

Pentti Kaitera

Järvenlasku- ja joenperkaushankkeiden suunnittelua varten suoritettavasta hydrometrisestä tutkimuksesta

Teknillinen Aikakauslehti, N:o 5-6, 1934, 9 s.

© Tekniikan Akateemiset TEK

PENTTI KAITERA

**JÄRVENLASKU- JA
JOENPERKAUSHANKKEIDEN SUUNNITTELUA
VARTEN SUORITETTAVASTA HYDROMETRISESTÄ
TUTKIMUKSESTA**



JÄRVENLASKU- JA JOENPERKAUSHANKKEIDEN SUUNNITTELUA VARTEN SUORITETTAVASTA HYDROMETRISESTÄ TUTKIMUKSESTA.



Ins.
Pentti Kaitera.

Kun käytännössä lisääntyneen kuivatustoiminnan johdosta yhä runsaammin esiintyy sellaisia järvenlasku- ja joenperkaushankkeita, joissa voimassaolevaa vesioikeuslakia koskevan asetuksen mukaisesti on »toimitettava perusteellisempi hydrometrinen tutkimus», lienee paikallaan käsitellä niitä näkökohtia, joita maankuivatuksen kannalta on vesistön hydrologiaa selvitettyä otettava huomioon. Aineen laajuuden vuoksi on tässä mahdollista käsitellä vain muutamia näistä seikoista.

Maankuivatuksen kannalta on ensi sijassa kiinnitettävä huomio vesistön vedenkorkeuksiin. Virtaavien vesimäärien ja vesiväylän vedenjohtokyvyn selvittäminen on tärkeää sen johdosta, että niiden avulla arvioidaan vedenkorkeuksien asettuminen perkauksen jälkeen. Vesistön vedenkorkeudet määräävät vesivahingon suuruuden rantamailla ja tämä vedenkorkeuksien ja vesivahingon keskinäinen riippuvaisuus liittyy hydrometriseen tutkimukseen niin kiinteästi niiden asioiden selvittämiseen, joista vesivahingon suuruus riippuu, että esitettävässä hydrometrisessä tutkimuksessa noudatettavia periaatteita ei voida välttää vesivahingon suuruuteen vaikuttavien tekijöiden samanaikaista käsittelyä.

Vedenkorkeusvaihteluista ja rantamaiden korkeusasemasta riippuen katsotaan vesivahingon johtuvan joko korkeasta pohjavedestä tai tulvista. Edellisessä tapauksessa vahingon suuruuden määrää keskimääräisten vedenkorkeuksien sallima kuivatussyvyys. Jälkimmäisessä tapauksessa vahinko on riippuvainen tulvien lukuisuudesta ja kestävyyydestä sekä tulvimisajasta. Usein esiintyvät molemmat mainitut vesivahingot yhdessä niin, että on havaittavissa kaikenlaisia väliasteita siirryttäessä puhtaasti tulvavahinkotapauksista sellaisiin, joissa pääasiassa korkea pohjavesi määrää vesivahingon suuruuden. Suurehkoissa vesistöissä ovat useimmiten tulvakorkeudet vesivahinkoa määräävinä ja perkauksen suuruuden mitoittaminen tapahtuu tulvamäärien mukaan. Tämän johdosta kiinnitetään tässä huomio pääasiassa sellaisiin tapauksiin, joissa tulvien poistaminen on kysymyksessä.

Eri vuosien tulvakorkeudet eroavat suurehkoissa vesistöissä usein sangen paljon toisistaan. Tämä aiheuttaa sen, että vesivahinko

eri vuosina voi olla hyvin erilainen. Vesivahingon suuruutta määrättäessä sekä perkauksen vaikutuksia selvitettyä on sen vuoksi pyrittävä pitkien ajanjaksojen keskiarvoihin. Riittävän suuren varmuuden saavuttaminen näitä arvioitaessa asettaa vesistöissä suoritettavien havaintojen kestävyysaikaan nähden vaatimuksia. Käytännössä joudutaan meillä kuitenkin usein havaintokauden pituudessa tinkimään, minkä vuoksi vesistön hydrologian selvittelyssä on suora-naisten havaintojen ohella turvaututtava erilaisiin arviomenetelmiin. Tohtori H. Renqvist¹⁾ on vertaamalla Saimaan, Kemijoen ja Kyröjoen vedenkorkeuksien vuosikeskiarvoja kauden 1912—1931 keskiarvoihin osoittanut, että vesistön laadusta, etenkin sen järvisyydestä riippuu, kuinka pitkä havaintokausi on valittava, jotta keskivedenkorkeuksissa tehty keskivirhe tulisi samaksi eri vesistöissä. Tulvista puheenollen tämä koskee keskitulvaa. Hydrografisen toimiston erittäin auliisti käytettäväkseni antamaan aineistoon nojautuen olen seuraavassa (taulukko 1) tri Renqvistin menetelmää käyttäen laskenut eräissä vesistöissä kauden 1912—1931 havainnoista, kuinka suuri keskivirhe syntyy, kun keskitulva arvioidaan eri monien peräkkäisten havaintovuosien tulvien nojalla. Tulvakorkeuksien asemasta olen tässä käyttänyt tulvamääriä, jotta vesiväylän paikallisten ominaisuuksien vaikutus saadaan poistettua, sekä absoluuttisten arvojen sijasta suhteellisia arvoja eri alueiden keskinäisen vertailun helpottamiseksi.

Kuten taulukosta käy ilmi, on suhteellisen keskivirheen pienentyminen havaintokauden pidentessä järvirikkaissa vesistöissä hitaampaa kuin järviköyhissä vesistöissä. Taulukko osoittaa myös, että kolmen tai neljän ensimmäisen vuoden aikana keskivirheen pienentyminen tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin seuraavien vuosien aikana. Hydrometristä tutkimusta järjestettäessä on tämä seikka käytännön kannalta merkityksellinen.

Tulvamäärien ja tulvakorkeuksien vuotuisien vaihteluiden suuruudesta johtuu, että maankuivatuksen kannalta ei riitä pelkkä selvitys keskitulvasta, vaan tulee tuntea myös tulvavaihteluiden suuruus. Erikoisesti kysymys suurista tulvista ja siitä, kuinka usein ne esiintyvät, on tärkeä. M. m. hyötyalue on rajoitettava mikäli mahdollista suurimman tulvan

¹⁾ Henrik Renqvist, Sadealueen suuruuden vaikutuksesta tulvamäärään, Teknillinen Aikakauslehti 1933, N:o 1.

Taulukko I. Suhteellisen keskivirheen suuruus keskitulvamääriä arvioitaessa havaintokauden pidentessä.

Alue, mittauspaikka	Sadealue		Suhteellinen keskivirhe %:na keskitulvamäärän arviossa, kun havaintokauden pituus on									
	km ²	järvi-%	1 v	2 v	3 v	4 v	5 v	6 v	7 v	8 v	9 v	10 v
Etelärannikko												
Karjaanjoki, Karjaa	2000	12	27	16	12	11	9	8	6	6	5	5
Vantaanjoki, Oulunkylä	1600	2	25	18	13	9	6	6	5	4	3	3
Kokemäenjoki												
Uittamonjoki, Leppäkoski	1030	4	26	13	8	6	6	5	3	3	3	3
Isojoki, Oulukoski	920	12	30	22	19	16	15	13	12	11	10	9
Hauhon reitti, Puutikkalan virta	840	19	25	20	17	16	16	15	14	13	13	11
Jämijärvi, Salava	360	3	36	24	20	17	13	12	12	11	10	9
Pääskylänjoki, Joenpolven silta	240	17	33	26	19	15	15	14	13	12	11	11

mukaan ja keskitulvan mukaan ainoastaan silloin, kun suurimmasta tulvasta ei ole saatavissa riittävää selvitystä. Tulvista ovat meillä kevättulvat tärkeimmät perkauksen suuruutta määrittäessä ja niiden sattumisajasta maataloudelliseen muokkaus- ja kasvu-kauteen verrattuna johtuu, että tulvien aiheuttama haitta on vesistön laadusta riippuvainen. Tulva-aikaan ja haitallisten vedenkorkeuksien kestävyys on sen johdosta hydrometrisessä tutkimuksessa kiinnitettävä erikoista huomiota. Kulttuuritekniillisessä kirjallisuudessa on tulvavahinkoa käsitelty vain sangen vähän, eikä ole saatavissa lainkaan sellaisia suoranaisiin havaintoihin nojautuvia tutkimuksia, jotka selvittäisivät vesistön laadun vaikutusta tulvavahingon suuruuteen. Korkean pohjaveden aiheuttama vahinkoa on selvitelty paljon enemmän sekä käytännön kokemukseen perustuen että erilaisten kokeiden avulla. Tulvavahingon suuruutta erilaisissa vesistöissä olisi sen johdosta perkaushankkeiden yhteydessä erikokoisesti tutkittava.

Aikaisempi käytäntö tulvavahinkoarvioissa on melkein kaavamaisesti lähtenyt siitä, että peltoviljelystä voidaan tulva-alueilla harjoittaa likimäärin keskitulvan korkeudelle. Kun keskitulvaraja vesistöissämme yleensä osoittaa sadetulvien ylärajaa, on se maankuivatuksen kannalta jo tämän vuoksi erikokoisesti huomioon otettava. Mutta esim. pellon ja niityn raja voi eräissä tapauksissa ulottua huomattavasti alle keskitulvan korkeuden ja toisissa taas jäädä paljon sen yläpuolelle. Jotta eri vesistöjen tulva-alueilla voitaisiin verrata keskenään samassa kuivatustarpeessa olevien maitten korkeusasemaa, on tulvien suuruutta selvitettäessä päästävä tarkempiin määrittelyihin kuin mitä nyt käytetyt »keskitulva» ja »suuri tulva» ovat. Voisimme ajatella, että tulvan suuruus ilmoitetaan toden-

näköisyytenä kuinka usein on odotettavissa, että vuoden suurin tulva ylittää kysymyksessä olevan tulvan tai on sen suuruinen. Suurena tulvana voisimme pitää esim. tulvaa, joka sattuu kerran kymmenessä vuodessa, jonka todennäköisyys on siis 1:10. Keskitulvan todennäköisyys on likimäärin 1:2. Todennäköisyyskäsitteen ottaminen tulvavaihteluiden suuruutta määrittelemään ei ole suinkaan uusi. Viime aikoina on hydrologiassa ruvettu todennäköisyyslaskentaa käyttämään yhä enemmän m. m. vuoden kokonaispurkautumismäärien vaihteluita ja niiden ääriarvoja selvitettäessä; ja tätä tietä käyttäen lienee parhaiten ratkaistavissa myös kysymys erilaisten vesistöjen suurimmista mahdollisista sekuntisista purkautumismääristä.

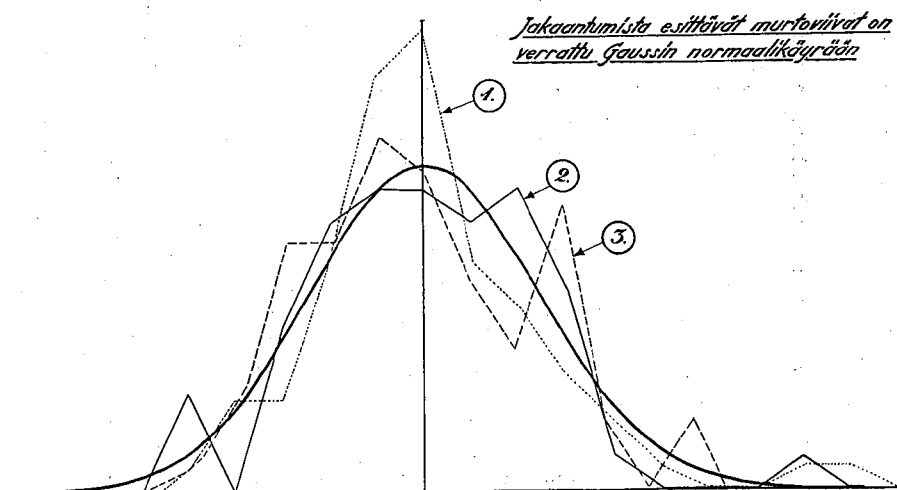
Seuraavassa kuviossa (kuva 1) olen Hydrografisen toimiston havaintoaineistoa hyväksi käyttäen verrannut eräiden vesistöjemme vuoden suurimpien tulvien jakaantumista osoittavia murtoviivoja Gaussin normaalikäyrään.

Kuten piirroksesta näkyy, on jokaisessa vesistöissä jakaantumista esittävien murtoviivojen kulku normaalikäyrää muistuttava. Havaintosarjojen tulisi olla pitempiä, jotta vältyttäisiin murtoviivojen jyrkistä taitteista. Kuitenkin jo tästä käy ilmi jakaantumisen epäsymmetrisyys ja murtoviivojen venyminen oikealle. Samaan suuntaan käyvän epäsymmetrisyyden ovat todenneet vuoden kokonaispurkautumismäärien vaihteluissa m. m. amerikkalainen hydrologi H. A. Foster ²⁾ sekä venäläinen D. L. Sokolowsky ³⁾. He ovat näitä vaihteluita selvittäessään käyttäneet Pearsonin kaavatyyppiä:

²⁾ H. A. Foster, Theoretical Frequency Curves and their Application to Engineering Problems. Transactions, Am. Soc. C. E., Vol. LXXXVII (1924).

³⁾ D. L. Sokolowsky, Theoretical Frequency Curves and their Application to the Determining of probable yearly River Runoff Variations in the European Part of U. S. S. R. Leningrad 1930.

Vuoden suurimpien purkautumismäärien jakaantuminen eräissä vesistöissä.



1. Vuoksi	Imatra	vv. 1847—1932.	Sadealue 60200 km ² , järviä 21 %.
2. Vanajaveden reitti,	Kuokkalankoski	vv. 1875—1933	" 8700 " " 14 "
3. Iisalmen reitti,	Viannonkoski	vv. 1875—1933	" 5600 " " 8 "

Kuva 1.

$$(1) y = \int y_0 e^{-\gamma x} \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{\gamma a} dx, \text{ jossa}$$

y = jakaantumiskäyrän ordinaatta

x = abscissa

y_0 = maksimiordinaatta

$\gamma = \frac{1}{d}$, jossa d = painopiste- ja maksimiordinaatan väli

a = maksimiordinaatan ja jakaantumiskäyrän vasemman päätepisteen väli (kuva 2).

Määräämällä havainnoista suhteellinen hajonta (C_v) ja epäsymmetrisyyden mitta C_s kaavasta

$$(2) C_s = \frac{\sum (K - 1)^3}{(N - 1) C_v^3}, \text{ jossa}$$

K = vuoden kokonaispurkautumismäärän suhde havaintokauden keskiarvoon

N = havaintovuosien luku,

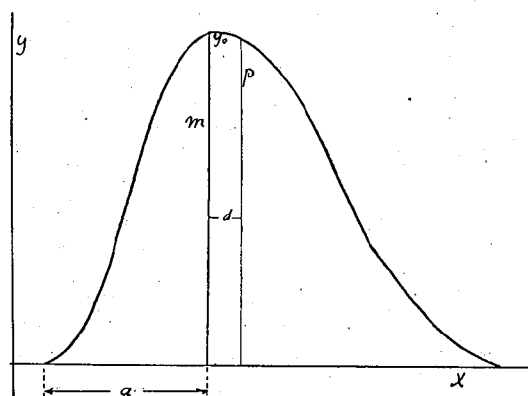
sekä käyttämällä apuna Fosterin laskemaa taulukkoa voidaan piirtää matemaattinen todennäköisyyskäyrä.

Sokolowsky on osoittanut, että jos asetetaan $C_s = 2 C_v$, niin jo 10 vuoden havaintojen nojalla voidaan hyvin suurella tarkkuudella arvioida purkautumismäärien vaihtelet.

Jos tätä menetelmää sovelletaan vuoden suurimpiin sekuntisiin purkautumismääriin, saadaan Vanajaveden reitin Kuokkalankosken purkautumistietojen mukaan seuraava kuvio 3.

Murtoviivat kuviossa esittävät havaintojen nojalla saatuja arvoja kausilta 1875—1932 ja 1911—1930. Kuten näkyy, on molempien murtoviivojen kulku hyvin yhdenmukainen. Lisäksi on kuvioon piirretty lasketut käyrät.

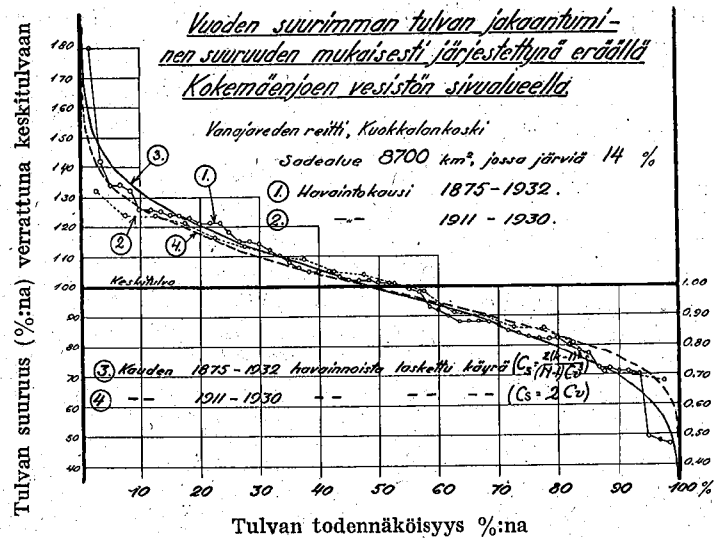
Epäsymmetrinen jakaantuminen.



m = maksimiordinaatta
 p = painopisteordinaatta

Kuva 2.

Käyrä 3 on laskettu kauden 1875—1932 havainnoista määräämällä C_s kaavan (2) nojalla. Käyrä 4 taas on laskettu kauden 1911—1930 havainnoista, kun C_s on otettu $= 2 C_v$. Kuvio osoittaa, mitä mahdollisuuksia tätä menetelmää käyttäen on arvostella eri suuruisen tulvien todennäköisyyttä. Niinpä vuoden 1899 tulva kysymyksessä olevassa vesistössä oli niin harvinainen, että jos olosuhteet pysyvät muuttumattomina, on sellainen odotettavissa noin kerran 500 vuodessa. Kaikissa vesistöissämme ei mainittu tulva-vuosi todennäköisyyden mukaan arvosteltuna ollut niin poikkeuksellinen kuin tässä tapauksessa.



Kuva 3.

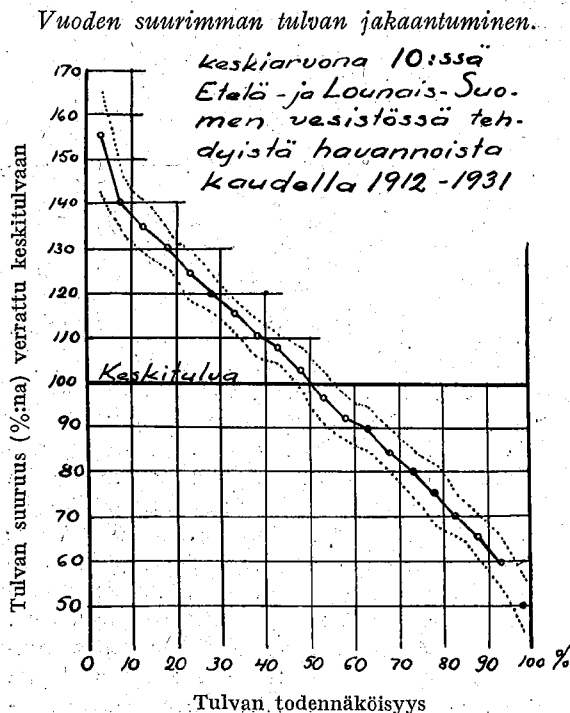
Asian selventämiseksi olen vielä määrännyt samanlaisen vuoden suurimpien sekuntisten purkautumismäärien todennäköisyyttä osoittavan käyrän keskiarvona kymmenen Lounais- ja Etelä-Suomessa olevan vesistön havainnoista kaudelta 1912-1931 (kuva 4). Sadealueiden suuruus vaihteli 240-2000 km² sekä järvisyys 2-19 %.

Piirroksen on myös merkitty ne keskivirherajat, minkä verran eri vesistöjen arvot poikkeaa-

vat aineiston keskiarvosta. Kuten näkyy, ovat nämä keskivirherajat sangen lähellä keskiarvoa huolimatta sadealueiden suuruuden ja järvisyyden vaihteluista. Lieneekin mahdollista käytäntöä silmälläpitäen johtaa riittävän suurella tarkkuudella ne yleiset lait, joiden mukaan erilaisissa vesistöissä tulvan suuruudesta voidaan arvostella sen todennäköisyys ja päinvastoin. Alueen maantieteellisellä asemalla on tähän tulvavaihteluiden suuruuteen myös vaikutusta.

Kun nämä yleiset lait on määrätty, tulee perkaushankkeen yhteydessä suoritettavassa hydrometrisessä tutkimuksessa vesimäärien arviointi keskittymään pääasiassa keskitulvamäärän arviointiin, jonka perusteella sitten voidaan arvostella sekä havaittujen tulvien todennäköisyydet, että jotain todennäköisyyttä vastaavien tulvien suuruudet.

Edellä esitettiin, miten suurella tarkkuudella keskitulvan suuruus on arvioitavissa eri pitkien havaintokausien nojalla. Tätä tarkkuutta voidaan lisätä vertailemalla havaintokaudella vallinneita ilmastollisia olosuhteita alueen normaalsiin olosuhteisiin sekä tekemällä näiden nojalla korjauksia havaintutuloksiin. Näitä korjauksia voidaan tehdä paitsi suorastaan ilmastollisten olosuhteiden nojalla myös käyttämällä apuna läheisten, purkautumissuhteiltaan tutkittavaa vesistöä muistuttavien vesistöjen pitempiaikaisia havaintoja, missä sellaisia on saatavissa. Näin on tri Renqvist tehnyt tutkiessaan Lapuanjoessa suoritettujen perkausten vaikutusta vesimäärävaihteluihin joen alajuoksun varrella⁴⁾. Ilmastollisten olosuhteiden vaiku-



Kuva 4.

⁴⁾ Hydrografisen toimiston asiassa 1. 9. 1932 antama lausunto.

tuksen poistamiseksi on hän verrannut Lapuanjoessa tehtyjä purkautumishavaintoja ennen ja jälkeen perkauksen Kyrönjoessa, Lestijoen ja Kalajoessa samoina aikoina tehtyihin havaintoihin ja siten saanut näkyville perkauksen aiheuttaman lisäyksen tulvamääriin.

Keskitulvamäärä on arvioitu sadealueen perusteella, jos mitään mittauksia ei ole tehty. Meillä on tällaisessa arvioinnissa pienillä sadealueilla yleensä nojaututtu prof. I. A. Hallakorven⁵⁾ esittämiin käyriin tulvakertoimen suuruudesta sadealueen suuruuden funktiona. Suuremmilla sadealueilla on käytetty aikaisemmin pohjana prof. A. Juseliuksen⁶⁾ kaavaa suurimman tulvan tulvakertoimen arvioimiseksi järvi-prosentin perusteella, sekä viime aikoina tri Renqvistin¹⁾ esittämiä käyriä, joissa keskitulvakerroin on esitetty järvisyyden ja sadealueen suuruuden funktiona. Tri Renqvist on lisäksi hahmoittelemassaan kaavatyyppissä yhtenä tulvayksikköön vaikuttavana tekijänä esittänyt lumipeitteen vesi-arvon vuorokautisen vähenemisen keskimaksimin k.o. alueella. Edellä olevista tri Renqvistin käyrät perustuvat siksi suureen havaintoaineistoon, että sen nojalla voitaneen arvostella sitä tarkkuutta, millä keskitulvakerroin on arvioitavissa sadealueen suuruuden ja järvisyyden perusteella. Jos tästä havaintoaineistosta lasketaan se suhteellinen virhe, minkä verran käyristä saadut arvot kussakin tapauksessa poikkeavat 15 vuoden havaitusta keskiarvosta, saadaan koko havaintoaineiston suhteelliseksi keskivirheeksi 26 %. Tulosta voidaan parantaa sillä, että esimerkiksi linjan Vaasa—Jyväskylä—Sortavala eteläpuolella olevilla alueilla käyristä saatuja arvoja pienennetään 15 %:lla sekä Oulujoen ja sen pohjoispuolella olevien vesistöjen arvoihin lisätään 10 %. Tällöin tulee koko havaintoaineiston keskivirheeksi 21 %. Muiden purkautumismääriin vaikuttavien tekijöiden, sadealueen muodon, viljelystilän, maanlaadun, pinnanmuodostuksen j. n. e. vaikutus on suuremmilla sadealueilla usein niin vaikeasti selvitettävissä, että sellaiseen ei kannata ryhtyä, kun sen kaitta tuskin saadaan varmuutta suuremmasta tarkkuudesta. Pienemmillä alueilla näiden tekijöiden vaikutus sensijaan voi olla huomattava, mutta tutkimusten vähäisyyden vuoksi niistä ei ole riittävää tietoa. Keskivirhe tulvayksikön arvioimisessa lienee pienillä sadealueilla suurempi kuin edellä esitetty.

⁵⁾ I. A. Hallakorpi, Maan kuivatus, Porvoo 1917.

⁶⁾ Axel Juselius, Bestämningar af aflödeskoefficienter i finska vattendrag, Tekniska Föreningens i Finland Förhandlingar, 1905.

Kun verrataan sitä virhettä, mikä keskitulvan arviossa sadealueen suuruuden nojalla on odotettavissa, virheeseen, joka syntyy, kun keskitulva arvioidaan yhden vuoden tulvamittausten perusteella, huomataan, että molemmissa tehty virhe on samaa suuruusluokkaa. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, ettei yhden vuoden havainnoilla olisi merkitystä suunnitelmaa tehtäessä.

Edelläesitetyn mukaisesti on havaintokauden todennäköisen suurimman tulvan suuruus havaintokauden pituuden funktio. Hyötyraja lähestyttäessä vesivahingon suuruus jää lopulta riippumaan pääasiassa suurimmasta tulvasta. Mutta kun havaintokausi pitenee, niin suurimman tulvan vahinko jaettuna havaintokauden kutakin vuotta kohden pienenee tullen lopulta häviävän pieneksi. Kysymys, kuinka pitkän kauden suurin tulva maankuivatukseen kannalta vielä on otettava huomioon, tulee näinollen riippumaan siitä, kuinka suuri yhden vuoden tulvavahinko on. Sillä mitä suurempi tämä vahinko on, sen pitemmälle kaudelle se on jaettava, ennenkuin vuotta kohden tuleva vahinko laskee alle sen rajan, jolloin sen vaikutusta maan arvoon ei enää voida ottaa huomioon. Kun vuotta kohden tuleva vahinko on vesistöä riippuva, on myös suurin huomioonotettava tulva eri vesistöissä arvioitava eri tavoin.

Vesistön tulva-ajasta johtuvan vaikutuksen huomioonottaminen hyötyraja määrättäessä on yleensä tehty siten, että suurimman tulvan kuivareuna on valittu eri suureksi vesistöä riippuen. Tällainen menettely yksinkertaistuttaa suunnittelua ja on puollettavissa silloin, kun tulvien arviointi on epävarmaa tai tulvavaihtelut ovat pienet.

Hydrologiassa yleinen menetelmä määrätä vedenkorkeuksien pysyväisyyskäyrät korkeusvaihteluiden kuvaamiseksi pitemmällä ajanjaksoilla ei tuo esille sitä, kuinka useana vuotena tulva ylittää määrätyn korkeustason, mikä selvitys maatalouden luonteen vuoksi on erikoisen tärkeä tulvien haittaa arvosteltaessa. Senjohdosta haettaessa vedenkorkeusvaihteluille sellaista esitystapaa, jonka avulla parhaiten voidaan arvostella vesivahingon suuruutta tulva-alueen jossain korkeusvyöhykkeessä, tulee siitä käydä ilmi, kuinka useana vuotena tulva on ylittänyt tämän korkeustason. Vyöhykkeen korkeusaseman mittana voidaan tällöin käyttää tulvan todennäköisyyttä ilmaisevaa lukua. Vuoden suurimpien tulvien vaihteluiden ohella voidaan esittää esim. kevät- ja syystulvien vaihtelut erikseen.

Käytännössä tuottaa usein vaikeutta erilaisten tulvien korkeuksien määrääminen koko perattavan jokimatkan pituudelta. Määrä-

tyissä kohdissa tehtävien päivittäisten vedenkorkeushavaintojen ohella on tulvakorkeudet välikohdissa usein merkitty paaluttamalla tai muistitietojen nojalla. Muistitietoihin perustuvat tulvakorkeudet voivat kuitenkin olla sangen epämääräisiä. Esimerkkinä mainittakoon Porvoonjoen tutkimuksen yhteydessä tekemäni havainnot. Vuonna 1929 jokea tutkittaessa merkittiin muistitietojen nojalla keskitulvan korkeus. Kun keväällä 1931 tulvan aikana tarkistin näitä ilmoitusten nojalla saatuja tietoja, poikkesivat ne havaituista seuraavasti:

paalulla 76 oli vuoden 1931 tulva 0.80 m korkeammalla ilmoitettuja tulvakorkeuksia,

paalulla 165 ja 249 oli vastaava korkeuseroitus 0.50 m,

paalulla 295 oli vuoden 1931 tulva ilmoitettuja korkeuksia 0.10 m. alempana.

Paaluväli tutkimuksessa oli 100 m. Vuoden 1931 kevättulva oli Etelä-Suomessa yleensä keskimääräistä suurempi, m. m. Vantaanjoessa Oulunkylän rautatiesillan luona se oli suurin kaudella 1911—1933 sattuneista tulvista. Ilmoitettuja tulvakorkeuksia Porvoonjoessa voidaan pitää useampien läheisten merkintöjen keskiarvona ja tarkoittavat ne keskitulvaa. Kuten näkyy, ovat eroavaisuudet eri osissa jokea hyvin huomattavat. Tällaisia eroavaisuuksia ilmoituksissa voivat aiheuttaa jo eri

vuosien tulvavaihtelut ilman, että ilmoitettujen tulvakorkeuksien tarvitsee olla virheellisiä.

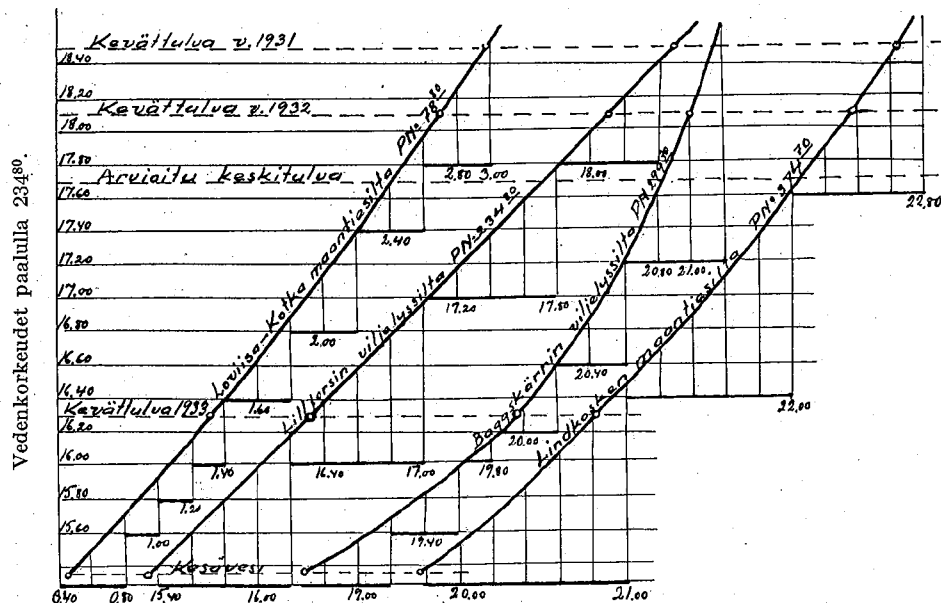
Virheiden poistamiseksi sekä tulvavaihteluiden selvittämiseksi vesistön eri osissa voidaan käyttää hyväksi vedenkorkeuksien vertailukäyriä määräämällä asteikkohavaintojen lisäksi koko tutkittavan jokimatkan pituudelta 3—5 vastaavaa vedenkorkeutta, jolloin asteikon vedenkorkeudet ordinaattana sekä vastaavat vedenkorkeudet eri kohdissa jokea abskissana voidaan piirtää vertailukäyriä. Esimerkkinä esitän eräitä Taasianjoen perkaussuunnitelman yhteydessä piirrettyjä vertailukäyriä.

Vastaavina vedenkorkeuksina tässä on käytetty vuosien 1931—1933 kevättulvien korkeuksia sekä tutkimuksen aikuisia kesävedenkorkeuksia. Käyristä käy m. m. ilmi, miten vuoden 1931 kevättulvan ja arvioitun keskitulvan korkeusero vaihtelee joen eri kohdilla. Tämä ero on paalulla 78.⁸⁰ käyrien mukaan 0.55 m, paalulla 234.⁸⁰ 0.80 m, paalulla 299.⁸⁰ 0.30 m ja paalulla 374.⁷⁰ 0.60 m.

Vastaavia vedenkorkeuksia määrättäessä ja vertailukäyriä piirrettäessä on noudatettava niitä periaatteita, joita vertailukäyrien piirtämisessä yleensä käytetään. M. m. tulva-aallon eteneminen on tulvakorkeuksia käytettäessä otettava huomioon. Tämä asettaa havaintoasteikkojen sijoittamiseen ja lukumäärään nähden tiettyjä vaatimuksia. Järvet

Vedenkorkeuksien vertailukäyriä Taasianjoessa.

Eri paalujen kohdalla vallinneet vedenkorkeudet verrattu paalun 234.⁸⁰ vedenkorkeuksiin.



Vedenkorkeudet paalulla 78.⁸⁰, 234.⁸⁰, 299.⁷⁰ ja 374.⁷⁰.

Kuva 5.

ja suurehkot lisäjoet sekä tulva-alueet ovat erikoisesti asiaan vaikuttavia.

Tiedot ennen perkausta vallinneista vedenkorkeuksista perustuvat siis suoranaisiin havaintoihin. Perkauksen jälkeiset olosuhteet on selvitetty laskelmilla.

Näissä laskelmissa ovat vedennopeutta ilmaisevat lausekkeet kahta kaavatyyppiä:

$$(3) \quad v = c \cdot \sqrt{RI} \text{ tai}$$

$$(4) \quad v = k \cdot R^{\mu} \cdot I^{\nu}, \text{ jossa}$$

v = poikkileikkauksen keskinopeus,

$R = \frac{F}{P}$ = hydraulinen säde eli suhde poikkipinnan ja märkäpiirin välillä,

I = putous,

c, k, μ ja ν = havaintojen kautta määrättyjä vakioita. Kauan aikaa on pidetty vakion c n määräämisessä Ganguillet & Kutterin esittämää lauseketta

$$c = \frac{\frac{1.00}{n} + 23 + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}},$$

jossa n = uoman laadusta riippuva hankauserroin, luotettavimpana ja parhaiten erilaisiin olosuhteisiin soveltuvana, mutta viime aikoina on tehty yhä painavampia huomautuksia tätä vastaan. Tämän vuoksi on johdettu uusia kaavoja vakiolle c . Meillä käytetään melkein yksinomaan Ganguillet & Kutterin vakiota. Tämän johdosta esitän eräitä näkökohtia vakiossa c esiintyvistä hankauserroimesta.

Kuten tunnettua, ei tämä hankauserroin ole muuttumaton edes samassa uomassa, vaan vaihtelee se eri vuodenaikoina m. m. kasvillisuudesta riippuen. Erikoisesti pienillä vesiväylillä tämä vaihtelu voi olla sangen huomattava. Mutta paitsi tätä eroavaisuutta, voi samassa uomassa vedenvirtaus korkean veden vallitessa tapahtua aivan toisten lakien mukaan kuin matalan veden aikana. Kun vielä otetaan huomioon, että toisessa vesistössä tai toisessa kohdassa vesistöä vastaavat vedenvirtaamissuhteet ovat taas tälle jokimatkalle ominaisia, voi hankauserroimen summittaminen arviointi johtaa hyvin todellisuudesta

poikkeavaan tulokseen. Eestissä toimitetuissa tutkimuksissa ⁷⁾ pienissä vesiväylissä, joissa vesimäärät ovat vaihdelleet 0.050—2.338 m³/sek, on Ganguillet & Kutterin hankauserroin n vaihdellut 0.024—0.072.

Eräiden vesimäärämittausten yhteydessä olen mitannut vedenpinnan putouksen hankauserroimen määräämistä varten. Käyttämällä Tolkmitt'in ⁸⁾ esittämää laskumenetelmää vedenvirtauksen ollessa epätasaista olen n :n arvoksi saanut (tapaukset 1—4, taulukko 2) seuraavat.

Tapaukset 5 ja 6 on laskettu kaavaa (3) käyttämällä. Kaikki mittaukset on tehty kevättulvan aikana, jolloin kasvillisuus ei ollut vielä estämässä veden kulkua. Muutoinkin kaikki havaintokohdat olivat verraten puhaita vesikasveja. Muista olosuhteista kussakin tapauksessa mainittakoon:

1. maanlaatu savea, uoma verraten suoraa, mutta poikkileikkaukset epäsäännöllisiä
2. n . 40 vuotta sitten perattu säännöllinen, kivinen koski
3. kuten edellinen
4. maanlaatu savea, uoma mutkittelevaa, mutta säännöllistä
5. n . 8 vuotta sitten perattu puro, maanlaatu savihietaa, uoma mutkittelevaa
6. kuten edellinen paitsi, että uoma aivan suora.

Edelläoleva riittänee osoittamaan, että uoman vedenjohtokyvyn arviointiin on kiinnitettävä erikoista huomiota. Tätä varten olisi hydrometrisessä tutkimuksessa vesimäärämittausten yhteydessä myös määrättävä vedenpinnan putous sopivilla matkoilla koko sillä jokiosalla, johon hankkeen vaikutus ulottuu. Nämä vedenkorkeusmääräykset eri vedenkorkeuksien aikana voidaan samalla käyttää hyväksi vertailukäyriä piirrettäessä.

Meillä Suomessa, kuten myös Ruotsissa, ei tällaisia vedenpinnan putouksen määräyk-

T a u l u k k o 2. Hankauserroimen n :n arvoja Ganguillet & Kutterin vakiossa.

N:o	Vesistö, pitäjä	Tutkitun matkan pituus m	Vedenpinnan putous		Mitattu vesi- määrä m ³ /sek.	n	Poikkileikkaus- välim. keskim. m
			m	I			
1	Taasianjoki, Lapinjärvi	1620	0.13	0.00008	18.40	0.033	100
2	” ”	82	0.13	0.00159	18.40	0.038	20
3	” ”	180	0.23	0.00128	18.05	0.038	20
4	” ”	1225	0.28	0.00023	15.75	0.030	50
5	Tuohinonoja, Kempele	260	0.296	0.00114	0.345	0.040	20
6	” ”	160	0.097	0.00061	0.345	0.025	20

⁷⁾ A. Wellner, Fließformeln und ihre Anwendung für Entwässerungsgräben, IV Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten, Leningrad, September 1933.

⁸⁾ G. Tolkmitt, Grundlagen der Wasserbaukunst, Berlin 1907.

siä vesimäärämittausten yhteydessä yleensä tehdä, mutta Eestissä, Latviassa, Liettuaissa ja Puolassa niitä tehdään. Latviassa⁹⁾ on määrätty, että sen matkan pituus, jolla putous mitataan, tulee olla 2—3 kertaa joen leveys. Puolassa tulee tämän matkan olla 3 kertaa leveys (vedenpinnan korkeus määrätään 2-kertaisen leveyden päästä mittauskohdan yläpuolelta ja 1-kertaisen sen alapuolelta). Eestissä on matka 350—550 m (viemäreissä 100—1000 m) ja putous vähintään 0.20 m. Joenperkaushankkeiden yhteydessä, jolloin uoman poikkileikkauksia otetaan 10—200 m:n välimatkoilla, voidaan sangen vähällä vaivalla tehdä riittävän tarkkoja vedenpinnan putouksen mittauksia, joilla on merkitystä paitsi tutkittavalle perkaushankkeelle myös kysymyksen yleisessä selvittelyssä.

Esimerkkinä vedenjohtokyvyn arvioinnissa tehdyn virheen vaikutuksesta vedenkorkeuksiin esitän Koskenkylän joessa tekemäni havainnot. Noin 15 vuotta sitten suoritettiin joen keskiosalla perkaus, joka vaikutti n. 12 km matkalla. Perkaussuunnitelmassa olleiden laskelmien sekä myöhemmin tehtyjen havaintojen mukaiset tulvakorkeudet erosivat toisistaan laskelmissa käytettyjä vesimääriä vastaavilla tulvilla siten, että peratun matkan alaosassa havaitut tulvakorkeudet olivat n. 0.20 m laskettuja matalammat, kun taas ne yläosassa olivat n. 0.20 m korkeammat.

Arvosteltaessa laskemalla saatavien vedenkorkeuksien tarkkuutta on huomattava, että vedenkorkeuteen vaikuttaa sekä vedenjohtokyvyn että vesimäärän arvioissa tehty virhe. Vedenkorkeutta voidaan pitää uutena satunnaisuutena, jonka keskivirhe on määrättävissä, kun tunnetaan tekijöiden vedenkorkeuksissa aiheuttamat keskivirheet erikseen.

Niihin virheisiin nähden, joita vedenjohtokyvyn arviointi aiheuttaa, voidaan sanoa, että suuremmissa uomissa ja vedensyvyyden lisääntyessä tulee vedenjohtokyvyn arvion olla tarkemman kuin pienemmissä, jotta virhe vedenkorkeuksissa olisi sama. Missä perkaus on niin täydellinen, että joen uoma koko pituudeltaan tulee säännölliseksi, siellä uoman vedenjohtokyvyn arviointi on varmempaa. Jos perkaus käsittää vain lyhyet koskikohdat pitkien suvantojen alapäässä, niin vedenjohtokyvyn arvioinnin tueksi on erikoisesti syytä toimittaa tarkkoja vedenpinnan putouksen määräyksiä tulvamäärämittausten yhteydessä, jotta uoman epäsäännöllisyyksien vaikutus voidaan ottaa huomioon. Tulva-alueilla, joissa

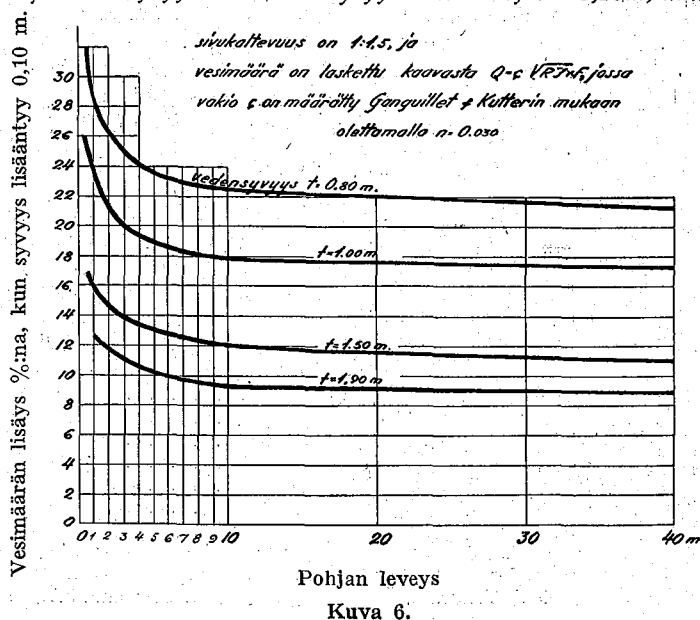
perkauksen jälkeenkin tulva leviää rantamaille, tulevat laskelmien epämääräisyyttä lisäämään vielä muut seikat.

Tulvamääräarvioissa tehdyn virheen vaikutus vedenkorkeuksiin myös on uomasta riippuvainen. Pienillä vedensyvyyksillä saa suhteellinen virhe vesimääräarviossa olla huomattavasti suurempi kuin suurilla, jotta vedenkorkeuksissa virhe tulisi samaksi. Tämän osoittamiseksi olen Ganguillet & Kutterin vakioille c laskettuja aputaulukoita hyväksi käyttäen määrännyt likimäärin, kuinka suuri suhteellinen virhe on eri vedensyvyyksillä ja pohjanleveyksillä, kun vedenkorkeus lisääntyy 0.10 m sivukaltevuuden ollessa 1:1.5 ja $n = 0.030$. Kuva 6 osoittaa virheen suuruuden %:na. Putouksen I:n vaikutus on vähäinen, mikä käy ilmi siitäkin, kun muodostetaan vesimäärän suhteellisen virheen lauseke $\frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_2} \cdot 100$. Kun lausekkeeseen sijoitetaan

$Q = v \cdot F$ ja v määrätään kaavan (3) avulla, voidaan suurempaa virhettä tekemättä I supistaa pois.

Kuten käyristä näkyy, on pohjanleveyden vaikutus kapeissa uomissa huomattavasti suurempi kuin leveissä. Pohjanleveyden tullessa 10 m suuremmaksi on sen vaikutus hyvin vähäinen. Kun pienillä vesiteillä sekä pohjanleveys että vedensyvyys ovat pienet, saa niillä tehdä huomattavasti suuremman suhteellisen virheen vesimääräarvioissa, ennenkuin syntyy sama virhe vedenkorkeuksissa kuin suurem-

Suhteellisen vesimäärän lisäys erilaisilla pohjanleveyksillä ja vedensyvyyksillä veden syvyyden lisääntyessä 0,10 m, kun



⁹⁾ Steponas Kolupaila, Arbeitsmethoden der Abflussmengenbestimmung und deren Vereinheitlichung, III Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten, Warszawa 1930.

millä vesiväylillä. Vedensyvyiden lisääntyessä tulee siis vesimääräarvioiden olla tarkempia. Samanlaisiin tuloksiin tullaan myös suotanaistoista havainnoista. Jos esim. vertaamme sellaisia Hydrografisen toimiston asteikkoja, joissa matalavesimäärä on pieni, niin että matalaveden ja keskitulvan korkeusero likimäärin vastaa edelläolevan piirroksen vedensyvyyttä keskitulvan aikana, saadaan seuraava taulukko:

T a u l u k k o 3.

Keskitulvamäärän suhteellinen lisäys vedensyvyyden lisääntyessä 0.10 m.

Asteikko, mittauskohta	TkW— MW	QTkW:n lisäys, kun ve- densyv. lisääntyy 0.10 m
Pitkävesi, Joenpolvensilta ..	0.60 m	18.7 %
Ouluvesi, Oulukoski	0.87 „	12.2 „
Juupajoki, Leppähampaan- koski	1.17 „	11.9 „
Loimijoki, Vesikoski	1.50 „	7.6 „
Vantaanjoki, Oulunkylä	1.80 „	6.7 „
Kalajoki, Tynkä	2.70 „	5.7 „

Maanparannuksen suuruutta tai tiluskuvioiden korkeusasemaa ei käytännössä ole mahdollista määrätä niin suurella tarkkuudella, että olisi perusteltua syytä asettaa sallittua virherajaa perkauksen jälkeisten vedenkorkeuksien arvioimisessa 0.10 m pienemmäksi. Kun vastainen tutkimus selvittää pienten vesistöjen purkautumissuhteet niin tarkasti kuin suuremmissa vesistöissä meillä jo on tehty, voidaan tulvamäärien arvioinnissa sadalueen suuruuden perusteella päästä tarkkuuteen, joka käytännön kannalta on riittävä. Suurehkoissa vesistöissä sensijaan on syytä

suorittaa »perusteellisempi hydrometrinen tutkimus». Yhtenä vuotena tehdyillä tulvamittauksilla on jo merkitystä, kun niiden yhteydessä samalla määrätään vedenpinnan korkeudet koko jokimatkan pituudelta ja kun vertailevia menetelmiä käyttäen voidaan arvioida sekä tulvan todennäköisyys että tulvamäärävaihteluiden suuruus. Mutta suotavaa olisi, että vedenkorkeushavaintoja voitaisiin suorittaa ainakin 3—4 vuotta. Erikoisen tärkeää hydrometrisessä tutkimuksessa on selvittää tulvaimääriä vastaavat vedenkorkeudet koko perattavan jokimatkan pituudelta ennen perkausta vallinneissa olosuhteissa, sillä vasta tämän jälkeen voidaan arvostella, kuinka suuren vedenkorkeuksien alennuksen perkaus aiheuttaa.

Pentti Kaitera.

HYDROMETRIC INVESTIGATION REQUIRED FOR LAKE DRAINING OR RIVER-CLEARING PLANS.

Water level variations should get particular consideration when planning watercourse clearing for land drainings. The magnitude of flood variations can be worked out by methods of statistical mathematics, as done by H. A. Foster and D. Sokolowsky for similar purposes. It would be very useful to deduce the general laws for estimating the flood magnitude from a known mean high. The error in estimating the mean high depends on the length of the observation period. This error can be reduced by comparative methods. When estimating on basis of the drainage basin area the average error for mean high is about 25 per cent using the Renqvist method.

The extent to which errors in estimating flood amounts and conductive capacities of water outlets influence the computing of water levels depends on the size of the water passage, especially its depth. For small basins the floods can be satisfactorily computed from the drainage basin area. For big basins the water amount estimates should be checked through measuring.

