

VESITALOUS

2/1980

SISÄLTÖ:

- Esa Rönkä ja Pekka Turtainen: Kalliopohjavesi vedenhankinnassa (esitutkimus)
- Ensio Jussari: Vesi- ja viemärihuoltotoimintojen vastuuvakuutukset
- Risto Anttila: Hiekan ja soranoton vaikutuksista vesialueen tilaan ja kalatalouteen
- Laila Hosia: Pienten uomien virtausvastuskerroin
- Pertti Vakkilainen: Tutkimus pellon tiivistymisen vaikutuksesta salaojituksen toimintaan
- Tapani Vakkuri: Havaintoja Tuusulanjärvestä lähtevässä vedessä olevien sinilevien ja veden hajun välistä yhteydestä
- Pertti Vakkilainen ja Tuomo Karvonen: SSARR, sadantavaluntamalli vesistöjen optimaalisen suunnittelun ja käytön pohjaksi
- Terveystieteiden soveltaminen siinä tarkoitettuja vesi- ja jätevesiasioita käsiteltäessä.



SSARR, sadanta-valuntamalli vesistöjen optimaalisen suunnittelun ja käytön pohjaksi?

MALLIN VALINTA

Valuma-alueella tapahtuvan veden kiertokulun kuvaamiseksi on useissa maissa kehitetty simulointimalleja viikmeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Tunnetuimpia näistä ns. konseptuaalisista malleista ovat Stanfordin malli, Sacramento River Forecasting Center malli ja Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation malli (SSARR), jotka kaikki ovat lähtöisin USA:sta. Näiden soveltuvuutta ei meillä ole aikaisemmin selvitetty. Ulkomaila laadittuihin malleihin on luonnollisesti syytä suhtautua terveen epäluuloisesti, sillä Suomi on tunnetusti hydrologisessa mielessä poikkeuksellista aluetta ilmastoltaan, maaperältään ja vesistöominaisuuksiltaan.

Ruotsissa tehdyn selvityksen ansios-
ta meillä on jonkin verran kokemusta
Stanfordin mallin soveltuvuudesta olo-
jemme kuvaamiseen. Cawood ym.
(1971) testasivat mallia Verkajoen ai-
neistolla ja totesivat, ettei laskettuja ja
mitattuja arvoja saatu kovinkaan hyvin
vastaamaan toisiaan. Erot selitettiin
johtuviksi haihdunnan arvioimisen vai-
keudesta ja sulanta-algoritmin puut-
teellisuuksista. Sacramento-malli on
kehitetty Kalifornian oloihin, joten
senkään kokeilua ei pidetty mielekkää-
nä. Sen sijaan SSARR on kehitetty
Columbiajoen vesistöalueelle, jossa
leimaa-antavina piirteinä ovat lumen
kevätsulamisesta aiheutuva ylivaluma
ja järvien suuri lukumäärä. Vesistö-
alueeseen sisältyy runsaasti osa-aluei-
ta, joissa saderankkuudet ovat verrat-
tain pieniä. Nämä kaikki ovat siinä
määrin "suomalaisia" olosuhteita, että
SSARR-mallin soveltuvuuden yksityis-
kohtaisempi selvittäminen nähtiin jär-
keväksi, varsinkin, kun mallissa on
varsin monipuoliset altain käsittely-
rutiinit. Nämä mahdollistavat säännös-
tely- ja rakentamismahdollisuuksien no-
pean vertailun.

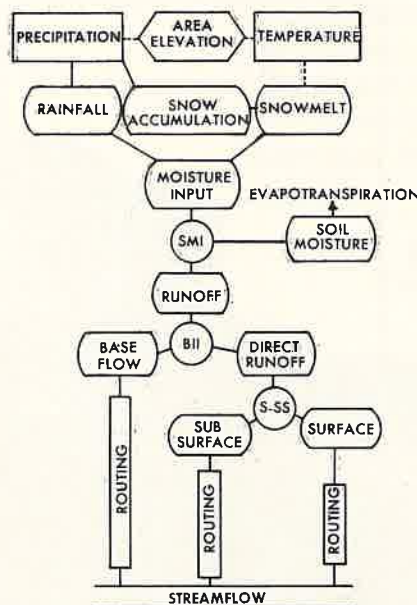
PERTTI VAKKILAINEN, DI
Oulun yliopisto
TUOMO KARVONEN, tekn.yo
Teknillinen korkeakoulu

SSARR-mallin kehittäminen aloitet-
tiin jo vuonna 1956. Tätä ennen oli
U.S. Army Corps of Engineers suorit-
tanut Columbiajoen alueella laajoja lu-
mitutkimuksia, joista päätulokset on
koottu nyt jo klassiseen julkaisuun
"Show Hydrology". Samoihin aikoihin
saatiin Columbiajoen voimalatyöt pää-
tökseen (joki tuottaa kolmanneksen
USA:n vesivoimasta), joten oli kehitet-
tävä malli tulovirtaamien ennustamista
ja säännöstelylaitaiden käytön opti-
mointia varten. Mallin rakentajien kun-
niahimoisena tavoitteena oli luoda
malli, joka perustuisi kiistämättömiin
hydrologisiin lainalaisuuksiin ja joka
niin muodoin olisi kaikkialla käyttökel-
poinen. Näin syntyi SSARR (U.S. Army
Corps of Engineers 1975).

SSARR-MALLIN RAKENNE

Sadannasta valunnaksi

Malli laskee sadannasta, sulannasta
ja näiden yhdistelmästä kulloinkin ai-
heutuvan valunnan kuvan 1 mukaises-
ti.



Kuva 1. SSARR valuntamallin rakenne
(USCE, 1975).

Malliin syötetään korjatut sadanta-
arvot. Eri sadeasemien painokertoimet
saadaan esimerkiksi Thiessenin moni-
kulmiomenetelmällä. Sadannan olo-
muoto testataan lämpötilan perusteel-
la. Syöttötietona annettavan kriittisen
lämpötilan yläpuolella sade tulkitaan
vedeksi, alapuolella lumeksi. Lämpö-
tilan mukaan määräytyy myös sulanta,
johon palataan jäljempänä.

Sadannasta ja/tai sulannasta tule-
van vesimäärän malli jakaa valuntaan,
maankosteuden lisäykseen ja haihdun-
taan. Valunnan osuus määräytyy ko-
keilemalla saatavan käyrän avulla.
Käyrä ilmoittaa valunnan ja maankos-
teutta ilmaisevan indeksin SMI välisen
yhteyden.

SMI:n laskemiseksi tarvitaan arvio
haihdunnan suuruudelle. Mikäli käytet-
tään haihdunnan kuukausiarvoja, las-
ketaan SMI:lle arvo kunkin jakson lo-
pusta kaavasta (1).

$$SMI_2 = SMI_1 + (WP - RGP) -$$

$$\left[\frac{PH}{24} \cdot KE \cdot ETI \right] \quad (1)$$

SMI₁ = maankosteusindeksi jakson
alussa

SMI₂ = maankosteusindeksi jakson
lopusta

WP = jakson kokonaissadanta

RGP = jakson kokonaisvalunta

PH = jakson pituus tunneissa

ETI = potentiaalinen haihdunta

KE = haihduntaa sadepäivinä pienen-
tävä kerroin, jonka suuruus riip-
puu sademäärästä.

Päivittäisiä astiahavaintoja käytettä-
essä saadaan SMI kaavasta (2)

$$SMI_2 = SMI_1 + (WP - RGP) -$$

$$(DKE \cdot ETI) \quad (2)$$

DKE = astiahaihdunnan ja todellisen
haihdunnan välinen suhde, joka
riippuu maankosteusindeksin
suuruudesta

Pohjavalunnaksi imeytyvän vesimää-
rän suuruus (prosenttia valunnasta)
saadaan BII-indeksin avulla. BII-indek-
sille lasketaan arvo kaavalla (3).

$$\left(\frac{PH}{TSBII + PH/2} \right)$$

TSBII = viipymä pohjavesivarastossa
(annetaan syöttötietona).

Kun kokonaisvalunnasta vähenne-
tään pohjavedeksi imeytyvä osuus,
saadaan välitön valunta. Tämä jaetaan
edelleen pintavaluntaan ja pintakerros-
valuntaan.

Lopullisen valunnan malli laskee kuljettamalla kufakin valuntakomponenttia sarjassa olevien altaiden kautta. Kullekin valuntakomponentille määrätään ensin altaiden lukumäärä ja tämän jälkeen altaille viipymä. Altaiden avulla saadaan valuntakäyrän muoto ja ajoitus samaksi mitattujen arvojen kanssa.

Sulannan laskenta

Mallissa on kaksi päävaihtoehtoa sulan laskemiseksi (kuva 2). Fysikaalisesti täydellisempi tapa perustuu lumenpinnan energiataseeseen eikä sen käyttöä meillä nykytiedoin voi ajatella. Sen sijaan yksinkertaisempi aste-päivätekijään perustuva tapa on myös meillä tuttu ja käytetty.

Astepäivätekijää käytettäessä tarvitaan päivittäiset keskilämpötilat ja sulantaparametrin R arvo. Astepäivätekijä saadaan, kun keskilämpötilasta vähennetään rajalämpötila T_D , jonka yläpuolella sulantaa tapahtuu. Sulantaparametri voi olla joko vakio tai summatun kokonaisvalunnan funktio. Sulanta lasketaan kaavasta (4)

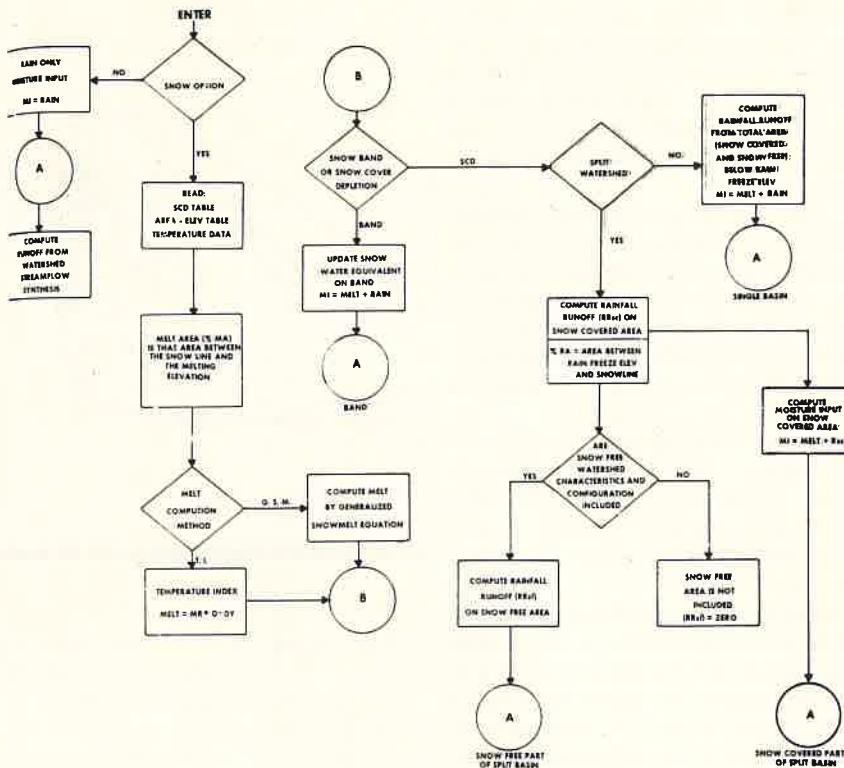
$$M = (T_a - T_b)R \text{ (PH/24)} \quad (4)$$

M = sulanta
T_a = vuorokauden keskilämpötila
T_b = rajalämpötila
R = sulantaparametri

Lumipeitteen sulannan kuvaamiseksi on käytettävissä kaksi vaihtoehtoista tapaa; ns. lumipeitteen vähenemisen vaihtoehto ja lumivyöhykevaihtoehto.

Lumipeitteen vähenemisen vaihtoehdossa ei lasketa lainkaan lumen vesi-arvoa, vaan menetelmässä lumipeitteisen osan ala pienenee sitä mukaa, kun summattu kokonaisvalunta lähenee tiettyä raja-arvoa (= sulantakauden kokonaisvalunta).

Lumivyyöhykemenetelmässä valuma-alue voidaan jakaa korkeusvyyhykkeisiin. Kutakin vyyhykettä käsitellään omana valuma-alueenaan, jonka oletetaan olevan joko täysin lumen peitossa tai täysin lumettomana. Lumena tullut sadanta kasvattaa alueella lumen vesiarvoa, vetenä tullut lisää sen sijaan



Kuva 2. Kaavio SSARR:n vaihtoehtoisista tavoista sulannan laskemiseksi.

suoraa valuntaa. Valuma-alueelta tullut kokonaisvalunta saadaan laskemalla eri vyöhykkeiden valunnat yhteen.

Lumivöyhykemenetelmän etuna on se, että laskenta voidaan suorittaa keskeytymättä ympäri vuoden, koska tällöin lumen vesiarvon laskeminen on mahdollista.

Virtaaman eteneminen jokijaksoissa

Jokikajaksissa virtaamakuvion muoto muuttuu. Mallissa tämä muutos hoidetaan jakamalla joki peräkkäisiin altaisiin. Kunkin altaan tai jakson tulo- virtaama on sama kuin edellisen jakson menovirtaama. Kunkin jakson viipymän määrittelee kaava (5)

$$T_s = \frac{KTS}{Q^n} \quad (5)$$

T_s = viipymä
 KTS = kerroin
 n = karkeuskerroin
 Q = virtaama

Kertoimen KTS määrittämistä varten on kehitetty nomogrammeja. Kerroin n vaihtelee -1 ja $+1$ välillä. Se vastaa käytännössä Manningin kerrointa.

Järven ja altaiden laskentamahdollisuudet

Kullekin altaalle annetaan lähtötietoina ala- ja yläraja sekä varastotilavuuden ja menovirtaaman riippuvuus vedenkorkeudesta. Säännöstelville al-

taille voidaan määrittä seuraavia mahdollisuuksia:

- 1) Vapaa purkautuminen (tiettyä vedenkorkeutta vastaa tietty menovirtaama).
- 2) Menovirtaaman suuruuden haluttu säätteleminen. Mallin käyttäjä voi täysin vapaasti valita menovirtaaman suuruuden.
- 3) Altaan vedenkorkeuden haluttu säätteleminen.
- 4) Vedenkorkeuden muutoksen haluttu säätteleminen.
- 5) Varastotilavuuden haluttu säätteleminen.
- 6) Varastotilavuuden muutoksen haluttu säätteleminen.

Osa-alueiden yhdistäminen

Malliin syötetään tiedot kaikista osalualueista ja nk. summauspisteistä, joissa eri suunnista tulevat virtaamat kootaan (solmukohdat). Laskenta suoritetaan vesistön yläosasta alkaen siten, että ensimmäisen altaan yläpuolelta tuleva virtaama lasketaan ensin, jonka jälkeen altaan käsittely käy mahdolliseksi. Näin jatketaan vesistöä alaspäin.

KOHDEALUE JA HAVAINNOT

Mallin soveltuvuutta selvitettiin Siuntionjoen vesistön pohjoisosasta koottun havaintomateriaalin perusteella.

Palojärven kosken asteikolla tämän geologisessa katsannossa varsin vaihtelevan valuma-alueen ala on 88 km² ja järvisyys 12%. Valuma-alue jaettiin kuvan 3 mukaisesti osa-alueisiin, joiden pinta-alat ja järvi-prosentit käyvät ilmi taulukosta 1.

Mallin soveltuvuutta selvitettyä käytetyt sadantahavainnot olivat hydrologian toimiston Maasojan koealueelta ja Nummelan Kotkanniemenestä. Lumen vesiarvotiedot saatiin hydrologisesta vuosikirjasta. Lämpötilahavaintoina käytettiin Maasojalla mitattuja arvoja.

Järvien ominaisuuksia koskevat tiedot saatiin pääosin Helsingin vesipiiristä. Enäjärven luusuassa on settipato, jolle laskettiin Polenin kaavan perusteella teoreettiset purkautumiskäyrät.

Haihdunnan suuruudesta ei alueelta ollut käytettävissä tietoja. Ensimmäisenä vaihtoehtona harkittiin arviot tehtäviksi Otaniemessä sijaitsevan TKK:n lysimetrikentän havaintojen perusteella, mutta lopulta päädyttiin käyttämään Maasojan aineiston perusteella laskettujen pannuhaihduntojen ja Solantien (1973) esittämien järvi-haihduntojen alojen mukaan painotettua keskiarvoa. Lähtötietoina malliin syötettiin siis haihdunnan kuukausiarviot, jotka pysyivät vuosittain muuttumattomina. Tällä aiheutettiin tietoisesti systemaattinen virhe, joka tehtiin osaltaan siitä syystä, että luotettavaa haihdunta-arviomenetelmää ei maassamme ole käytettävissä ja osaltaan siksi, että haluttiin selvittää, paljastavatko käytetyt testit ko. systemaattisen virheen olemassaolon.

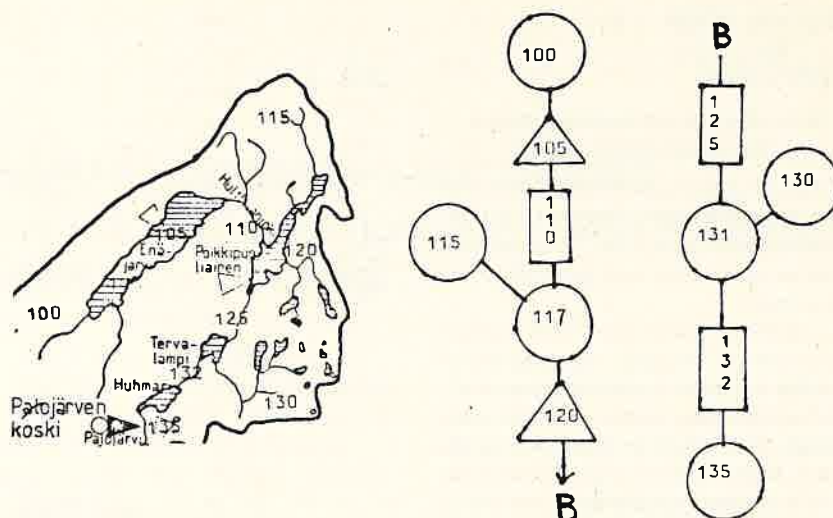
KALIBROINTI

Kalibrointijakson valinta

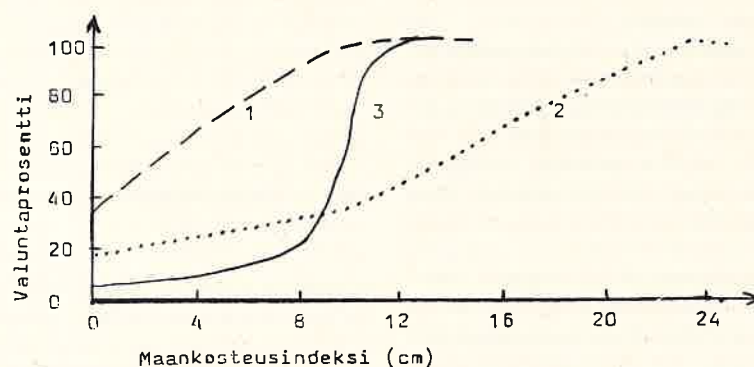
Kalibrointijakso samoin kuin testijakso määräytyivät käytettävissä olevien havaintojen perusteella. Työtä aloitettaessa pidettiin ajan puutteen takia ehdottomana edellytyksenä, että havainnot ovat käytettävissä ilman, että arkistoihin joudutaan kaivautumaan. Näin jouduttiin malli kalibroimaan ajanjaksolla syyskuu 1972 — joulukuu 1974. Jakso sisältää "normaalin syksyn" (1972), "kuivan syksyn" (1973) ja "märän syksyn" (1974), mutta silti jakson pituutta ei voi pitää riittävänä, että mallin käyttäytyminen kaikissa olosuhteissa olisi tullut esiin.

Maankosteuden ja valunnan välinen yhteys

Maankosteusindeksin SMI ja valuntaprosentin ROP välistä riippuvuutta



Kuva 3. Palojärvenkosken valuma-alue sekä sen jako mallissa käytettyihin osiin.



Kuva 4. Maankosteusindeksin ja valuntaprosentin välistä riippuvuutta kuvaavia käyriä.

Taulukko 1. Palojärvenkosken osavaluma-alueiden numerointi, pinta-alat ja järvisyydet.

N:o	alue	ala km ²	järvisyys
100	Enäjärven lähivaluma-alue	28,0	0,0
105	Enäjärvi	5,1	15,3
110	Hulttilanjoki	—	—
115	Poikkipuolisen lähivaluma-alue	30,0	3,6
117	Summauspiste	—	—
120	Poikkipuoliainen	2,0	12,6
125	Siuntionjoki	—	—
130	Valuma-alue Poikkipuoliainen—Palojärvenkoski	22,9	7,4
131	Summauspiste	—	—
132	Siuntionjoki	—	—
135	Palojärvenkosken valuma-alue	88,0	10,0

kuvaava käyrä on se parametri, jolla lasketut virtaamat saadaan vastaamaan havaittuja. Tämän käyrän muoto riippuu oleellisesti saderankkuudesta, kuten kuvasta 4 voidaan havaita. Kuvassa käyrä 1 on saatu alueelle, jossa sadannan keskimääräinen intensiteetti on suuri eli yli 25 mm/h (Oklahoma, USA), käyrä 2 taas käy alueelle, jossa sateet

ovat rintamasateita ja keskimääräiseltä rankkuudeltaan pienehköjä vuosisadannan ollessa 2000...2500 mm (Oregon, USA). Käyrä 3 on Palojärvenkoskelle saatu lopullinen SMI-ROP-käyrä.

Kuvassa 5 on esitetty kaksi kokeilua SMI-ROP-käyrää ja kuvassa 6 käyriä käyttämällä saadut valunta-arvot. Käyrät ovat samanmuotoiset, mutta ta-

pauksessa 1. (lopullinen muoto) maankosteuden vaihteluväli on suurempi. Simulointituloksesta nähdään, että tulvahuipun simulointi onnistuu yhtä hyvin molemmilla SMI-ROP-käyrillä. Sen sijaan ylivirtaamaa edeltävänä ajanjaksona käyrä 2. antoi selvästi liian suuria arvoja, sillä maavesivarasto täyttyi liian nopeasti ja valunta kasvoi tästä syystä liian suureksi.

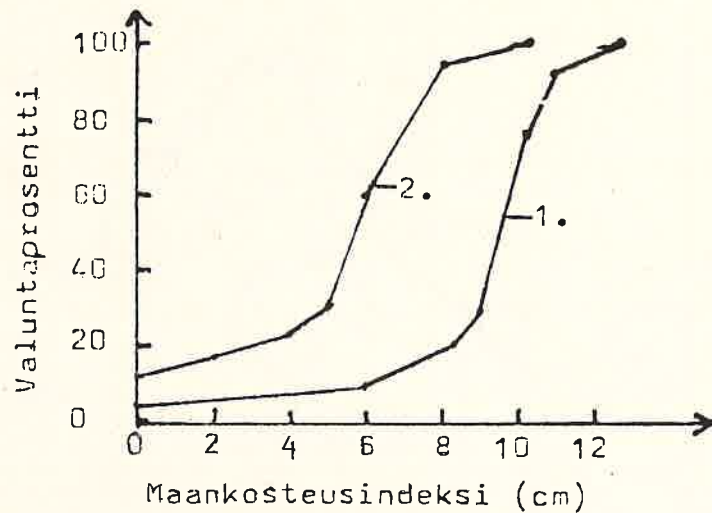
Päinvastainen tilanne ilmeni syksyllä 1974 (kuva 7). Jakson alussa simuloitu virtaama oli liian pienen maankosteusindeksin takia selvästi pienempi kuin havaittu, mutta jälleen ylivirtaaman simulointi onnistui hyvin. Selitys tähän on se, että ennen huippua SMI kasvoi riittävän suureksi ja kaikki sateena tullut valui.

Alivirtaamakausien simulointi osoittautui verrattain hankalaksi. Tarkan tuloksen aikaansaamiseksi olisi maankosteuden vaihtelut tunnettava ja tämä edellyttäisi puolestaan menetelmää haihdunnan tarkaksi arvioimiseksi. Edellä todettiin, että haihdunnan arvioinnissa tietoisesti tehtiin virhe ja tämä näkyi mallia kalibroitaessa. Syksyille 1973 ja 1974 simuloidut virtaamat olivat liian pienet ja ainakin eräs tähän

suuntaan vaikuttanut syy oli virheellinen haihdunnan arviointi.

Vaikka ylivirtaamien simulointi onnistui hyvin, on todettava, että SSARR on herkkä SMI-ROP-käyrän muodolle. Kuvassa 8 on esitetty neljä erityyppistä käyrää ja kyseisillä käyrillä saadut virtaamat. Käyrä 8210 kuvaa valuma-

aluetta, jossa maavesivaraston kokonaistilavuus on pieni ja valuma-alueen muoto sellainen, että virtaama kasvaa hyvin nopeasti sadannan jälkeen (ts. kapea valuma-alue ja jyrkät rinteet). Käyrä 8213 kuvaa taas valuma-aluetta, jolla korkeuserot ovat pienet ja maavesivarasto suuri.



Kuva 5. Kaksi maankosteusindeksi-valuntaprosentti vuorosuhteen käyrää.

- Vesihuolto ● Kunnallistekniikka ● Vesivoimalaitokset
- Vesirakenteet ● Vesistöjen säännöstely ● Vesi-oikeudelliset selvitykset ● Rakennuttajapalvelu
- Työnjohtotehtävät

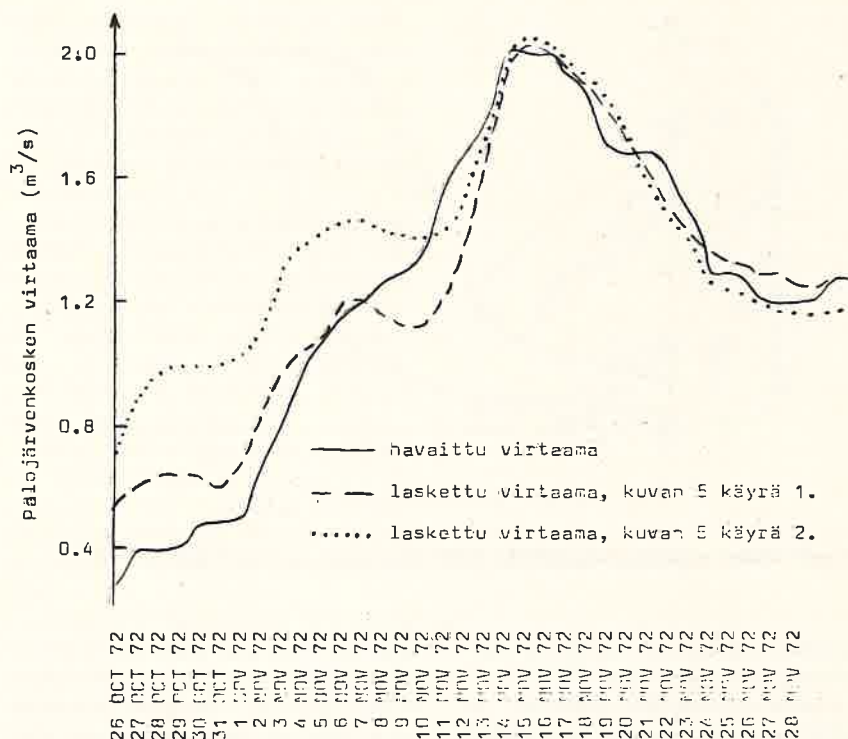


Kalliokosken voimalaitos

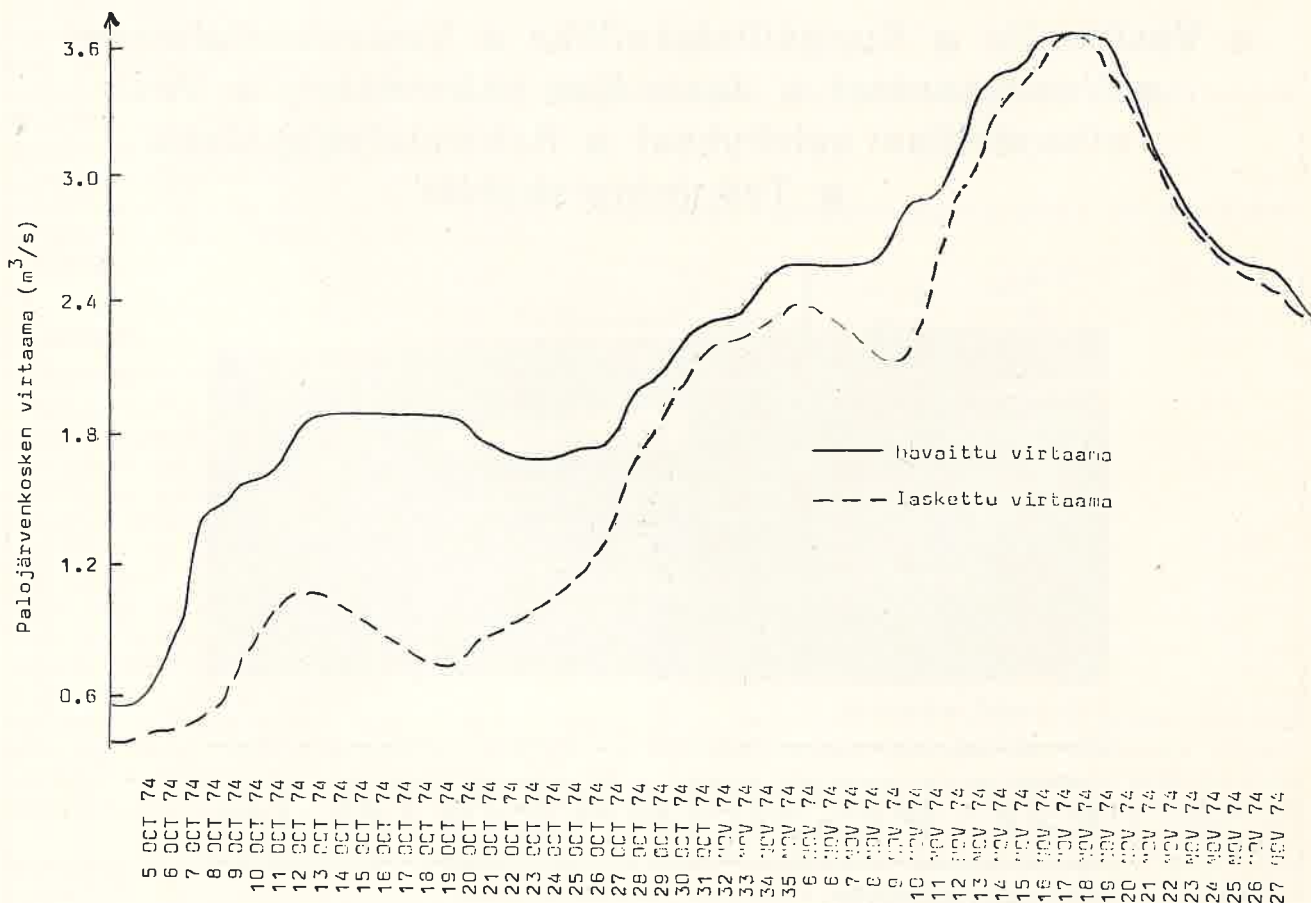
OY VESIRAKENTAJA

Insinööritoimisto

Lapinrinne 1 B, 00180 Helsinki 18, puh. 694 2344



Kuva 6. Palojärvenkosken havaittu, sekä kahdella eri SMI-valuntaprosentti käytöllä laskettu virtaama.



Kuva 7. Palojärvenkosken havaittu ja laskettu virtaama kalibrointijaksolla.

Valunnan jako komponentteihin

Välittömän valunta jaettiin kahteen komponenttiin sen perusteella, kuinka kauan kestää, ennenkuin sadanta näkyy virtaaman lisäyksenä. Toinen komponenteista tulkitaan pintavalunnaksi, toinen pintakerrosvalunnaksi. Molemmat komponentit on kuljetettu neljän altaan kautta. Mitatut ja lasketut virtaamat on saatu parhaiten vastaamaan toisiaan, kun nopeamman komponentin tapauksessa altaiden viipymä on 9 h ja hitaamman 25 h. Välittömän valunnan jako on esitetty kuvassa 9.

Pohjavalunnaksi suotautuva osuus riippuu ideksin BII arvosta. Kuvassa 10 on esitetty BII:n ja pohjavalunnan välinen yhteys. BII-parametrin kalibroiminen oli hankala tehtävä, koska fyysikaalista tulkintaa parametrille ei pystytty esittämään ja koska BII:n lauseke sisältää termin $TSBII$, jonka tulkinta on yhtä epäselvä kuin BII:nkin. Kalibroinnin tuloksena $TSBII$:lle, joka edustanee jollakin tavoin pohjavesivaraston viipymää, saatiin arvo 180 h. SSARR-mallin manuaalissa suositettiin arvoa väliltä 30...60 h, joka siis havaittiin selvästi liian pieneksi. Pohjavalunta kuljetettiin mallissa neljän altaan kautta, joista kunkin viipymä oli 130 h.

Sulanta

Sulantaan liittyvien parametrien kalibrointi suoritettiin olettamalla, että sulanta alkaa välittömästi lämpötilan kohotessa 0°C yläpuolelle. Sadannan olomuodon testauksessa käytettävälle kriittiselle lämpötilalle saatiin arvoksi $1,1^{\circ}\text{C}$. Tämä tarkoittaa sitä, että $0...1,1^{\circ}\text{C}$ sadanta tulee lumena, mutta samanaikaisesti tapahtuu sulantaa.

Sulantaparametrin R arvoksi asetettiin kalibroinnin alussa Lemmelän ja Kuusiston (1974) saama $0,49 \text{ cm}/^{\circ}\text{Cd}$. Tällöin lumipeite sulii kuitenkin liian nopeasti. Lopulliseksi R:n arvoksi saatiin $0,36 \text{ cm}/^{\circ}\text{Cd}$. Keskitalvella sama astepäivätekijä ei aiheuta yhtä suurta sulantaa ja tästä syystä keskitalvella R:lle asetettiin arvoksi $0,18 \text{ cm}/^{\circ}\text{Cd}$.

Lumipeitteen vähenemistä (sulamista) käsiteltiin molemmilla vaihtoehdoilla. Lumipeitteen vähenemismenetelmässä keskeisessä osassa oleva käyrä (kuva 11) ilmaisee kumuloituvan kokonaisvalunnan suhteen sekä valuma-alueen lumipeitteisen osan pienenevän välisen riippuvuuden. Menetelmän varjopuoli on, että lumen vesiarvon suuruus ei vaikuta mallin laskemaan sulantaan, sillä siinä oletetaan, että lumipeitteen pinta-alan pieneminen aiheuttaa valunnan (todellisuudessa sulanta ensin pienentää lumen vesiarvoa ja vasta kun vesiarvo on pienentynyt huomattavasti, alkaa lumipeitteen osuus pienetä).

Lumivyöhykemenetelmän heikkoutena on ennen muuta edellytys, että lumipeitteen osuus on 100% niin kauan, kun lunta yleensä alueella on.

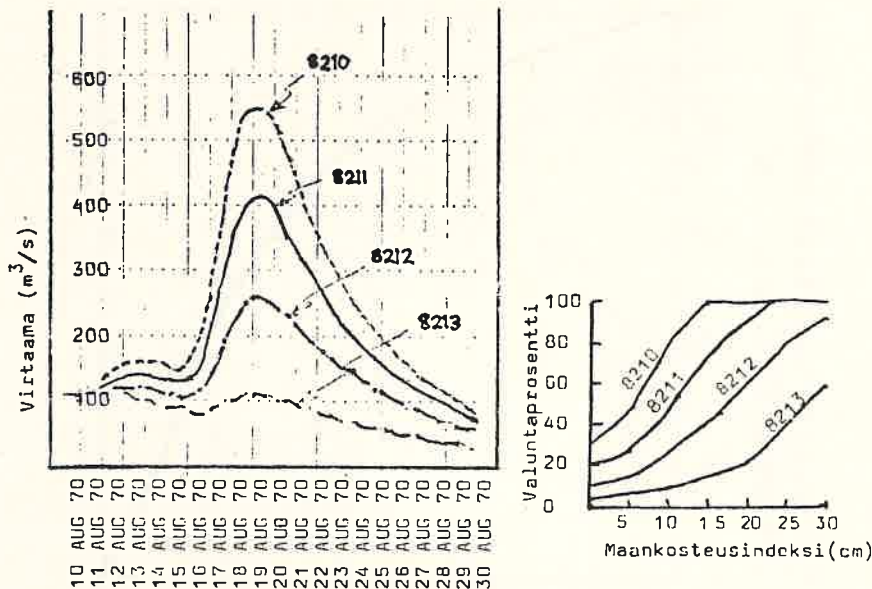
Kuvassa 12 on esitetty Palojärvenkoskella keväällä 1973 havaittu virtaama ja em. vaihtoehdoilla lasketut virtaamat. Molemmat laskentatavat johtivat tyydyttäviin tuloksiin.

Kalibroinnin hyvyys

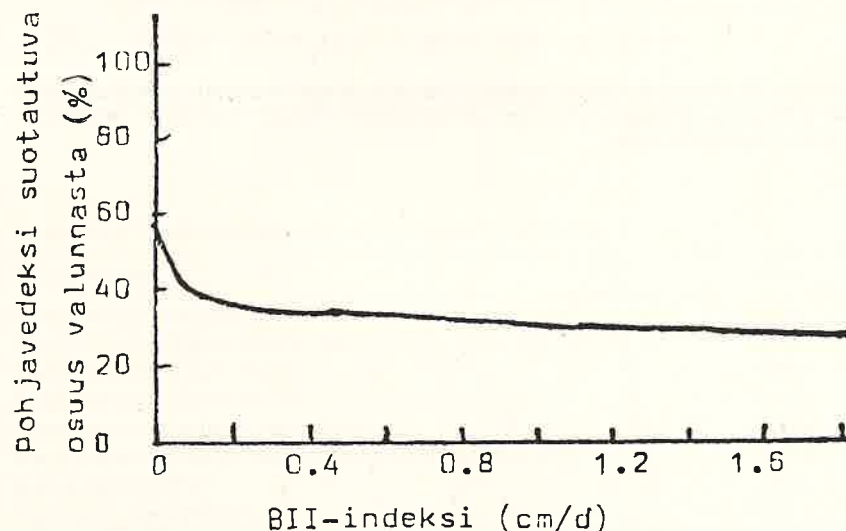
Mallin antamien tulosten hyvyttä mitataan ns. hyvyyskriteereillä, joiden valinta on keskeinen toimenpide mallin kalibroinnissa. Hyvyyskriteerillä voidaan arvioida laskettujen ja havaittujen arvojen vastaavuutta tai niitä voidaan käyttää systemaattisten virheiden paljastamiseen. Tämän selvityksen yhteydessä käytettiin hyvyyskriteereinä

- keskiarvoa ja keskihajontaa
- normeerattua hyvyttä
- korrelaatiokerrointa
- merkkiteistä
- keskiarvosta poikkeamisen summa-
viivaa.

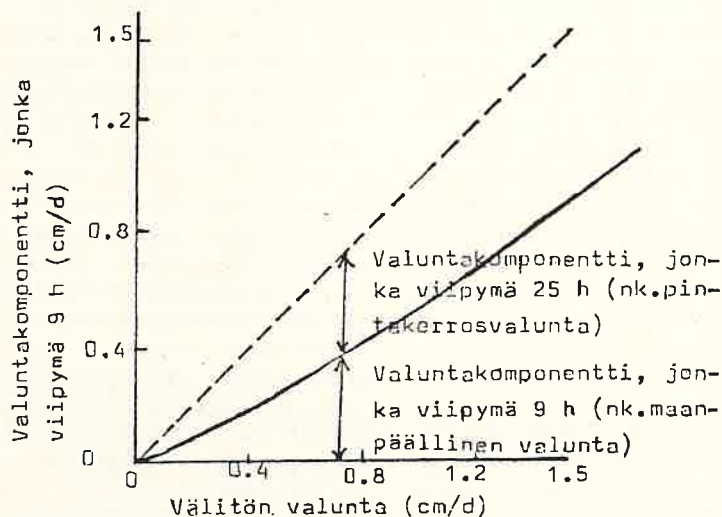
Normeerattu hyvyys (Nash & Sutcliffe 1970) saadaan kaavasta 6.



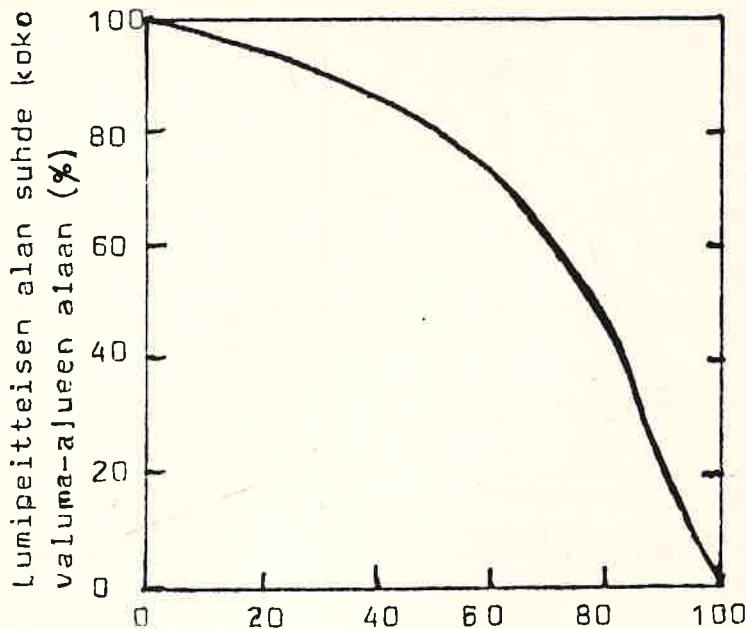
Kuva 8. Erilaisten SMI-ROP käyrien vaikutus virtaamaan (USCE, 1975).



Kuva 9. BII-indeksin ja pohjavedeksi suotautuvan valunnan välinen riippuvuus Palojärvenkosken alueella.

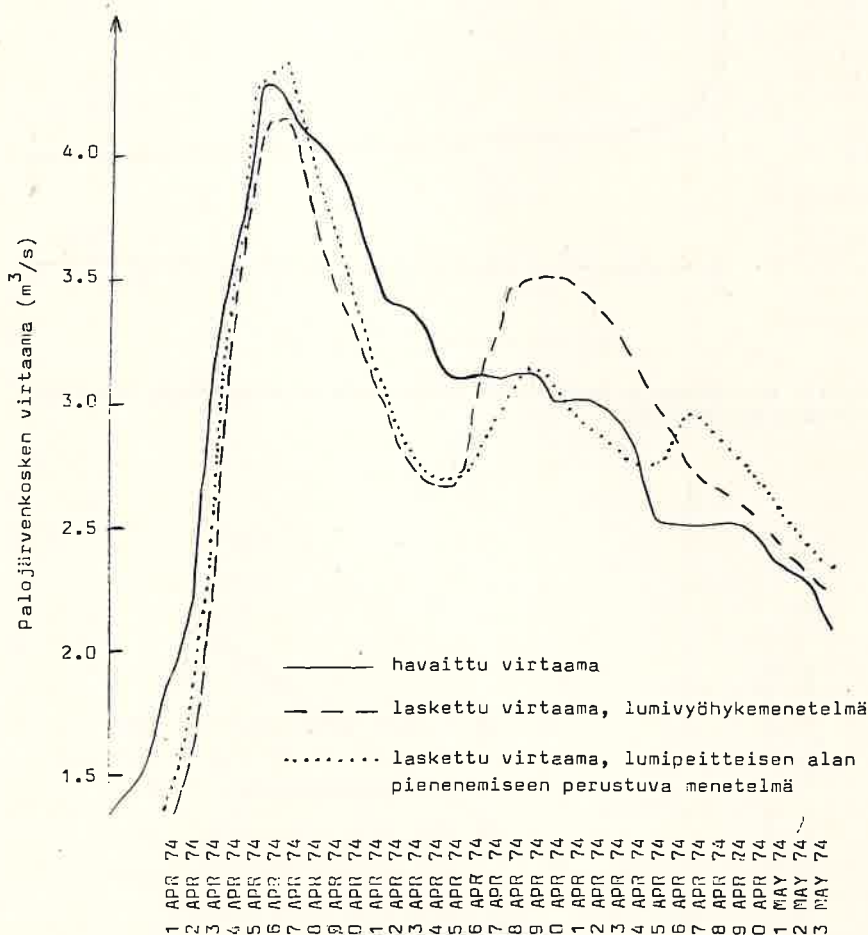


Kuva 10. Välittömän valunnan jakaminen kahteen komponenttiin.



Summatun valunnan ja sulantakauden kokonaisvalunnan suhde (%)

Kuva 11. Mallilla kalibroitu summatun valunnan ja sulantakauden kokonaisvalunnan suhteen ja lumipeitteisen osan pienenemisen välinen riippuvuus Palojärvenkosken valuma-alueella.



Kuva 12. Palojärvenkosken havaittu virtaama, sekä lumivyöhykemenetelmällä ja lumipeitteisen alan vähenemiseen perustuvalla menetelmällä laskettu virtaama.

$$R^2 = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2} \quad (6)$$

$$\text{jossa } F_0 = \sum_{i=1}^n (Q_0(i) - \bar{Q}_0)^2$$

$$F = \sum_{i=1}^n (Q_0(i) - Q_c(i))^2$$

$Q_0(i)$ = havaittu valunta aikajaksolla (i)
 $\bar{Q}_0$ = havaittujen valuntojen keskiarvo
 $Q_c(i)$ = laskettu valunta aikajaksolla (i)
 n = aikajaksojen lukumäärä

Kun lasketut ja havaitut arvot vastaavat täysin toisiaan, saa R^2 arvon +1. Kun vastaavuutta ei ole lainkaan, on $R^2 = -\infty$

Merkkitesti (Aitken 1973) on yksinkertainen tapa selvittää systemaattisen virheen olemassaolo. Testiä varten jaetaan simuloitu valuntasarja yleensä puolen kuukauden tai kuukauden pituisiin jaksoihin. Kullakin jaksolla havaittuja ja laskettuja arvoja verrataan keskenään. Jos laskettu valunta on suurempi kuin havaittu, kyseinen jakso saa merkin +, päinvastaisessa tapauksessa —. Jaksojen väliset merkinvaihdokset kirjataan ylös ja tätä lukua verrataan merkinvaihdosten lukumäärään, jonka puhtaan sattuman uskotaan aiheuttavan. Tämä odotettu merkinvaihdosten lukumäärä voidaan laskea likimäärin kaavasta $(n+2)/2$, jossa n on jaksojen lukumäärä. χ^2 -testin avulla selvitetään lopuksi systemaattisen virheen olemassaoloa, laskemalla testisuure merkinvaihdosten perusteella kaavalla

$$\chi^2 = \frac{(\text{havaittu} - \text{odotettu})^2}{\text{odotettu}}$$

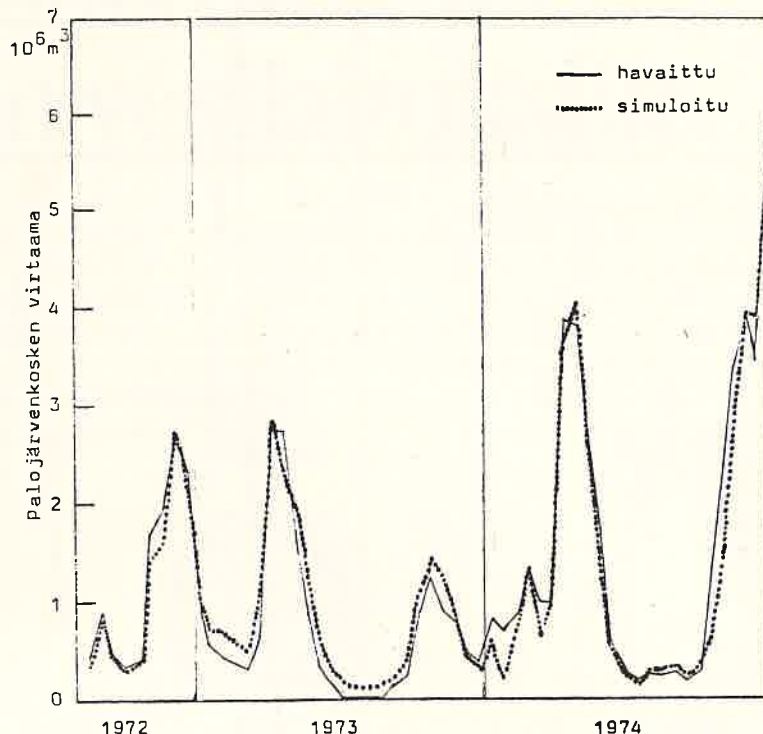
Altiden säännöstelylaskelmista tuttua keskiarvostapoikkeamisen summakäyrää voidaan mm. käyttää systemaattisten virheiden paljastamiseen.

Kulloisenakin ajankohtana keskiarvosta poikkeamisen arvo riippuu aikaisemmista tapahtumista ja tästä syystä havaittujen ja laskettujen summaviivojen vertailu soveltuu systemaattisten virheiden hakemiseen. Lisäksi poikkeaman vaihteluväli antaa keskivirtaaman juoksuttamiseen tarvittavan säännöstelytilavuuden, joten lasketulle säännöstelytilavuudelle saadaan virhe-arvio. Testin hyvyysluku lasketaan kaavalla (6). Ero normeerattuun hyvyyskriteeriin on, että tässä havaittua virtaamaa vastaa havaittu keskiarvosta poik-

keama, laskettua virtaamaa taas laskettu keskiarvosta poikkeama. Mikäli laskentajaksossa on systemaattisia virheitä, ne huonontavat merkittävästi hyvyyslukua normeerattuun hyvyyslukuun verrattuna.

Lineaarista korrelaatiota voidaan käyttää ainoastaan riippumattomien arvojen (esim. tulvahuippujen) vastaavuuksien testaamiseen. Sen sijaan kokonaisten virtaamasarjojen vastaavuuksien testaamiseen se ei sovellu.

Kalibroinnin onnistumista Palojärvenkoskella voidaan arvostella kuvan 13 ja taulukon 2 perusteella. Kokonaisuudessaan kalibrointi eli parametrien määrittäminen onnistui hyvin. Alivirtaamakausina simulointi onnistui huominkin, ja tämä osaltaan paljastaa haihdunta-arvoihin aiheutetun virheen. Systemaattista virhettä ei merkkiteistillä havaittu, kun tarkasteltiin koko simulointijaksoa. Sen sijaan kun tutkittiin ainoastaan touko—syyskuun virtaamia, voitiin systemaattinen virhe todeta.



Kuva 13. Palojärvenkosken havaittu ja simuloitu virtaama kalibrointijaksolla.

TESTAUS

Mallin testauksessa käytettiin vuosien 1976 ja 1977 havaintoja. Testijakso on liian lyhyt, että saataisiin kuva mallin käyttäytymisestä kaikissa olosuhteissa, mutta se osoittaa kuitenkin, että malli "toimii".

Testitulokset käyvät ilmi kuvasta 14 ja taulukosta 3. Testijaksolla alivirtaamakausien simulointi onnistui kalibrointivaihetta paremmin, koska molempien kesien haihdunnat ovat astiahavaintojen perusteella arvioiden samaa luokkaa kuin syöttötietoina käytetyt. Tosin myös nyt kesäaikaisten virtaamien merkkitesti paljasti systemaattisen virheen olemassaolon.

YHTEENVETO

Suuria konseptuaalisia malleja koskeneen karkeahkon selvityksen perusteella päädyttiin USA:ssa Columbiajoen alueelle kehitetyn SSARR-mallin soveltuvuuden tarkempaan selvittämiseen. Mallin testaamiseen käytettiin Siuntionjoen vesistön yläosalta kerättyä hydrologista aineistoa. Kohdealueen pinta-ala on 88 km² ja järvisyys 12,6%.

SSARR-mallia kalibroitaessa ja testattaessa tarvitaan lähtötietoina päivittäiset sadanta-, lämpötila- ja virtaamarvot. Mallissa on 13 kalibroitavaa parametria. Sadanta jaetaan kolmeen valuntakomponenttiin, joiden ajoitusta

Taulukko 2. Hyvyyskriteereiden arvot kalibrointijaksolla.

Hyvyyskriteeri	Arvo
Normeerattu hyvyyskriteeri (R^2)	0,95
Keskiarvosta poikkeamiseen summaviivan hyvyysluku (R)	0,90
Huippujen korrelaatiokerroin	0,99
Keskiarvon suhteellinen virhe	2,5%
Keskihajonnan suhteellinen virhe	3,5%
Keskiarvosta poikkeamisen summaviivan vaihteluvälin suhteellinen virhe	7,8%
Riskitaso (merkkitesti)	10%

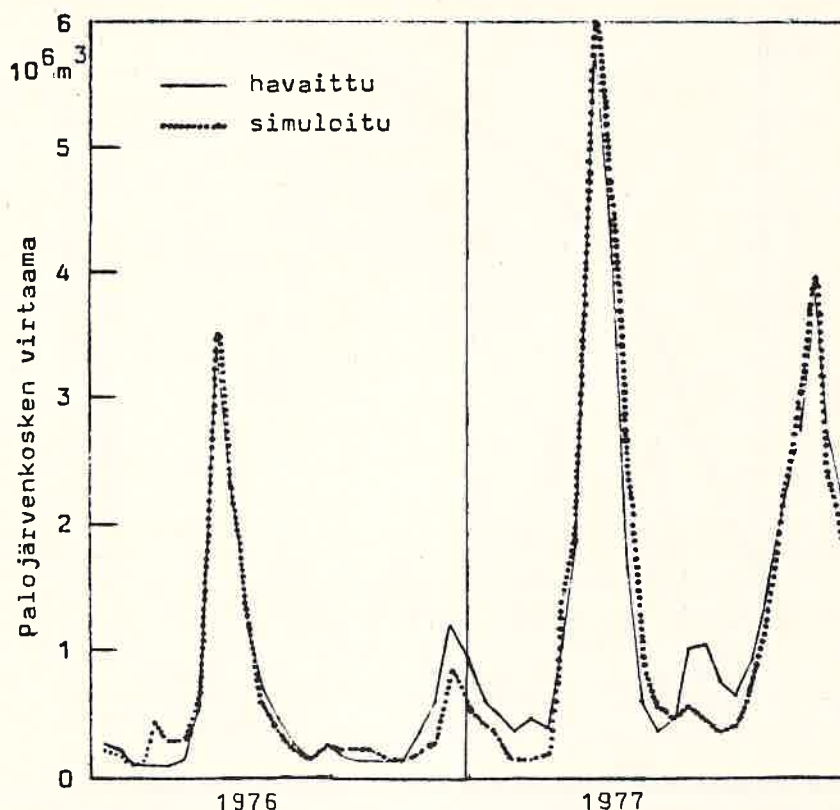
säädellään hypoteettisten altainen lukumäärän ja viipymän avulla. Haihduntaindeksi voidaan syöttää malliin joko kuukausikeskiarvoina tai päivittäisinä arvoina (esim. Class A-haihdunta). Sulannan laskemisessa käytetään astepäivätekijää. Lumipeite "sulataan" joko pienentämällä vesiarvoa tai lumipeitteistä osaa valuma-alueesta. Järvialtainen käsittelymahdollisuudet ovat erittäin monipuoliset.

Malli kalibroitiin jakson 9/1972...12/1974 arvoja käyttäen. Valunnan ja maankosteusindeksin välinen yhteys on esitetty kuvassa 4 (käyrä 3). Välittömän valunnan jako käy ilmi kuvasta 9 ja pohjavedeksi suotautuvan vesimäärän riippuvuus BII-indeksistä kuvasta 10. TSBII:lle saatiin arvoksi 180 h, joka selvästi on suurempi kuin

USA:ssa on normaalisti saatu. Valunnan ajoitus on saatu lähimmäksi mitattua, kun valuntakomponentteja on kuljetettu neljän altaan kautta viipymien ollessa 9 h, 25 h ja 130 h.

Sulantaa laskettaessa sulantaparametrin R arvoksi saatiin aktiivisena sulanta-aikana 0.36 cm/°Cd ja keskitälvellä 0.18 cm/°Cd. Rajalämpötilan optimiarvoksi saatiin 0.0°C eli sulantaa tapahtuu, jos lämpötila on positiivinen. Sateen olomuodon ratkaisevaksi kriittiseksi lämpötilaksi saatiin 1.1°C. Lumipeitettä "sulatettiin" molemmilla menetelmillä. Tuloksissa ei ollut oleellista eroa, mutta lumen vesiarvon pienentämiseen perustuva menetelmä havaittiin käyttökelpoisemmaksi.

Kalibrointi onnistui hyvin (kuva 13, taulukko 2) lukuunottamatta alivirta-



Kuva 14. Palojärvenkosken havaittu ja simuloitu virtaama testijaksolla.

Taulukko 3. Hyvyysskriteereiden arvot testijaksolla.

Hyvyysskriteeri	Arvo
Normeerattu hyvyysskriteeri (R^2)	0,93
Keskiarvosta poikkeamisen summaviivan hyvyyssluku (R)	0,96
Huippujen korrelaatiokerroin	0,97
Keskiarvon suhteellinen virhe	3,0%
Keskihajonnan suhteellinen virhe	8,6%
Keskiarvosta poikkeamisen summaviivan vaihteluvälin suhteellinen virhe	-4,0%
Riskitaso (merkkitesti)	yli 10%

makausia, jossa virheelliset haihdunta-arvot aiheuttivat systemaattisen virheen.

Testaus käsitti vuodet 1976 ja 1977. Kuvan 14 ja taulukon 3 perusteella on tehtävissä johtopäätös, että testijaksolla mitatut ja lasketut virtaamat vastasivat toisiaan käytännöllisesti katsoen yhtä hyvin kuin kalibrointijaksolla. Tämä osoittaa kalibroinnin onnistuneen.

KÄYTETYT LÄHTEET

- Aitken, A. P. 1973. Assessing systematic errors in rainfallrunoff models. *Journal of hydrology*, Vol. 20, no. 2, s. 121—137.
- Cawood, P. B. & Thunvik, R. & Nilsson, L. Y. 1971. Hydrological modelling. An approach to digital simulation. IHD-reports, Sweden.
- Halenius, L. 1979. Hydrologiset selvitykset vesistösuunnittelussa. Diplomityö. TKK, s. 19—120.
- Lemmelä, R. & Kuusisto, E. 1974. Lumen sulannasta ja haihdunnasta. *Rakennustekniikka* n:o 1, s. 59—63.
- Nash, J. E. & Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I-A discussion of principles. *Journal of hydrology*, Vol 38, no. 1/2, s. 59—71.
- Rockwood, D. M. 1977. A review of operational experience with the SSARR model. *Julkaisematon*, 5 s.
- Solantie, R. 1973. Evaporation from the lakes in Finland. *Proceedings of Helsinki Symposium*, July 1973. IAHS Publication no. 109, s. 211—219.
- USCE, 1975. SSARR model: program description and user manual. North Pacific Division Portland, Oregon, 188 s.

KANSAINVÄLINEN VESIKOKOUS

Kuten Vesitalouden numerossa 5/1979 kerrottiin, järjestetään Suomessa Espoon Hana-saaressa 23—26.6.1980 kansainvälinen vesialan symposiumi, jossa käsitellään ihmistoinninan vaikutuksia vesien määrään ja laatuun.

Kokoukseen on ilmoittautunut lähes 150 osanottajaa noin 45 maasta ja kokouksen aikana pidetään noin 70 esitelmää.

Kokouskielenä on englanti ja symposiumiin osallistumisesta ei peritä osanottomaksua.

Kokoukseen voi vielä osallistua ilmoittautumalla os. Hydrologian toimisto, PL 436, 00101 Helsinki 10, tai puh. (90) 171 922 Marjamaa, Seuna tai Lemmelä.