



**Sven Hallinin tutkimussäätio
70 vuotta**

Pienten valuma-alueiden yli- ja alivirtaamat

Hanne Laine-Kaulio ja Pertti Vakkilainen

Pienet valuma-alueet

Tohtori Pekka Kokkonen esitti vuonna 1924 maataloushallitukselle maatalouden vesirakennustöiden suunnittelua palvelevan tutkimustoiminnan aloittamista. Esitys hyväksyttiin, ja Kokkonen johti maataloushallituksen vesistötutkimuksia vuosina 1928-31. Toiminta kohdistettiin 32 valuma-alueen virtaamahavaintojen järjestämiseen ja turvemaiden painumistutkimuksiin.

Vuonna 1932 DI Pentti Kaitera määrätti tutkimustoiminnan johtoon. Pää tavoitteeksi täsmen-tyi hydrologisten perusteiden löytäminen vesiuomien mitoitusta varten. Johtoon tullut Kaitera järjesti uudelleen hydrologisten havaintoalueiden verkoston. Havaintoalueiden valinnassa kiinnitettiin huomiota sekä havaintoverkon alueelliseen kattavuuteen että aluetekijöiden asianmukaiseen vaihteluun. Verkosto koostui 19 pienestä alueesta (kuva 1), joilla sijaitsi yhteensä 50 valuma-aluetta (Kaitera 1936). Alueilla havainnoitiin valuntaa, sadantaa, lumen syvyyttä ja tiheyttä, roudan paksuutta sekä pohjaveden korkeutta.

Kaitera laati havaintoihin perustuen lukuisia tutkimusraportteja. Näistä merkittävimpiä ovat väitöskirja lumen sulamisen aiheuttamasta valunnasta ja lumen pinnasta tapahtuvasta haihdunnasta (1939), keskiylivaluman määrittämistä varten laadittu menetelmä, niin sanottu Kaiteran nomogrammi (1949) sekä suo-ojituksen vaikutuksia käsittelevä tutkimus (1955). Wäre (1951) selvitti alivaluman ja Niinivaara (1953) aluehaihdunnan määrittämismahdollisuuksia.

Vuonna 1958 havaintotoiminta alueilla lakkautettiin, ja maataloushallitus perusti uuden pienten

- 1 Putaanjoki
- 2 Mynäjoki
- 3 Köyliönjärvi
- 4 Ekeluoma
- 5 Kähtävänoja
- 6 Tuohinonoja
- 7 Savonoja
- 8 Kalliojärvi
- 9 Kilpeenjoki
- 10 Ylijoki
- 11 Sysmäjärvi
- 12 Alasenjärvi
- 13 Huhtisuo
- 14 Löytäneenoja
- 15 Hirvijärvi
- 17 Mankajoki
- 18 Söderfjärd
- 19 Vihti



Kuva 1. Havaintoalueiden sijainti.

valuma-alueiden verkoston, johon otettiin mukaan vain neljä vanhaa valuma-aluetta. Erityisenä erona aiempaan verkostoon oli, että uuden verkoston valuma-alueet olivat järveltömiä. Laikari (1961) sekä Mustonen ja Seuna (1971) käyttivät suo-ojituksen vaikutuksia käsittelevien tutkimustensa aineistoina vanhan ja uuden verkoston yhteisten alueiden havaintoja.

Vanhan verkoston havainnot siirrettiin vuonna 1978 Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratorioon, jossa Järvinen ja Vakkilainen (1982) vastasivat virtaama-aineiston ja Vakkilainen ja Hiitiö (1983) lumi- ja routa-aineiston julkaisemisesta. Hiitiö (1982), Järvinen (1982), Rajantie (1987), Rankila (2005) ja Jalava (2009) käyttivät havaintoja diplomityötutkimuksissaan. Vuonna 2010 havainnot toimitettiin sähköisessä muodossa Suomen ympäristökeskukseen, ja samalla palautettiin myös alkuperäiset havaintoaineistot (Stenberg ja Vakkilainen 2009).

Tutkimuksen tavoitteet

Nyt tehty tutkimus perustuu maataloushallituksen vesistötutkimuksissa koottuun virtaama-aineistoon. Tavoitteena oli selvittää,

1. kuinka tarkasti havaitut kevätaikaiset ylivirtaamat noudattavat yleisesti käytettyjä todennäköisyysjakaumia, ja kuinka paljon kyseisistä jakaumista saatavat ylivirtaama-arviot poikkeavat toisistaan, kun havaintosarjojen pituutta muutetaan,
2. kuinka hyvin Weibullin todennäköisyysjakauma soveltuu eripituisten kausien alivirtaamien arviointiin, ja
3. kuinka käyttökelpoinen Kaiteran nomogrammi on kevätaikaisten keskiylivalumien arvioinnissa.

Kuhunkin osatutkimukseen otettiin mukaan sellaiset valuma-alueet, joilta oli saatavilla havaintoja vähintään 20 vuoden ajalta.

Ylivirtaamien toistuvuus

Ylivirtaamien toistuvuusanalyysissa olivat mukana seuraavat valuma-alueet: Kähköjärvi (Kähköjärven havaintoalue), Jouhtenusjärvi (Kalliojärven havaintoalue), Sysmäjoki (Sysmäjärven havaintoalue), Kesselinpuro (Sysmäjärven havaintoalue), Alasen-

järvi, Hirvosenjärvi (Alasenjärven havaintoalue), Inkilänoja (Huhtisuon havaintoalue), Latosuonoja (Huhtisuon havaintoalue), Huhtisuonoja ja Valkeajoki (Hirvijärven havaintoalue). Koska Kesselinpuron, Latosuonojan ja Huhtisuonojan valuma-alueilla on jatkettu havaintotoimintaa 2010-luvulle saakka, näiden alueiden kaikki saatavilla olevat virtaamahavainnot haettiin Herta-ympäristötiedon hallintajärjestelmästä (Ympäristöhallinto 2014).

Toistuvuusanalyysit suoritettiin tavanomaiseen tapaan (esim. Stedinger et al. 1992). Vuotuiset kevätaikaiset ylivirtaamat järjestettiin ensin suuruusjärjestykseen, ja näin saadun aineiston kunkin arvon kertymätodennäköisyys laskettiin Weibullin kaavalla. Saatuja todennäköisyyksiä verrattiin normaalijakaumasta (Normaali), Gamma-jakaumasta (Gamma), Pearson III-tyypin jakaumasta (Pearson III) ja Gumbelin jakaumasta (Gumbel) laskettuihin kertymätodennäköisyyksiin. Havaintojen ja jakaumien välistä yhteensopivuutta arvioitiin Nash-Sutcliffen hyvyysluvun (Nash ja Sutcliffe 1972) avulla. Tämän jälkeen eri jakaumien tuottamia, 20, 50 ja 100 vuoden toistumisaikaa vastaavia ylivirtaama-arvoja verrattiin toisiinsa sekä mitattuihin ylivirtaama-arvoihin käyttäen eri pituisia havaintojaksoja analyysien pohjana.

Hyvyyslukujen (taulukko 1) perusteella oli pääteltävissä, että eri jakaumiin liittyvät hyvyysluvut poikkesivat toisistaan vain vähän, eikä yksikään jakaumista sopinut havaintoihin selvästi muita paremmin. Poistettaessa poikkeavat Valkeajoen alueen tulokset tarkastelusta eri jakaumiin liittyviksi hyvyyslukujen vaihteluväleiksi saatiin eri jakaumien kohdalla 0,93–0,98 (Normaali), 0,96–0,99 (Gamma), 0,94–0,99 (Pearson III) ja 0,95–0,98 (Gumbel). Korkeimmat hyvyysluvut liittyivät kuitenkin Gamma- ja matalimmat normaalijakaumaan.

Kun toistuvuusanalyysissa käytettiin pitkiä, 1930-luvulta aina nykypäivään ulottuvia virtaama-aikasarjoja Kesselinpuron, Latosuonojan ja Huhtisuonojan valuma-alueilta, hyvyyslukujen arvot nousivat kaikkien muiden paitsi normaalijakauman kohdalla. Gamma-jakauma sekä Pearson III-tyypin

Taulukko 1. Mitattujen ylivirtaamien ja eri todennäköisyysjakaumien väliset Nash-Sutcliffen hyvyysluvut valuma-alueittain.

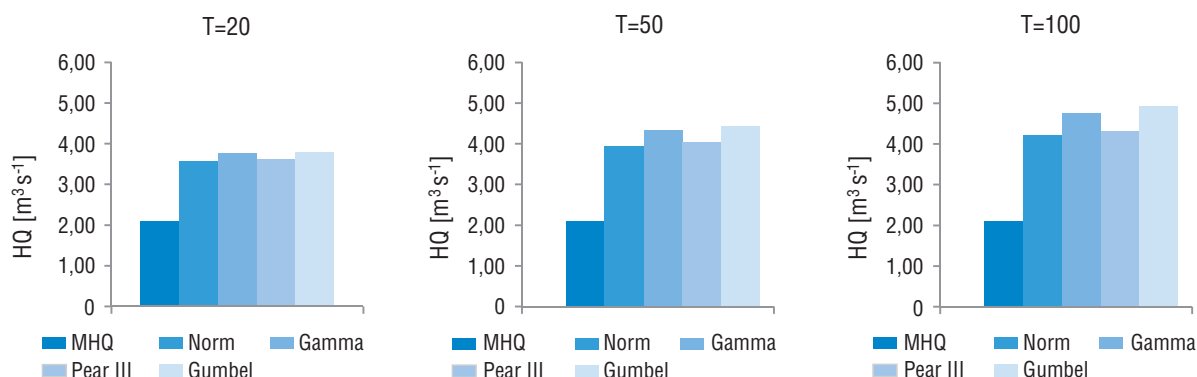
Valuma-alue	Havaintojakso	Normaali	Gamma	Pearson III	Gumbel
Kähtävä	1931–56	0,98	0,98	0,98	0,97
Jouhtenusjärvi	1934–56	0,97	0,99	0,99	0,98
Sysmäjoki	1934–57	0,96	0,97	0,97	0,97
Kesselinpuro	1934–57	0,97	0,98	0,98	0,97
Kesselinpuro	1934–2010	0,98	1,00	0,99	1,00
Alasjärvi	1931–55	0,97	0,97	0,94	0,97
Hirvosenjärvi	1934–58	0,93	0,97	0,97	0,97
Inkilänoja	1936–56	0,94	0,99	0,99	0,98
Latosuonoja	1936–57	0,98	0,97	0,98	0,97
Latosuonoja	1936–2012	0,97	0,99	0,99	0,99
Huhtisuonoja	1936–57	0,94	0,96	0,95	0,95
Huhtisuonoja	1936–2013	0,92	0,98	0,99	0,98
Valkeajoki	1936–56	0,96	0,89	-	0,87

ja Gumbelin jakaumat tuottivat Kesselinpurolla ja Latosuonojalla vähintään 0,99:n hyvyysluvun, ja Kesselinpurolla saavutettiin jopa arvo 1,0 Gumbelin jakauman ja Gamma-jakauman kohdalla.

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkinä eri jakaumien tuottamat, eri toistumisaikaa vastaavat ylivirtaamaestimaatit Kesselinpuuron valuma-alueelle lyhyen havaintoaineiston tapauksessa. Jakaumien muodoista johtuen eri jakaumiin liittyvien ylivirtaamaestimaattien välinen keskinäinen suuruus-

järjestys oli muillakin alueilla Kesselinpuuron kaltaisen: Normaalijakauma tuotti pienimmät ylivirtaamaestimaatit kaikilla alueilla ja kaikkien toistumisaikojen kohdalla, kun taas suurimmat ylivirtaamaestimaatit liittyivät pääasiassa Gumbelin jakaumaan.

Taulukossa 2 on puolestaan esitetty eri jakaumien tuottamat ylivirtaama-arviot sekä lyhyen että pitkän havaintojakson tapauksessa käyttäen esimerkkinä Kesselinpuuron valuma-aluetta. Pitkään



Kuva 2. Mitattu keskiylivirtaama (MHQ) sekä eri jakaumien tuottamat, 20, 50 ja 100 vuoden toistumisaikaa (T) vastaavat ylivirtaamat (HQ) Kesselinpuuron valuma-alueella lyhyen havaintojakson (1934–1957) tapauksessa.

Taulukko 2. Havaittu keskiylivirtaama (MHQ) [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] sekä eri todennäköisyysjakaumien tuottamat, 20, 50 ja 100 vuoden toistumisaikaa (T) vastaavat ylivirtaamat Kesselinpuron valuma-alueella lyhyen ja pitkän havaintojakson tapauksessa.

	Jakso	1934–1957	1934–2010
	Havaittu MHQ	2,1	1,84
	Hav. vaihteluväli	0,37–3,81	0,37–3,81
T=20	Normaali	3,59	2,99
	Gamma	3,77	3,11
	Pearson III	3,63	3,09
	Gumbel	3,79	3,14
T=50	Normaali	3,96	3,27
	Gamma	4,34	3,53
	Pearson III	4,04	3,48
	Gumbel	4,44	3,64
T=100	Normaali	4,2	3,46
	Gamma	4,75	3,83
	Pearson III	4,31	3,76
	Gumbel	4,94	4,02

havaintoaineistoon sovitettut jakaumat tuottivat pienemmät ylivirtaamaestimaatit kuin lyhyeen aineistoon sovitettut jakaumat kaikkien toistumisaikojen kohdalla ja kaikilla kolmella valuma-alueella, joilta oli saatavilla pitkät havaintoaineistot. Tämä johtui siitä, että lyhyiden aineistojen ylivirtaama-arvot olivat keskimäärin matalampia kuin pitkien aikasarjojen. Lyhyiden havaintoaineistojen perusteella määritetyt ylivirtaamaestimaatit olivat 0,99–1,24-kertaiset verrattuna pitkien havaintojaksojen perusteella määritettyihin estimaatteihin, ja ero oli samaa suuruusluokkaa kaikkien toistumisaikojen ja jakaumien kohdalla.

Taulukko 3 havainnollistaa samanpituisten, mutta eri aikakausilta peräisin olevien havaintojaksojen vaikutusta ylivirtaamaestimaatteihin Lato-suonojan ja Huhtisuonojan valuma-alueilla. Huhtisuonojan valuma-alue ojitettiin vuosina 1958–1960 (Laikari 1961), joten näiden ja kahden seuraavan vuoden aineistoja ei sisällytetty tarkasteluihin. Ylivirtaamien vaihteluväli oli kahdella ensimmäisellä tarkastelujaksolla (1936–57 ja 1963–1984) suurem-

pi kuin kolmannella jaksolla (1985–2006). Erot eri jaksojen havaintoaineistojen ominaisuuksissa heijastuivat selvästi ylivirtaamaestimaatteihin.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kaikki tässä tutkimuksessa käsitelty todennäköisyysjakaumat kuvaavat lähes yhtä hyvin kevätaikaisten ylivirtaamien jakaumaa. Gammajakauma, Pearson III-tyyppin jakauma sekä Gumbelin jakauma osoittautuivat kuitenkin normaali-jakaumaa paremmaksi. Hyvyysluvut paranivat, kun käytettiin pitkiä ylivirtaamasarjoja. Lyhyiden havaintoaineistojen epäedustavuus korostui 21 vuoden havaintojaksoilta saatuja tuloksia vertailtaessa, sillä jakaumien tuottamat ylivirtaamaestimaatit muuttuivat selvästi havaintojakson muuttuessa. Lisäksi on huomattava, että kaikkia muita jakaumia paitsi normaali-jakaumaa käytettäessä suurta toistumisaikaa vastaavat ylivirtaamaestimaatit ylittivät systemaattisesti lyhyiden mittausaineistojen sisältämät suurimmat kevätaikaisten ylivirtaama-arvot. Näin ollen harvinaisimpien ääritilanteiden ennustaminen jakaumien avulla on erityisen epävarmaa. Toistuvuusanalyysin

Taulukko 3. Havaittu keskiylivirtaama (MHQ) [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] sekä eri jakaumien tuottamat, 20, 50 ja 100 vuoden toistumisaikaa vastaavat ylivirtaamat Latosuonojan ja Huhtisuonojan valuma-alueilla kolmen eri 21 vuoden havaintojakson tapauksessa.

Alue		Latosuonoja			Huhtisuonoja		
	Jakso	1936–1957	1963–1984	1985–2006	1936–1957	1963–1984	1985–2006
	Havaittu MHQ	0,56	0,46	0,43	0,61	0,57	0,40
	Hav. vaihteluväli	0,13–1,03	0,18–0,70	0,21–0,70	0,24–1,20	0,15–1,43	0,22–0,64
T=20	Normaali	0,94	0,83	0,68	1,08	1,13	0,60
	Gamma	0,98	0,88	0,71	1,14	1,22	0,62
	Pearson III	0,95	0,89	0,71	1,12	1,22	0,62
	Gumbel	0,99	0,87	0,72	1,14	1,20	0,63
T=50	Normaali	1,03	0,92	0,75	1,19	1,27	0,66
	Gamma	1,13	1,02	0,80	1,33	1,46	0,69
	Pearson III	1,06	1,06	0,79	1,27	1,47	0,68
	Gumbel	1,15	1,04	0,83	1,35	1,45	0,72
T=100	Normaali	1,09	0,98	0,79	1,27	1,36	0,69
	Gamma	1,23	1,13	0,87	1,46	1,64	0,74
	Pearson III	1,13	1,19	0,85	1,38	1,65	0,73
	Gumbel	1,28	1,16	0,91	1,50	1,63	0,79

mielekkyyds riippuu voimakkaasti käytettävissä olevasta havaintojaksosta ja sen pituudesta.

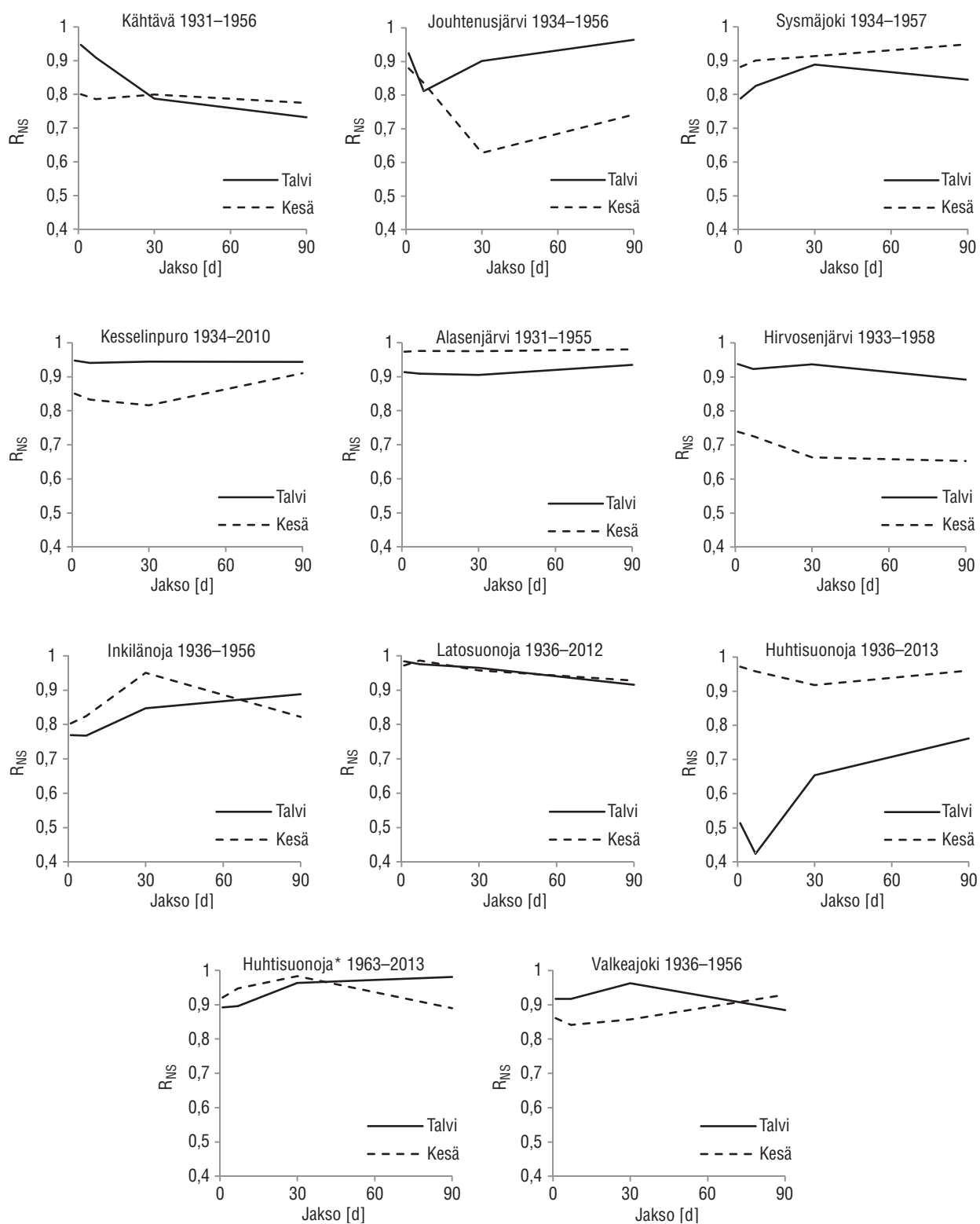
Alivirtaamien toistuvuus

Alivirtaamien toistuvuusanalyysissa olivat mukana seuraavat valuma-alueet: Kähtävä, Jouhtenusjärvi, Sysmäjoki, Kesselinpuro, Alasenjärvi, Hirvosenjärvi, Inkilänoja, Latosuonoja, Huhtisuonoja ja Valkeajoki. Kuten ylivirtaamien toistuvuusanalyysissa myös alivirtaamien toistuvuusanalyysissa hyödynnettiin pitkiä virtaama-aikasarjoja niiltä kolmelta valuma-alueelta, joilla havaintotoimintaa on jatkettu nykypäivään asti.

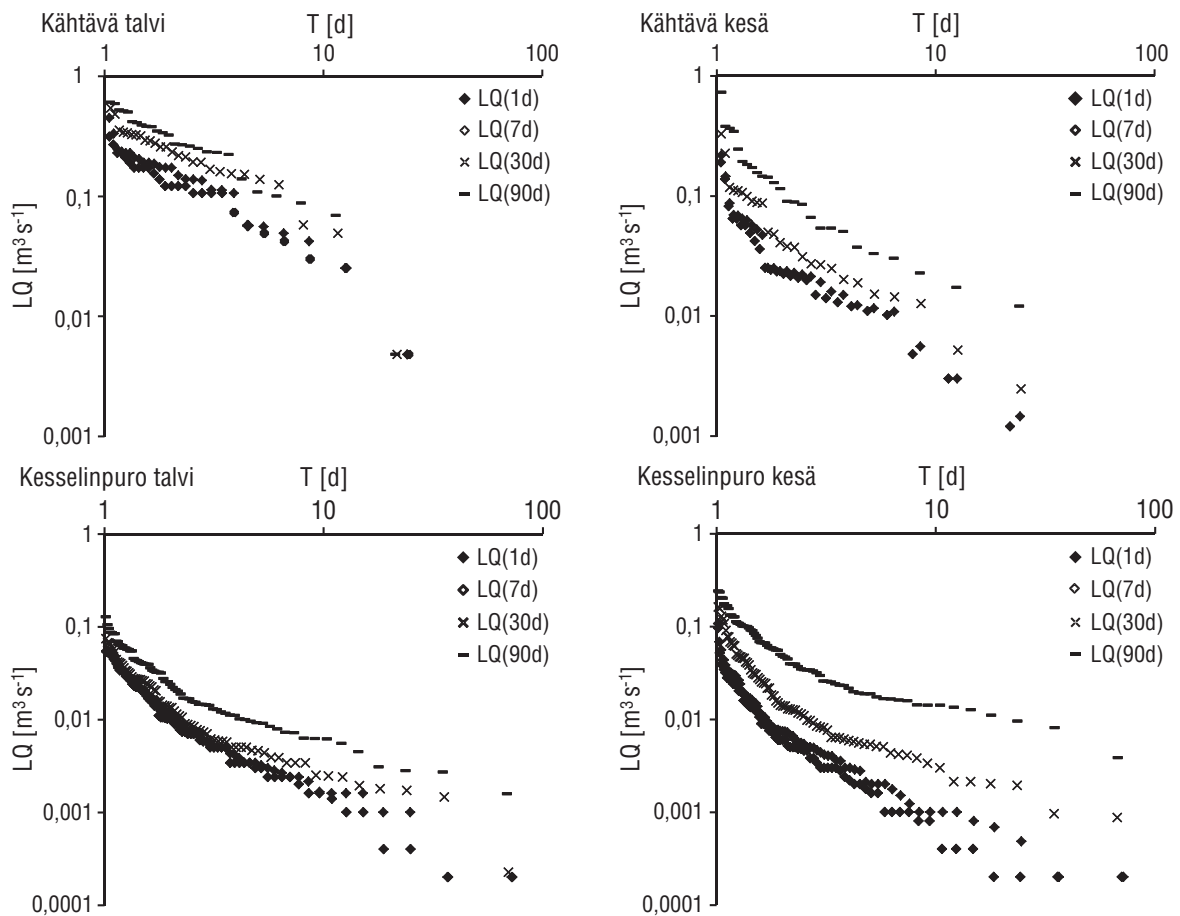
Aineistosta haettiin ensin 1, 7, 30 ja 90 vuorokauden kesäaikaiset (kesä–marraskuu) ja talviaikaiset (jouluku–toukokuu) keskialivirtaamat. Menettelytapa oli sama, jonka Kajosaari (1968) on esittänyt. Muodostunut alivirtaama-aineisto järjestettiin kasvavaan suuruusjärjestykseen. Tämän jälkeen laskettiin alivirtaama-arvojen todennäköi-

syyksiä vastaavat, Weibullin todennäköisyysjakauman mukaiset alivirtaama-arvot, joita verrattiin havaintoaineistosta saatuihin arvoihin. Yhteensopivuutta arvioitiin Nash-Sutcliffen hyvyysluvun avulla samoin kuin ylivirtaamien toistuvuusanalyysissa. Huomionarvoista on, että Huhtisuonojan valuma-alueen osalta alivirtaamatarkastelu suoritettiin koko havaintojakson sekä pelkän ojituksen jälkeisen havaintoaineiston perusteella hyödyntäen vain vuosien 1963–2013 mittauksia, sillä ojitusta edeltävällä havaintojaksolla 1936–1958 sekä talvi- että kesäaikaiset alivirtaamat olivat useana vuonna $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Kuvassa 3 on esitetty havaittujen ja Weibullin todennäköisyysjakauman mukaisten alivirtaama-arvojen väliset Nash-Sutcliffen hyvyysluvut valuma-alueittain. Luvut vaihtelivat välillä 0,42–0,99. Huonoimmin jakauma kuvasi Huhtisuonojan talviaikaisten alivirtaamien käyttäytymistä, kun vuosien 1936–2013 kaikki havainnot otettiin mukaan tarkasteluun. Kun Huhtisuonojan havainnoista käytettiin vain ojituksen jälkeisiä, vuosien 1963–



Kuva 3. Nash-Sutcliffen hyvyysluvut (R_{NS}) sovitettaessa 1, 7, 30 ja 90 vuorokauden keskimääräiset alivirtaamat Weibullin jakaumaan.



Kuva 4. Eri pituisten jaksojen keskimääräiset talvi- ja kesäaikaiset alivirtaamat (LQ) Weibullin jakauman mukaisten toistumisaikojen (T) funktiona Kähtävän ja Kesselinpuron valuma-alueilla.

2013 virtaamia, Weibullin jakauma kuvasi alivirtaamien havaittua jakaumaa hyvin.

Kuvassa 4 on puolestaan esitetty eripituisten havaintojaksojen keskialivirtaama-arvot kahdella esimerkkialueella: Kähtävällä ja Kesselinpurolla. Kähtävän valuma-alueella talviaikaiset alivirtaamat olivat kesäaikaista suuremmat, kun taas Kesselinpurolla talviaikaiset alivirtaamat olivat kesäaikaista suuremmat vain 1 ja 7 vuorokauden tapauksessa, mutta pienemmät 30 ja 90 vuorokauden mittaisilla jaksoilla.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että Weibullin todennäköisyysjakaumaa voidaan käyttää eripituisten jaksojen alivirtaamien arvioinnissa sitä luotettavimmin, mitä pidempi havaintojakso vir-

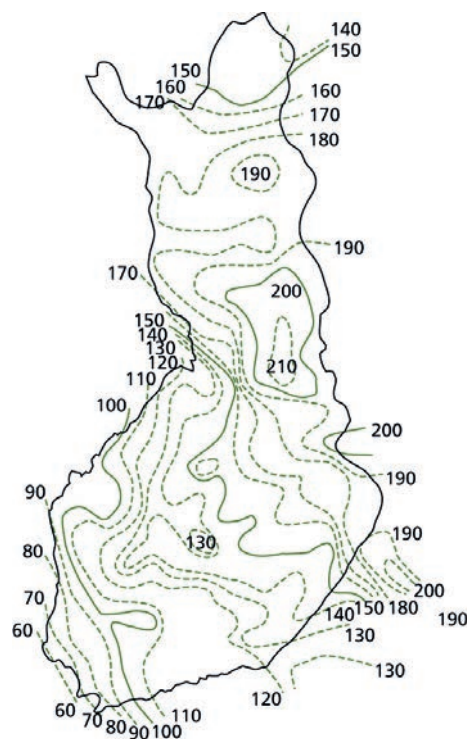
taamamittauksia on käytettävissä. Lyhyiden havaintojaksojen tapauksessa pienimpiä alivirtaamia vastaavat havaitut ja Weibullin jakauman mukaiset toistumisaajat voivat erota toisistaan jopa satoja vuosia.

Kaiteran nomogrammin käyttökelpoisuus

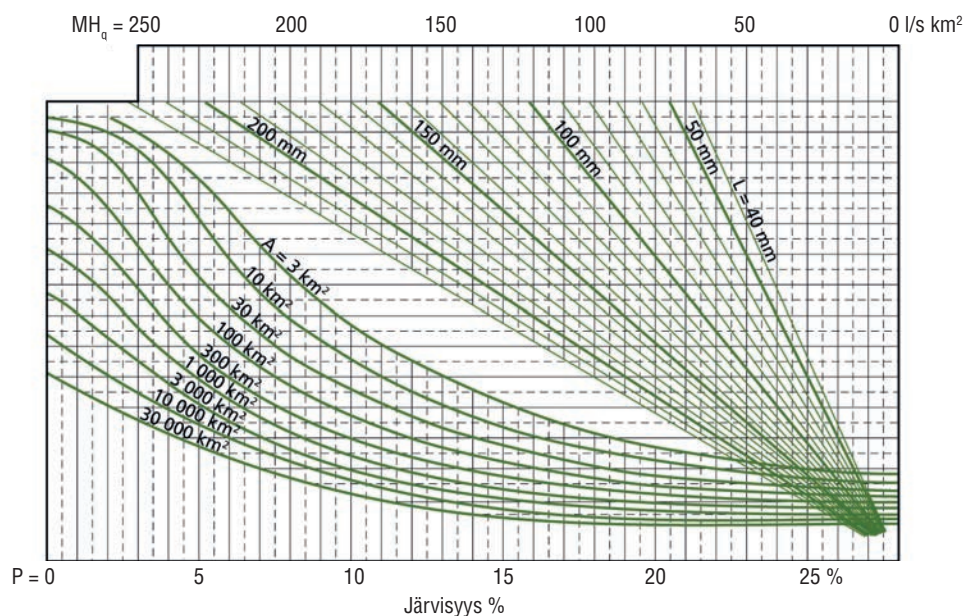
Nomogrammitutkimuksessa olivat mukana seuraavat valuma-alueet: Kähtävä, Jouhtenusjärvi, Alasenjärvi, Hirvosenjärvi, Inkilänoja, Latosuonoja ja Huhtisuonoja. Tutkimuksessa hyödynnettiin ainoastaan maataloushallituksen alkuperäisiä ve-

sistöaineistoja vuosilta 1934–1958, koska vain ne käsittivät kaikki analyysissa tarvittavat mittaukset: valumahavainnot sekä lumen syvyys- ja tiheysmittaukset. Lisäksi tutkimuksessa tarvittiin tiedot valuma-alueiden pinta-alasta, järvi- ja peltoprosentista, sekä järvien sijainnista valuma-alueella. Kul-takin valuma-alueelta löytyi 1–3 lumilinjaa, jotka täyttivät 20 mittausvuoden vaatimuksen, ja lumi-mittauksia oli saatavilla valuma-alueesta riippuen pelto- ja/tai metsäalueilta. Valuma-alueiden pinta-alat vaihtelivat välillä 4–66 km², järviprosentit vä-lillä 0–28 % ja peltoprosentit välillä 9,1–18,8 %.

Mitattuja kevätaikaisia keskiylivalumia verrattiin Kaiteran nomogrammin (kuva 5) perusteella saatuihin arvoihin. Keskiylivaluma luettiin nomogrammista valuma-alueen järviprosentin ja pinta-alan sekä keskimääräisen vuotuisen lumen maksimivesiarvon perusteella. Keskimääräinen vuotuinen lumen maksimivesiarvo määritettiin kahdel-la tavalla: lumen syvyys- ja tiheysmittausten avul-la sekä Kaiteran esittämän kartan (kuva 6) avulla. Kaiteran (1949) antamien ohjeiden mukaan nomogrammin perusteella saatu keskiylivaluma kerrottiin 0,9:llä, jos valuma-alueen peltoprosentti oli 10–



Kuva 6. Keskimääräinen vuotuinen lumen maksimivesiarvo lumen syvyyshavaintojen (1892–1941) ja tiheyshavaintojen (1934–1948) perusteella (Kaitera 1949).



Kuva 5. Kaiteran (1949) nomogrammi keskiylivaluman (MH_q) arvioimiseksi valuma-alueen järvisyysprosentin (Järvisyys %), pinta-alan (A) ja keskimääräisen vuotuisen lumen maksimivesiarvon (L) perusteella.

20, jos taas valuma-alueen alajuoksulla sijaitisi suuri järvi, nomogrammin antamaa arvoa pienennettiin sillä prosenttimäärällä, joka vastasi järven osuutta valuma-alueen pinta-alasta. Peltoprosenttiin perustuva korjaus tehtiin kaikilla muilla havainto-alueilla paitsi Kähtävällä, ja suuren järven sijaintiin perustuva korjaus oli tarpeellinen Alasenjärvellä.

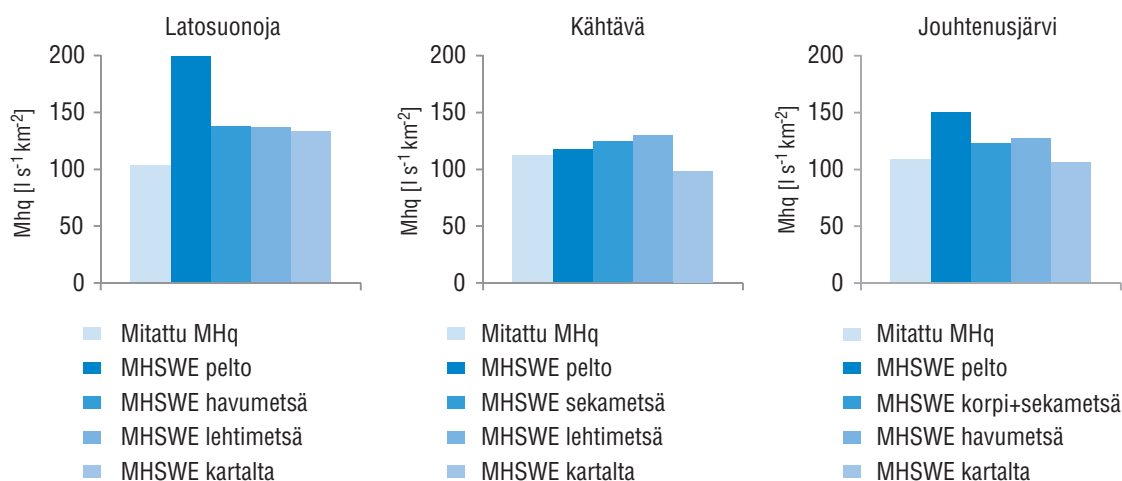
Edellä mainittujen korjausten lisäksi Kaitera (1949) esitti, että nomogrammin tuottamaa keskiylivalumaa tulee suurentaa, jos peltoprosentti on yli 30: kerroin on 1,1, kun peltoprosentti on 40, ja kerroin kasvaa arvoon 2,0, kun peltoprosentti lähestyy sataa. Lisäksi valuma-alue tulisi jakaa kahteen osaan, ja keskiylivaluma tulisi lukea nomogrammistakin erikseen molemmille osille, jos järvet sijaitsevat valuma-alueen yläosassa (Kaitera 1963). Näitä korjauksia ei kuitenkaan tarvittu tässä tutkimuksessa, sillä mukana olleiden valuma-alueiden peltoprosentit olivat pieniä, eivätkä järvet painotuneet yläjuoksulle.

Kun lumen vesi-arvo määritettiin Kaiteran esittämän kartan avulla, poikkesi nomogrammistaa saa-

tava keskiylivaluma -13 ... +29 % mittauksista saadusta keskiylivalumasta. Jos lumikartan arvot korvattiin valuma-alueiden lumimittauksilla, tulos huononi, sillä nomogrammistaa saadut arvot poikkesivat -6 ... +93 % mitattujen arvojen keskiylivalumasta. Keskimääräinen poikkeama oli suurin silloin, kun lumimittaukset olivat peräisin pelto-alueilta. Metsäalueiden lumilinja käytettäessä suurin ero mitatun ja nomogrammin tuottaman keskiylivaluman välillä oli +34 %.

Kuvassa 7 on esitetty esimerkkinä mitatut ja nomogrammin perusteella arvioidut keskiylivalumat kolmelle valuma-alueelle käytettäessä eri lumilinjoiden mittauksia ja kuvan 6 kartan mukaisia arvoja lumen vesi-arvon arviointiin.

Tämän selvityksen perusteella Kaiteran laatima nomogrammi soveltuu pienten valuma-alueiden keskiylivalumien arviointiin, kun lumen maksimivesiarvo arvioidaan kuvan 6 perusteella. Jos keskiylivalumien arvioinnissa halutaan käyttää mitattuja lumiarvoja kartan tietojen sijaan, tulee mittauksen olla peräisin metsäalueilta.



Kuva 7. Mitattu ja Kaiteran nomogrammin perusteella arvioitu keskiylivaluma (MHq) Latosuonojan, Kähtävän ja Jouhtenusjärven valuma-alueilla, kun keskimääräinen vuotuinen lumen maksimivesiarvo (MHSWE) on arvioitu eri lumilinjoiden (pelto ja eri metsätyypit) mittauksen perusteella sekä kartalta.

Viitteet

- Hiitiö M. 1982. Lumen sulannasta ja sen aiheuttamasta valunnasta. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Jalava M. 2009. TOPMODEL-valuntamalli Ekoluoman valuma-alueella. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Järvinen M. 1982. Lineaaristen sadanta-valuntamallien soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Järvinen E, Vakkilainen P. 1982. Maataloushallituksen vesistötutkimukset 1931-58, Osa I, Purkautuminen. Vesitekniikan laitos, Teknillinen korkeakoulu. Julkaisu 24. Espoo.
- Kaitera P. 1936. Maataloushallituksen vesistötutkimukset vuosina 1929-1935 (Die Gewässeruntersuchungen der Landwirtschaftsverwaltung in den Jahren 1929-1935). Maataloushallituksen kulttuuritekniisiä tutkimuksia N:o 1. Helsinki.
- Kaitera P. 1939. Lumen kevätsumamisesta ja sen vaikutuksesta vesiväylien purkautumissuhteisiin Suomessa. Maataloushallituksen kulttuuritekniisiä tutkimuksia N:o 2. Helsinki.
- Kaitera P. 1949. On the melting of snow in springtime and its influence on the discharge maximum in streams and rivers in Finland. Teknillisen korkeakoulun tutkimuksia no. 1. Helsinki.
- Kaitera P. 1955. Kaivauksen ja ojituksen vaikutuksesta vesistöalueiden hydrologiaan. Suo no 6. 10 s.
- Kaitera P. 1963. Maankuivatus. Teoksessa: Saukko P. ym. (toim.). Maa- ja vesirakentajan käsikirja. Luku 5. Puromiehen Kirjapaino Oy. Helsinki. ss. 179-225.
- Kajosaari E. 1968. Kuivakausista Suomen vesistöissä erityisesti vedenhankintaa ja vesiensuojelua silmälläpitäen. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu. Hydrologisen toimiston tiedonantoja XXVIII.
- Laikari H. 1961. Sulamiskauden valunnasta Huhti- ja Latosuonoja vesistöhavaintoalueilla. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Mustonen S, Seuna P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. Vesientutkimuslaitoksen julkaisu no 3. Helsinki.
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3). ss. 282–290.
- Niinivaara K. 1953. Haihtumisesta pienehköillä vesistöalueilla Suomessa. Maa- ja vesitekniisiä tutkimuksia 7. Helsinki.
- Rajantie K. 1987. Aikasarja-analyysin soveltaminen eräisiin vesitalouden ongelmiin. Lisensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu.
- Rankila M. 2005. Tutkimusmenetelmät vesistösuunnittelussa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Stedinger JR, Vogel RM, Foufoula-Georgiou E. 1992. Chapter 18: Frequency analysis of extreme events. Teoksessa: Maidment DR (toim.). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill. New York. ss. 18.1-18.66.
- Stenberg L, Vakkilainen P. 2009. Hydrologista havaintotoimintaa pienillä valuma-alueilla Suomessa vuosina 1931-1958. Teknillisen korkeakoulun Vesitalouden ja -rakennuksen julkaisu 17. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Vakkilainen P, Hiitiö M. 1983. Maataloushallituksen vesistötutkimukset 1931-1958. Osa II Lumi ja routa. Vesitekniikan laitos. Teknillinen korkeakoulu. Julkaisu 30.
- Wäre M. 1951. Om lägvattenavrinningen i Finlands vattendrag. Föredrag vid NIM i Helsingfors.
- Ympäristöhallinto. 2014. Kesselinpuron, Huhtisuonojan ja Latosuonojan valuma-alueiden virtaamahavainnot. Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta. Havainnot haettu 20.6.2014. <https://wwwp2 ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>

Liite

Virtaamien toistuvuusanalyysissa käytettyjen todennäköisyysjakaumien tiheysfunktiot $f_X(x)$, kertymäfunktiot $F_X(x)$, tunnusluvut μ_X , σ_X ja γ_X , sekä L-momentit λ_1 ja λ_2 (Stedinger et al. 1992).

Normaalijakauma:

$$f_X(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_X^2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_X}{\sigma_X}\right)^2\right]$$
$$F_X(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_X^2} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu_X}{\sigma_X}\right)^2\right] dt$$
$$\mu_X = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \text{ ja } \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Gamma-jakauma:

$$f_X(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, x > 0; \alpha, \beta > 0, \text{ jossa}$$
$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt, \alpha > 0$$
$$F_X(x) = G\left(\frac{x}{\beta}, \alpha\right) \text{ ja } G(x, \alpha) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$
$$\mu_X = \alpha\beta \text{ ja } \sigma_X^2 = \alpha\beta^2$$

Pearsonin III-tyypin jakauma:

$$f_X(x) = |\beta| [\beta(x - \xi)]^{\alpha-1} \frac{\exp[-\beta(x-\xi)]}{x\Gamma(\alpha)}$$
$$F_X(x) = G\left[\left(x - \mu + \frac{2\sigma}{\gamma}\right) / |0,5\sigma\gamma|, \frac{4}{\gamma^2}\right], \gamma > 0$$
$$\mu_X = \xi - \alpha/\beta, \sigma_X^2 = \alpha/\beta^2 \text{ ja } \gamma_X = 2/\sqrt{\alpha}$$

Gumbelin jakauma:

$$f_X(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-\xi}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)\right]$$
$$F_X(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)\right]$$
$$\mu_X = \xi + 0,5772\alpha \text{ ja } \sigma_X^2 = \pi^2\alpha^2/6$$

Weibullin jakauma:

$$f_X(x) = \left(\frac{k}{\alpha}\right) \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right]$$
$$F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right]$$
$$\mu_X = \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \text{ ja } \sigma_X^2 = \alpha^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]^2 \right\}$$