ja koordinoida vesihallituksen ja vesipiirien tulvantorjuntatyötä. Tiedonkulun varmistamiseksi johtoryhmän yhteyteen perustetaan erityinen tiedotusryhmä.

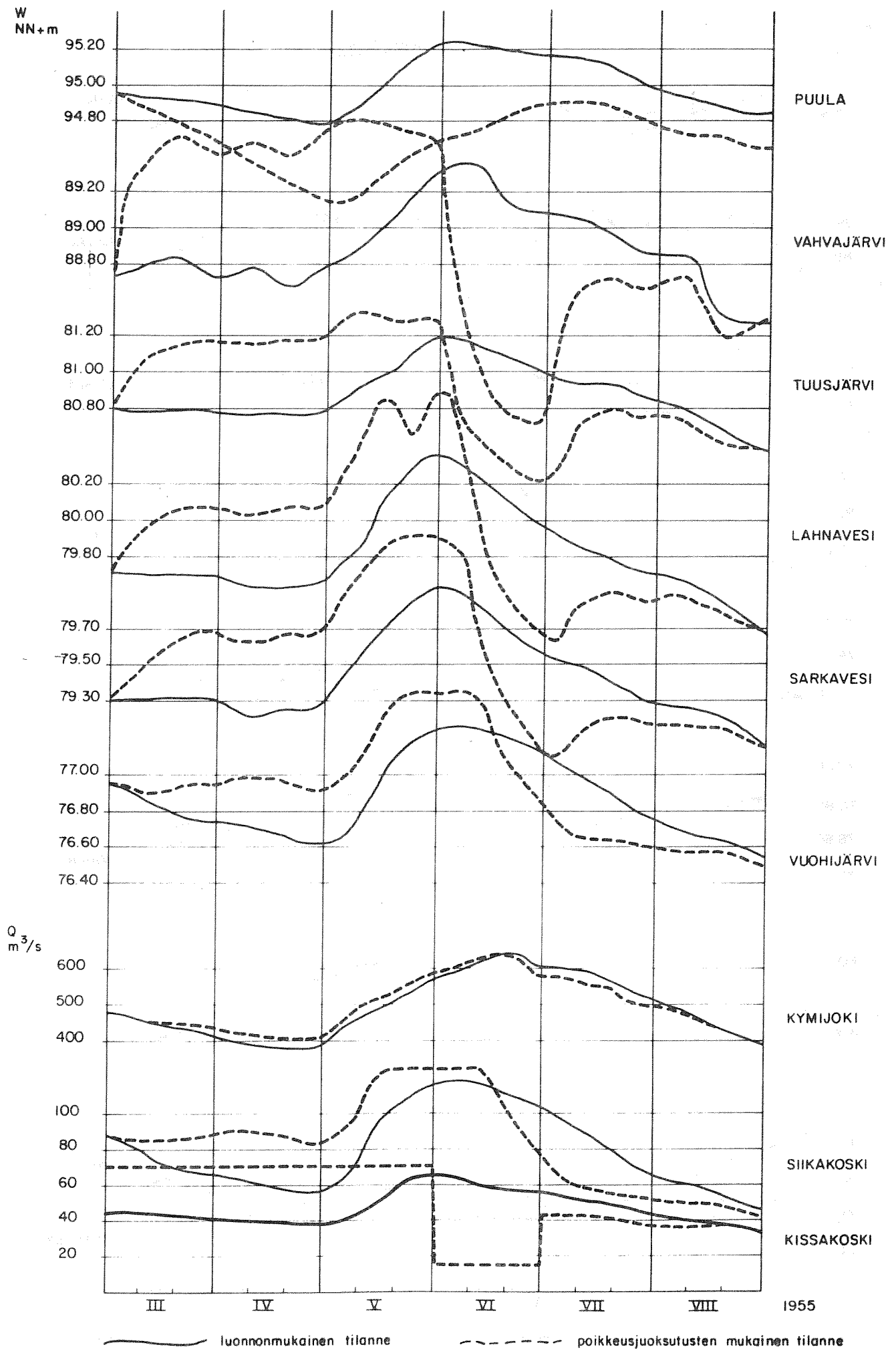
## KIRJALLISUUSLUETTELO

- Airaksinen, J.V. 1962. On the relationship between the Regulated Outflow from a Reservoir and Changes caused by It in the Downtream Lakes, Dissertation for D.I.C., London
- Airaksinen, J.V. 1971. On the flow routing in a lake watercourse, Kuopio
- Airaksinen, J.V. 1974. Virtaamat järvireiteissä. Vesitalous 6
- Castrén, V. 1961. Vesistöjen säännöstelyn tekniikka. Teknillisen Korkeakoulun moniste 168, Helsinki
- Chow, V.T. 1964. Handbook of applied hydrology, New York
- Chow, V.T. Open-channel hydraulics International Student Edition, Tokyo
- Colenbranden, H.J., van Dam, J.C. & Volker, A. 1975. Lecture Notes of Hydrology, Delft.
- Karvonen, T. 1980. Sadanta-valuntamallin soveltaminen Kyröjoen vesistösuunnitteluun, Teknillinen Korkeakoulu, Otaniemi.
- Muotka, J. 1982. Sulamiskauden vesitaseesta Mäntyharjun reitillä vuosina 1977-79 sekä hydrologiset ennusteet Puulaveden ja Vuohijärven säännöstelyjä varten, Teknillinen Korkeakoulu, Otaniemi
- Sorvari, H. 1973. Useita altaita sisältävän vesistön yhteiskäytössiimulointi, Teknillinen Korkeakoulu, Otaniemi
- Usce 1975. SSARR model: Program description and user manual. North Pasific Division. Portland, Oregon
- Vesihallitus 1980. Kymijoen vesistön tulvantorjunnan toimintasuunnitelma. Suunnittelutyöryhmän ehdotus. Vesihallituksen monistesarja, Helsinki

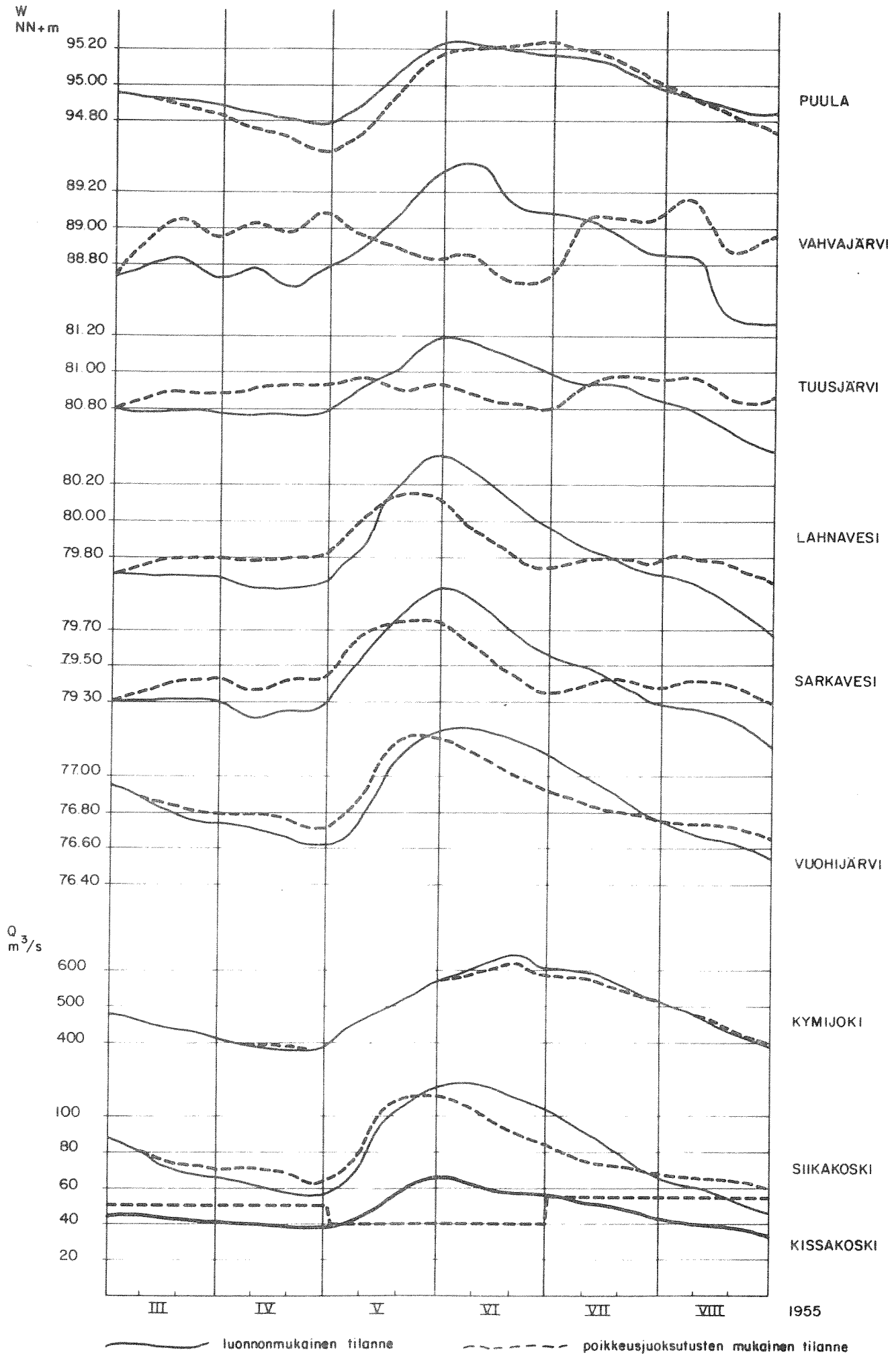
Poikkeusjuoksutuslaskenta I



Poikkeusjuoksutuslaskenta 2

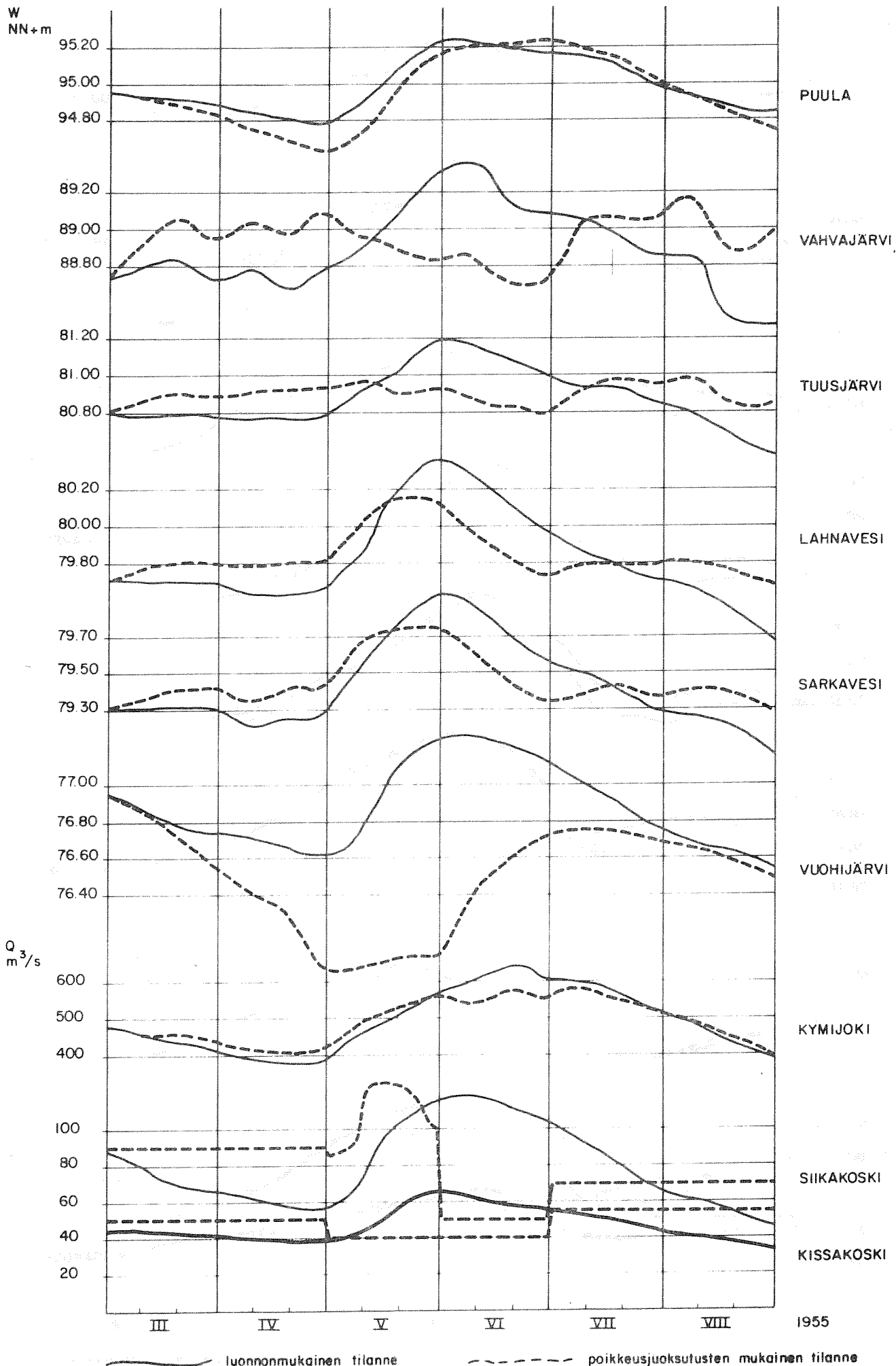


## Poikkeusjuoksutuskenta 3



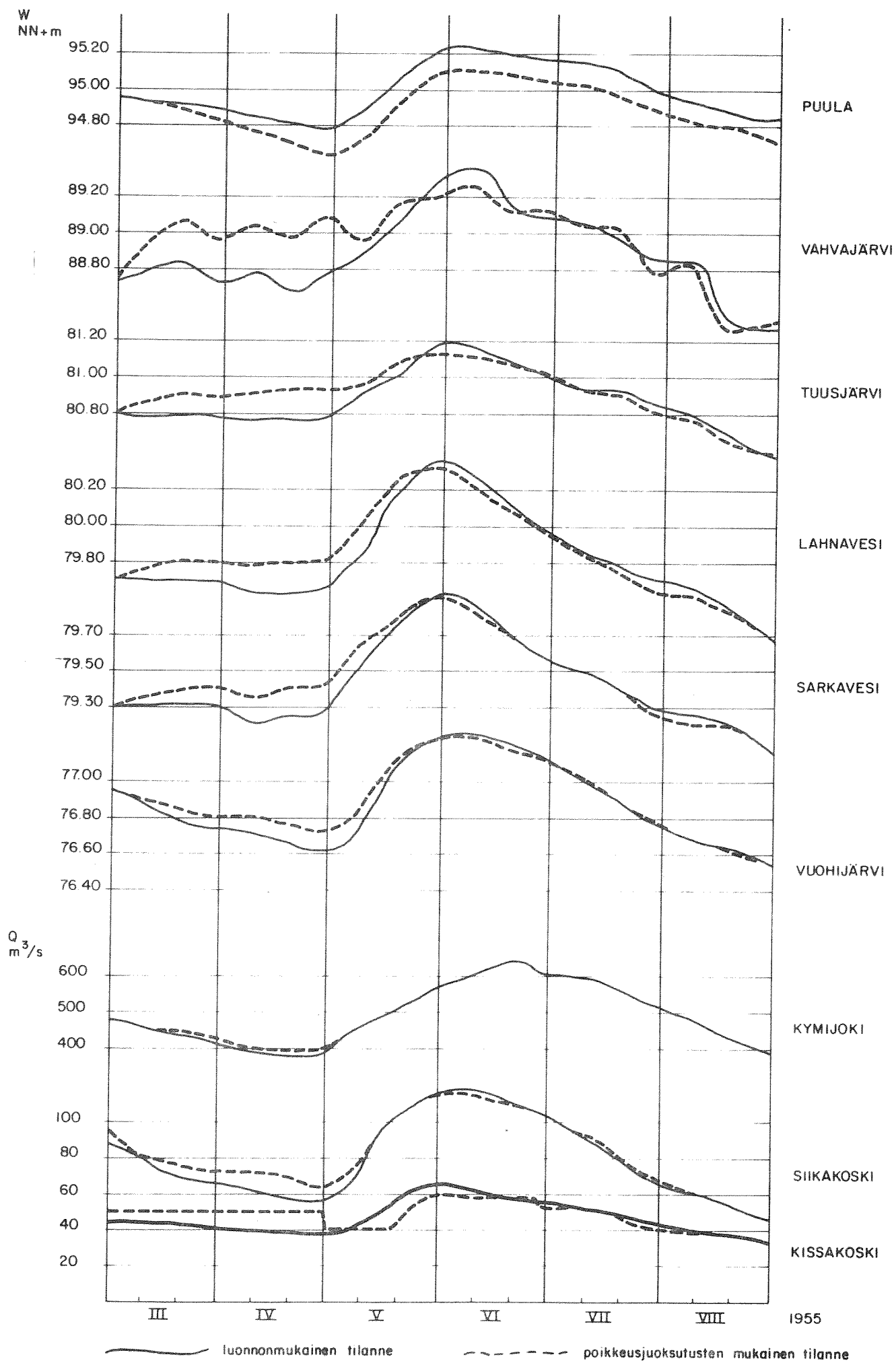


Poikkeusjuoksutuslaskenta 4

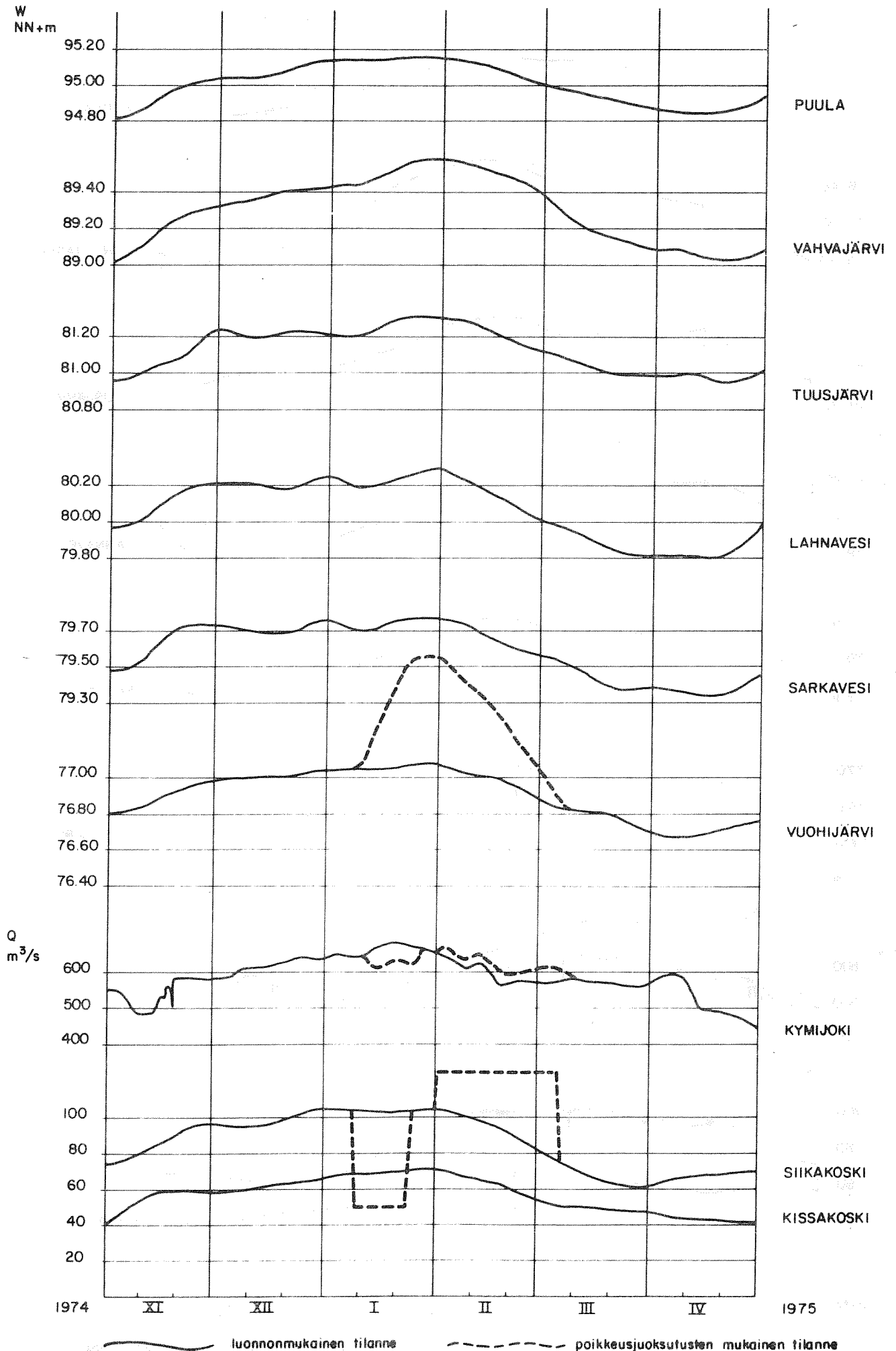


— luonnonmukainen tilanne

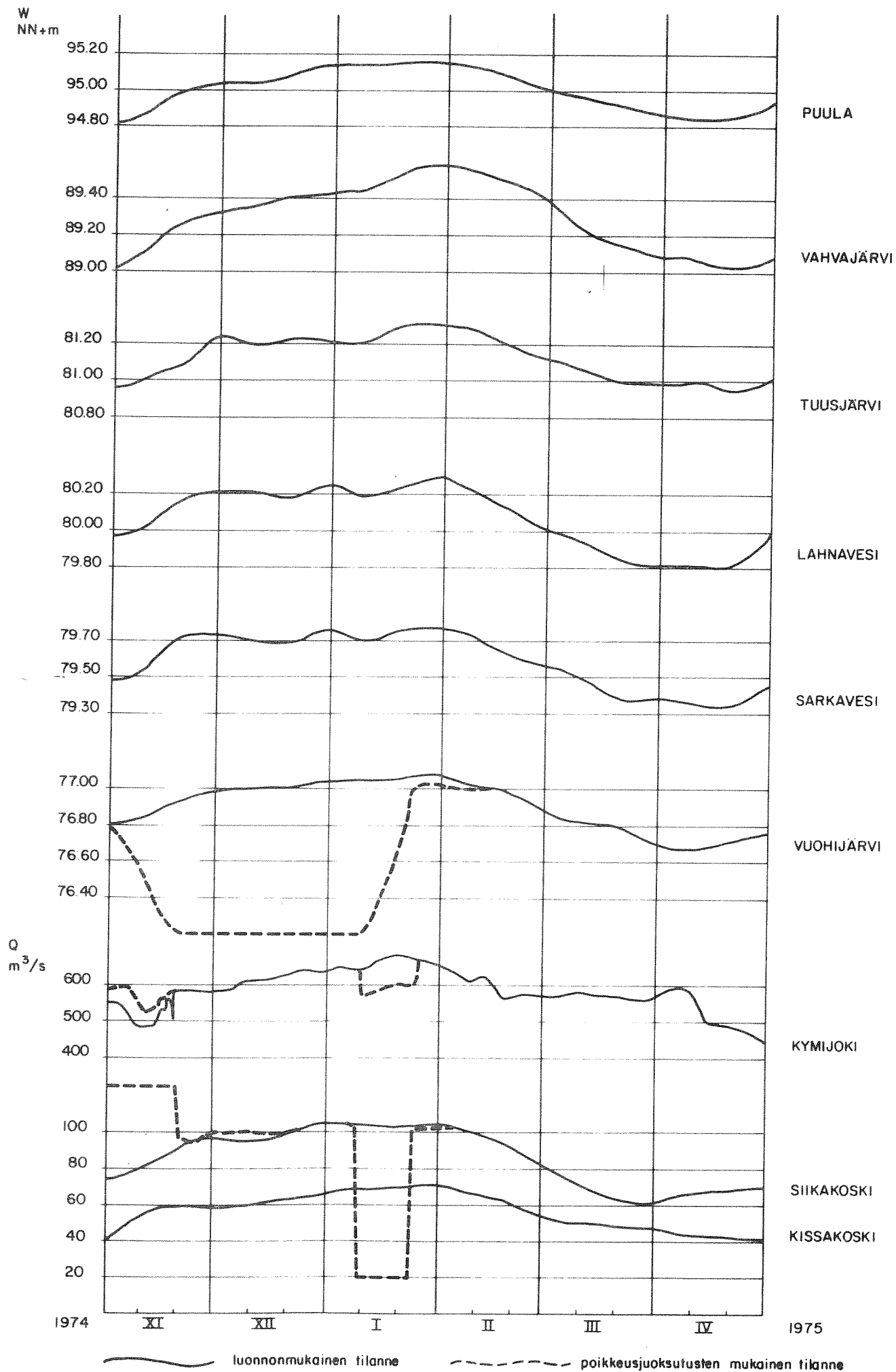
- - - - - poikkeusjuoksutusten mukainen tilanne

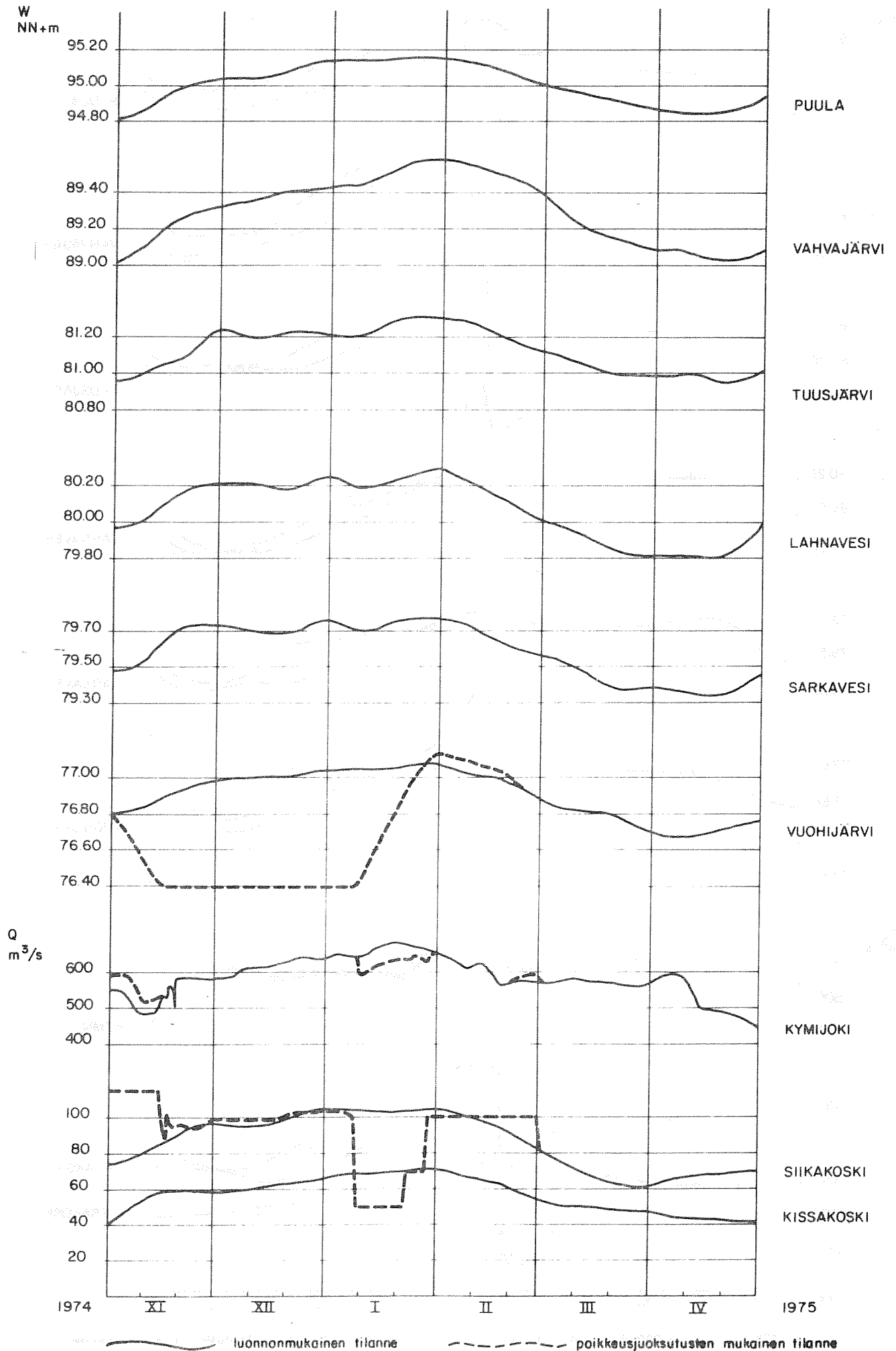
Poikkeusjuoksu-  
tuset laskenta 5

Poikkeusjuoksutuslaskenta 6

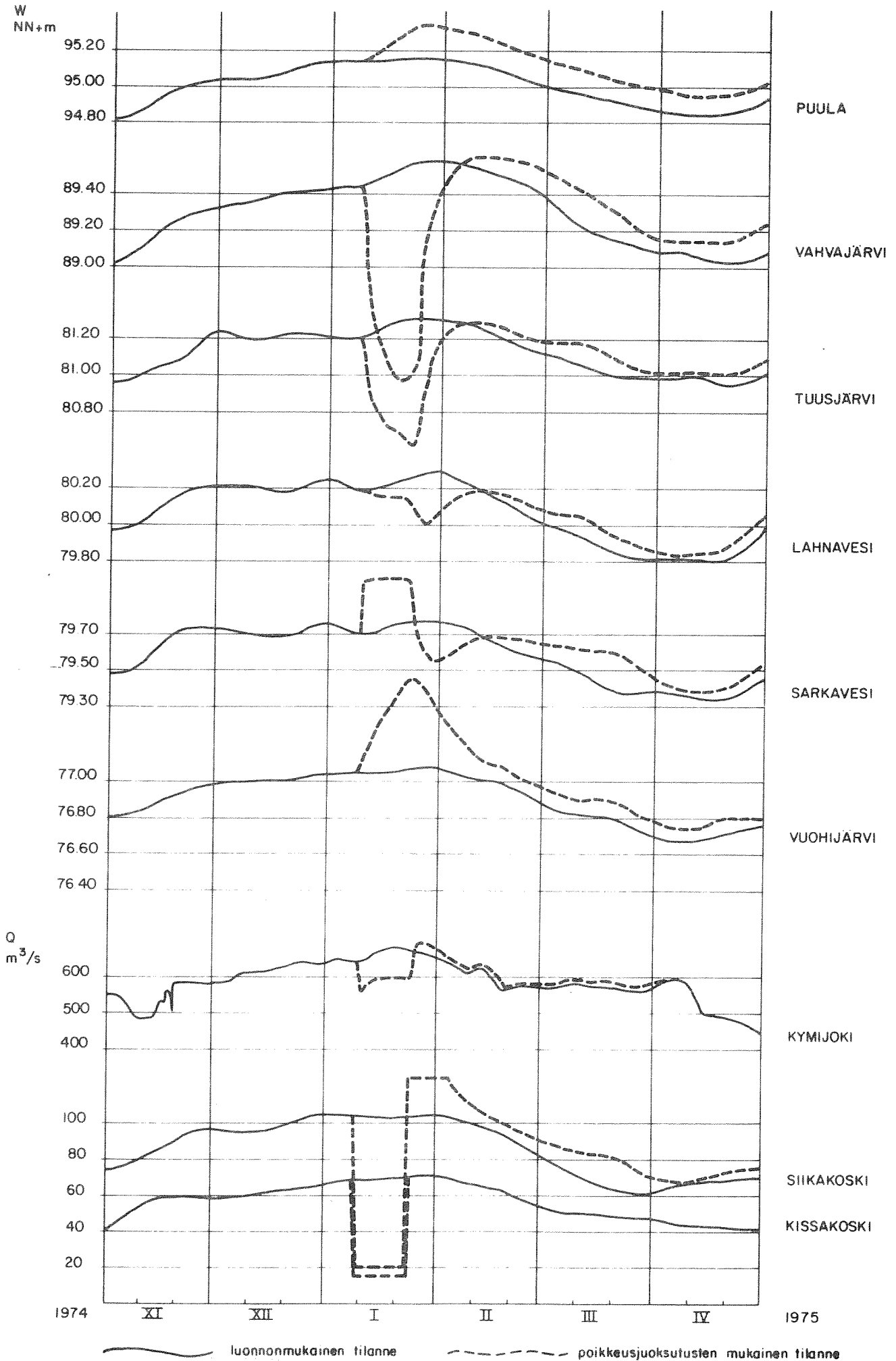


## Poikkeusjuoksutuslaskenta 7

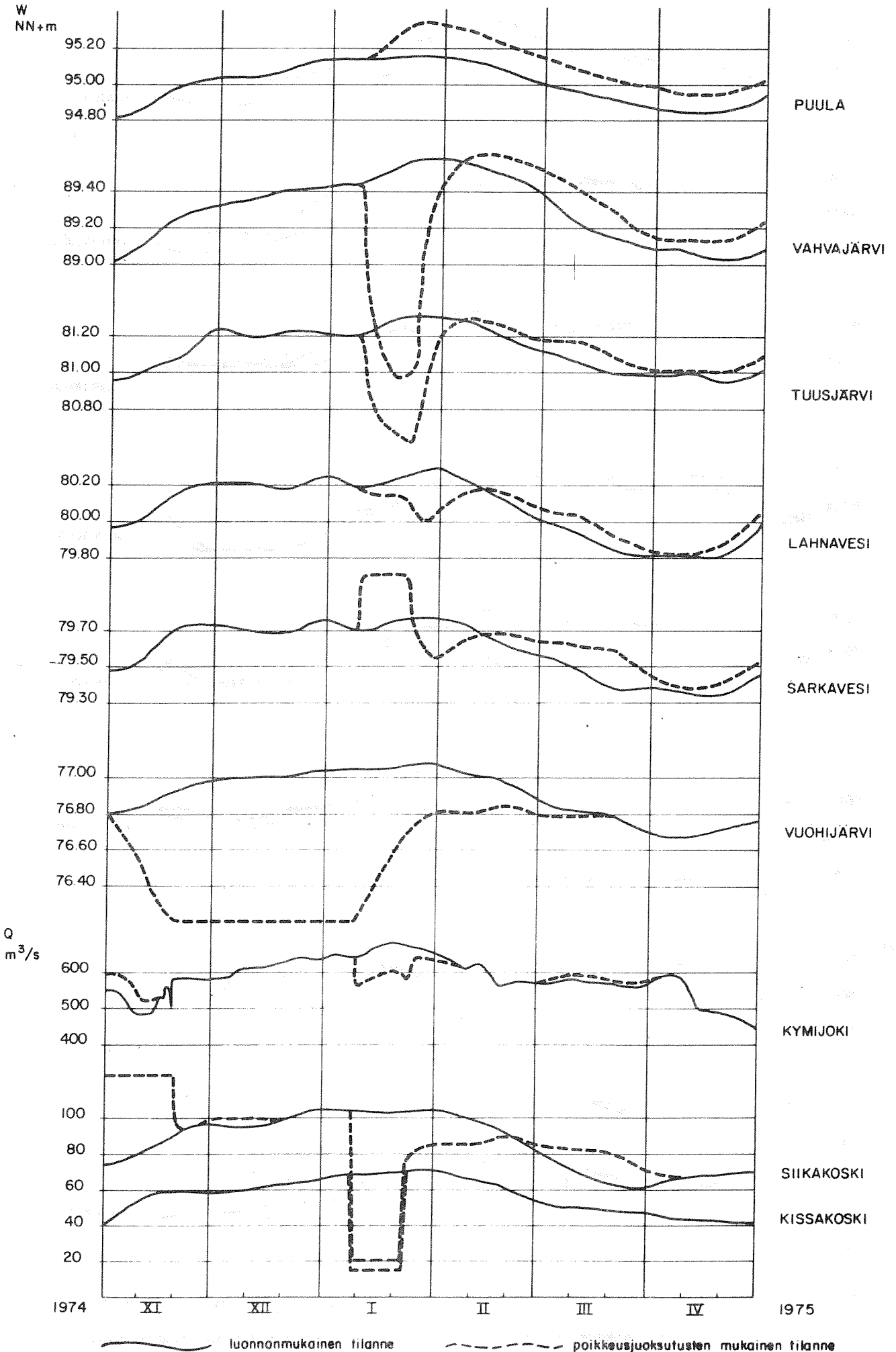


Poikkeusjuoksu-  
tustaslaskenta 8

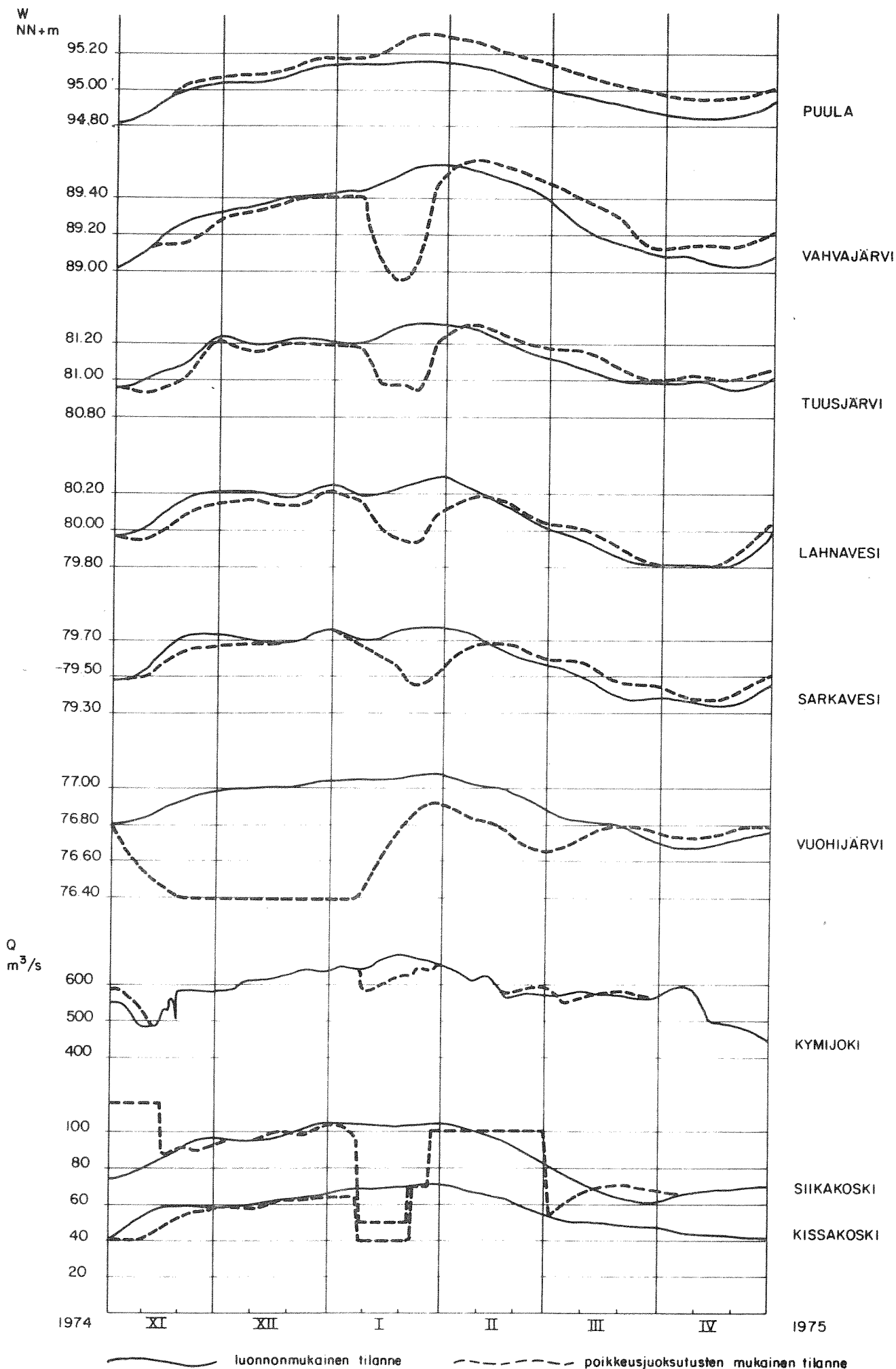
Poikkeusjuoksutuslaskenta 9



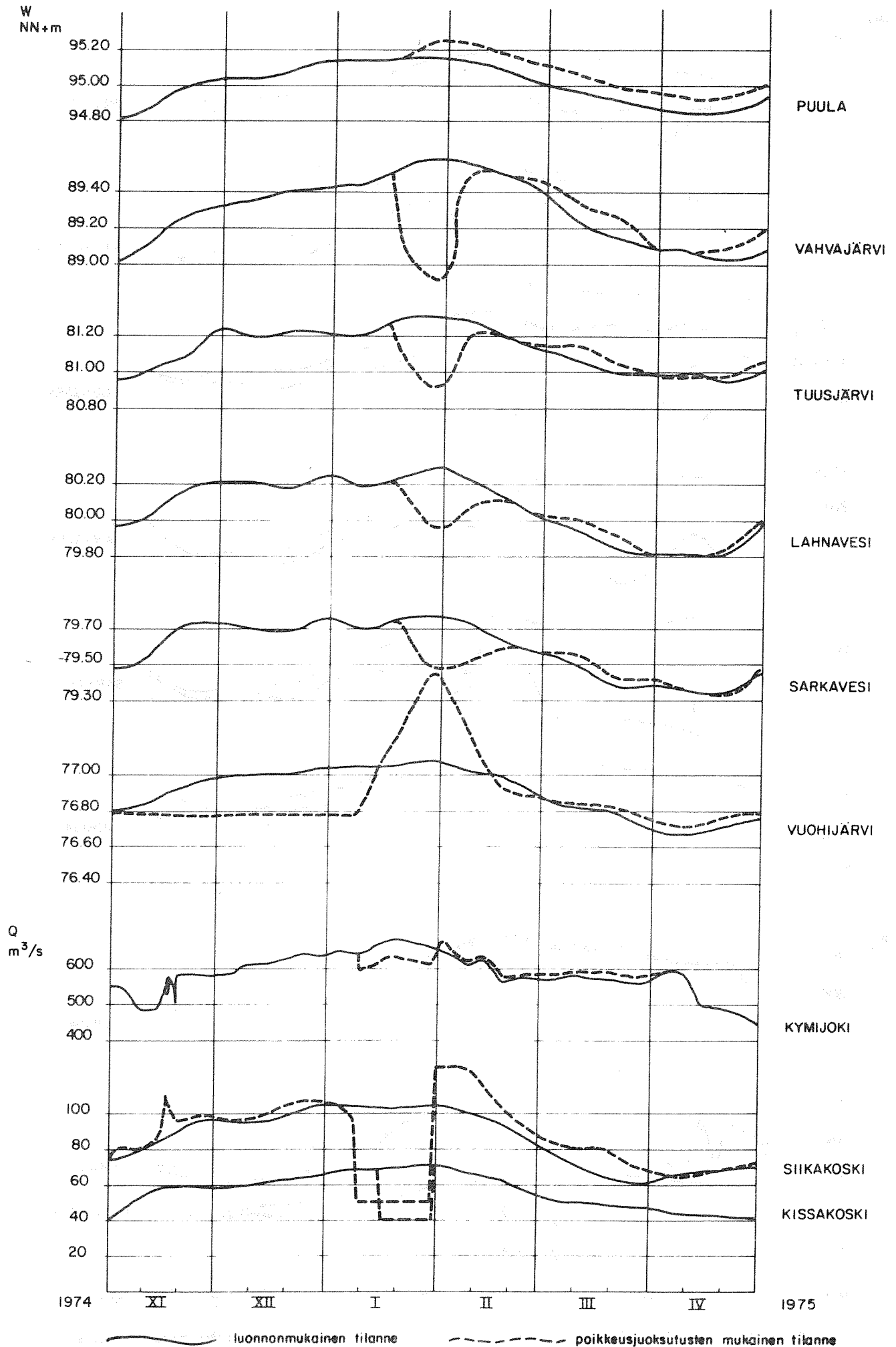
Poikkeusjuoksutuslaskenta 10



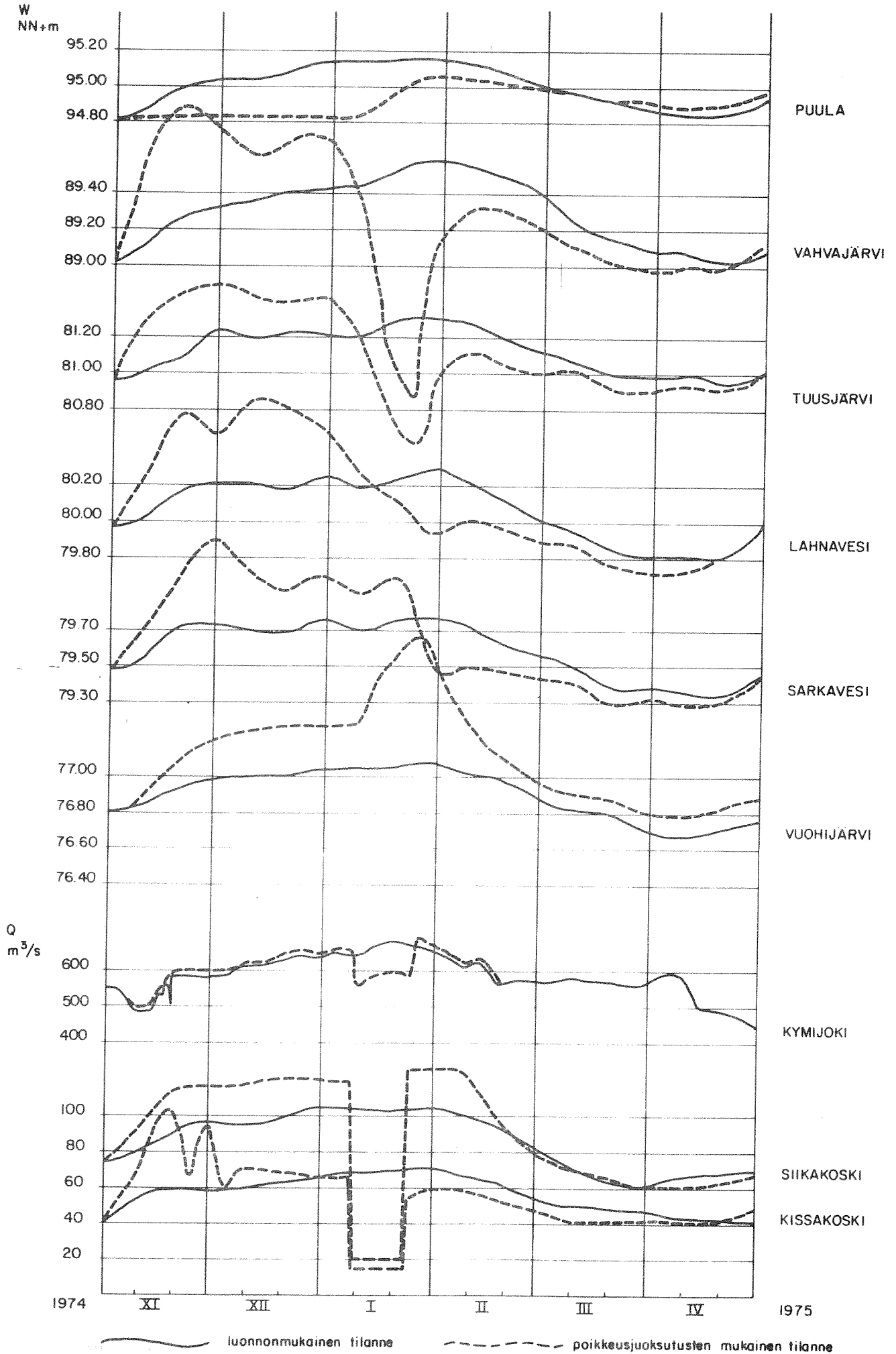
Poikkeusjuoksutuslaskenta II







Poikkeusjuoksu-*t*ustaslaskenta 13



## POIKKEUSJUOKSUTUSLASKENTOJEN JUOKSUTUSTIEDOT

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 1

Siikakoski:	1.3.- 30.4.,	Q = 80 m <sup>3</sup> /s
	1.5.- 7.6.,	Q siten, että $W_{\text{Vuohij.}} \sim \text{vakio}$
	8.6.- 22.7.	Q = 70 m <sup>3</sup> /s
	22.7.-	Q purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 2

Kissakoski:	1.3.- 31.5.	Q = 70 m <sup>3</sup> /s
	1.6.- 30.6.	Q = 15 m <sup>3</sup> /s
	1.7.-	Q purk.käyrän mukaan
Siikakoski:	1.3.-	Q -"-

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 3

Kissakoski:	1.3.- 30.4.	Q = 50 m <sup>3</sup> /s
	1.5.- 30.6.	Q = 40 m <sup>3</sup> /s
	1.7.-	Q = 55 m <sup>3</sup> /s
Siikakoski:	1.3.-	Q purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 4

Kissakoski:	samoin kuin edell. p.j.lask.	
Siikakoski:	1.3.- 30.4.	Q = 90 m <sup>3</sup> /s
	1.5.- 31.5.	Q siten, että $W_{\text{Vuohij.}} \sim \text{vakio}$
	1.6.- 30.6.	Q = 50 m <sup>3</sup> /s
	1.7.-	Q = 70 m <sup>3</sup> /s

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 5

Kissakoski:	1.3.- 30.4.	Q = 50 m <sup>3</sup> /s
	1.5.- 14.5.	Q = 40 m <sup>3</sup> /s
	15.5.-	Q purk.käyrän mukaan
Siikakoski:	1.3.-	Q -"-

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 6

Siikakoski:	9.1.- 23.1.	Q = 50 m <sup>3</sup> /s
	23.1.- 31.5.	Q luonnonmuk.
	1.2.- 6.3.	Q = 125 m <sup>3</sup> /s
	7.3.-	Q luonnonmuk.

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 7

Siikakoski:	1.11.- 20.11.	Q = 125 m <sup>3</sup> /s
	21.11.- 8.1.	Q siten, että $W_{\text{Vuohij.}} \sim \text{vakio}$
	9.1.- 23.1.	Q = 20 m <sup>3</sup> /s
	24.1.-	Q purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 8

Siikakoski:	1.11.- 15.11.	$Q = 115 \text{ m}^3/\text{s}$
	16.11.- 8.1.	$Q$ siten, että $W_{\text{Vuohij.}} \sim \text{vakio}$
	9.1.- 22.1.	$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
	23.1.- 29.1.	$Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$
	30.1.- 28.2.	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$
	1.3.-	$Q$ purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 9

Kissakoski:	9.1.- 23.1.	$Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$
	24.1.-	$Q$ luonnonmuk.
Siikakoski:	9.1.- 23.1.	$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$
	24.1.- 4.2.	$Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$
	5.2.-	$Q$ purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 10

Kissakoski:	samoin kuin edell. p.j.lask.	
Siikakoski:	1.11.- 20.11.	$Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$
	21.11.- 8.1.	$Q$ siten, että $W_{\text{Vuohijärvi}} \sim \text{vakio}$
	9.1.- 23.1.	$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$
	24.1.-	$Q$ purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 11

Kissakoski:	9.1.- 23.1.	$Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$
	24.1.-	$Q$ purk.käyrän mukaan
Siikakoski:	1.11.- 15.11.	$Q = 115 \text{ m}^3/\text{s}$
	16.11.- 8.1.	$Q$ siten, että $W_{\text{Vuohij.}} \sim \text{vakio}$
	9.1.- 22.1.	$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
	23.1.- 29.1.	$Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$
	30.1.- 28.2.	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$
	1.3.-	$Q$ purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 12

Kissakoski:	samoin kuin edell. p.j.lask.	
Siikakoski:	1.11.- 8.1.	$Q$ siten, että $W_{\text{Vuohij.}} \sim \text{vakio}$
	9.1.- 30.1.	$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
	31.1.-	$Q$ purk.käyrän mukaan

## Poikkeusjuoksutuslaskenta 13

Kissakoski:	1.11.- 8.1.	$Q$ siten, että $W_{\text{Puula}} \sim \text{vakio}$
	9.1.- 23.1.	$Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$
	23.1.-	$Q$ purk.käyrän mukaan
Siikakoski	1.11.- 8.1.	$Q$ -"-
	9.1.- 23.1.	$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$
	24.1.- 6.2.	$Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$
	7.2.-	$Q$ purk.käyrän mukaan