

Pentti Kaitera

**Maankuivatustöiden vaikutuksesta vesistöjen
purkautumissuhteisiin Suomessa**

Maanviljelysinsinööriyhdistyksen Vuosikirja, 1938, 29 s.

© RIL ry

P E N T T I K A I T E R A

Maankuivatustöiden vaikutuksesta
vesistöjen purkautumissuhteisiin
Suomessa

MAANKUIVATUSTÖIDEN VAIKUTUKSESTA VESISTÖJEN PURKAUTUMISSUHTEISIIN SUOMESSA.

Pentti Kaitera.

Kysymys maankuivatustöiden vaikutuksesta vesistöjen purkautumissuhteisiin Suomessa on viime aikoina ollut ajankohtainen. Kun alavilla ranta-alueilla, jollaisia Suomessa on runsaasti, jää viljelyksiä tulvien alle, tehdään varsinkin poikkeuksellisen suurten tulvien sattuessa valituksia, että yläpuolella suoritettut maankuivatustoimenpiteet ovat osaltaan olleet tulviin syynä. Myöskin on esitetty (1 ja 2), että maankuivatustoimenpiteillä aikaansaadaan vesilaitosten käyttövoiman vähentymistä taikka aiheutetaan haittaa uitolle, sen johdosta että alivesikausi pitenee ja alivesimäärä pienenee joudutettaessa vesien virtailua keväällä. HALLAKORPI on esittänyt (3), että »maan kuivatuksella sinänsä on aina tasoittava vaikutus vesien poisvalumiseen», ja myöskin, että vesiväylillä ei muutoksia maankuivatustoimenpiteitten johdosta hevillä synny (4). RENQVIST pitää mahdollisena, että maankuivatustoimenpiteet nostavat jonkun verran vesimääriä vesiväylillä, mutta että muutos ei ole suuri ja että suurin osa mahdollisista muutoksista, mitä tulvaveteen ja keskiveteen Suomessa tulee, ei ole maankuivatustoimenpiteiden aiheuttamaa (5). HELLSTRÖM (6) on mai-

¹ M. Makkonen, Vesistön perkaamisen vaikutus vesisuhteisiin, Teknillinen Aikakauslehti N:o 11, Helsinki 1936.

² Rich. Gylling, Lisiä maankuivatustöiden vaikutuksesta vesien virtailusuhteisiin vesiväylissä, Teknillinen Aikakauslehti N:o 11, Helsinki 1936.

³ I. A. Hallakorpi, Uusi kaava vesistön tulvamäärän arvioimiseksi sadealueen suuruuden ym. mukaan, Teknillinen Aikakauslehti N:o 9, Helsinki 1934.

⁴ I. A. Hallakorpi, Suurenevatko vesistöjen vedenpaljoudet joenperkaus- ja maankuivatustöiden johdosta, Teknillinen Aikakauslehti N:o 9, Helsinki 1936.

ninnut, että maankuivatustoimenpiteet yleensä lisäävät purkautumisvaihteluita ja pidentävät alivesikautta. Ruotsissa on viime vuosisadalla arvioitu keskimääräinen ylivaluma pelloilta 100 litraksi ja metsää kasvavilta mailta 30 litraksi sekunnissa km²:a kohden (7). METSÄNHEIMO pitää tätä metsäojittajien piirissä yhä vielä vallalla olevaa käsitystä keski-ylivaluman suuruudesta erilaisissa maastotyypeissä Suomessa selvimpänä todisteena pellon ja metsämaaston erilaisesta vaikutuksesta purkautumisvaihteluihin ja väittää, että metsäojitukset ovat omiaan eroavaisuutta vielä jyrkentämään (8). Kun v. 1937 käsiteltiin kysymystä (9), tehostin erikoisesti, että vaikutus riippuu huomattavassa määrin siitä, edistävätkö tai ehkäisevätkö maankuivatus- ja viljelystoimenpiteet vesien samanaikaista kokoontumista vesiväylille. Tähän seikkaan on kiinnittänyt huomiota myöskin KALLIO (10).

Järvenlaskuissa ja joenperkauksissa, joissa poistetaan tulva-alueita ja pienennetään vedenvarastoimistilaa, voidaan epäilemättä vaikuttaa varsin huomattavastikin vesien virtailusuhteisiin eritoten välittömästi varastoaltaan alapuolella olevassa vesiväylässä. Järvenlaskuihin nähden on kuitenkin syytä huomauttaa siitä väärinkäsityksestä, joka on yhä edelleen monin paikoin vallalla. Viime vuosisadalla laskettiin Suomessa erittäin runsaasti järviä, jotta vesijättömaista saataisiin luonnonniittyjä. Mainittakoon, että esim. Höytiäisen ja Simpeleen laskuissa järviolaa pieneni yhteensä n

⁵ Henrik Renqvist, Joenperkaus- ja maankuivatustöiden vaikutuksesta vesimäärään, Teknillinen Aikakauslehti N:o 11, Helsinki 1936.

⁶ B. Hellström, Hydrografi, Väg- och vattenbyggnader, Band IV, Stockholm 1931.

⁷ Gustaf Nermann, Handbok för Beräkningar vid dikning och annan afledning av vatten, 1887.

⁸ U. Metsänheimo, Metsäojituksen vaikutuksesta vesitalouteen, Metsätaloudellinen Aikakauskirja N:o 1, Helsinki 1936.

⁹ P. Kaitera, Perkaus- ja viljelystoimenpiteitten vaikutuksesta vesistöjen purkautumissuhteisiin, Teknillinen Aikakauslehti N:o 1, Helsinki 1937.

¹⁰ Maanviljelysinsinöörien neuvottelukokouksen pöytäkirja, Maanviljelysinsinööriyhdistyksen vuosikirja, Helsinki 1937.

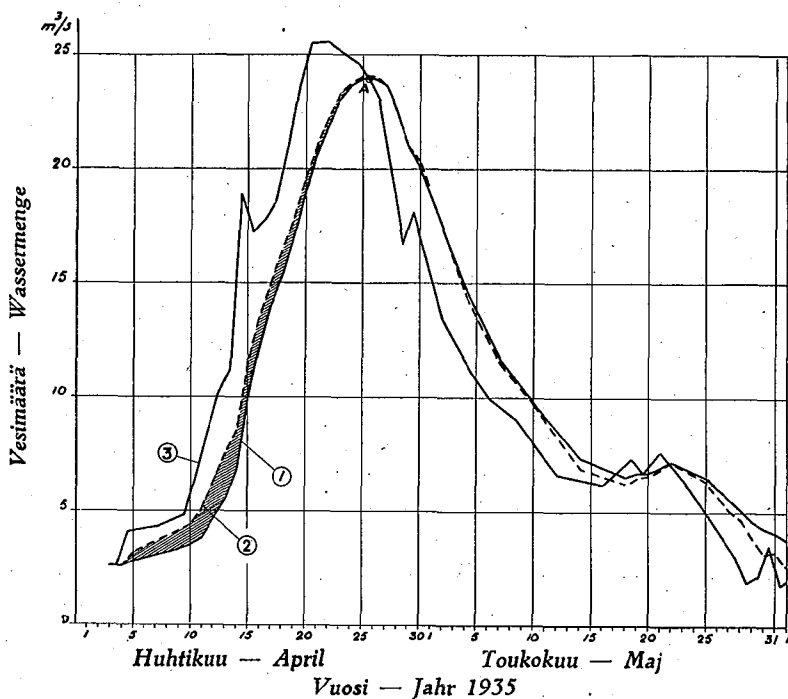
189 km². Nykyään järvenjärjestelyissä pyritään pääasiassa poistamaan ranta-alueiden viljelyksiä haittaavat tulvat. Niinpä koko tämän vuosisadan aikana maataloushallituksen toimesta suoritetuissa järvenjärjestelyissä järvialan pieneminen ei nouse siihenkään määrään, minkä mainittujen kahden järven laskeminen aiheutti.

Sellaisissa järvenjärjestelyissä, joissa järviala ei mainitavasti pienene, vaikutus riippuu pääasiallisesti siitä, miten järjestely vaikuttaa tulvavarastotilaan. Jos järveä laskeetaan niin, että ero keski-veden ja keski-yliveden välillä pienenee, vähenee järven tulvavarasto. Tällaisissa tapauksissa järven laskeminen yleensä lisää ylivesimäärää välittömästi järven alapuolella. Jos taasen vedenkorkeusvaihtetut lisääntyvät, järven tulvavarastotila voi lisääntyäkin ja ylivesimäärä pienentyä siitä huolimatta, että järviala pienenee.

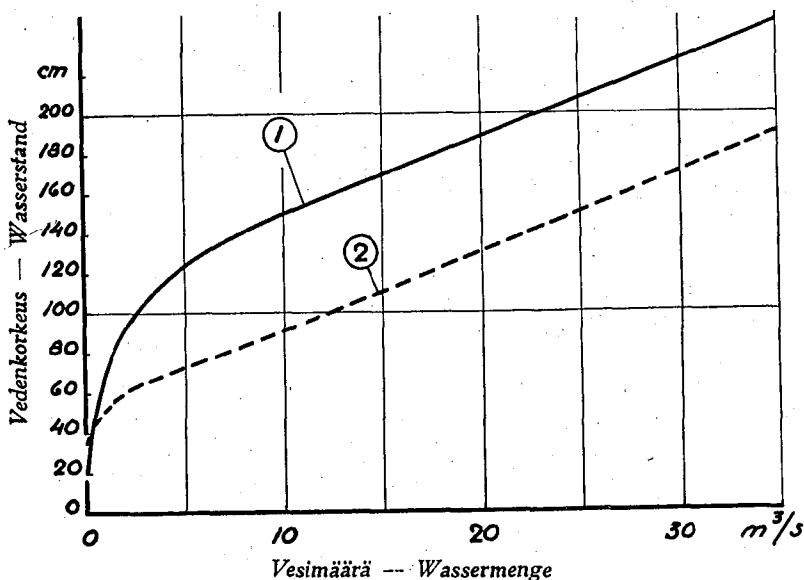
Vaikutus ylivesimäärään riippuu kuitenkin ennen kaikkea järven varastoimiskyvystä yliveden korkeudella. Järven luusuan purkautumissuhteiden avulla voidaan osittain järjestää järven varastotilan muutokset niin, että niillä ei ole haitallista vaikutusta alapuolella. Voidaanpa ylivesimäärä pysyttää muuttumattomana silloinkin, kun järven kokonaisvarastotila pienenee. Tällainen vaikutus voidaan rajoitettussa määrässä aikaansaada keinoitekoisella juoksutuksella ja osittain myös kiinteillä pohjapadoilla. Kuvassa 1 on esitetty Lounais-Suomessa olevan Haapaniemenjärven varastoimiskyky keski-yliveden aikana. Järven pinta-ala on keskiveden aikana 6,2 km² ja keski-yliveden aikana 7,4 km². Sadealue on 560 km², josta järviä 7 %. Viiva 3 esittää laskettua tulovirtausta, viiva 1 menovirtausta järven luusuassa ennen suunniteltua perkausta sekä viiva 2 perkauksen jälkeistä purkautumista. (Kuten tunnettua, järvissä, joissa vedenpinta on vaakasuora, tulovirtauskäyrä leikkaa menovirtauskäyrän tämän maksimikohdassa, pisteessä A.) Jos järven varastotila tyystin hävitetään, lisääntyy ylivesimäärä normaalivuonna 23,9 m³:sta sekunnissa 25,5 m³:in sekun-

nissa eli 6,4 %:lla. Järven luusuaan suunniteltu pohjapato estää alivettä alentumasta. Keskiveden korkeudella purkautumiskäyrä on loivempi kuin ennen perkausta, mutta keskilyliveden korkeudella lasku-uomassa alavesi rupeaa vastamaan ja aikaansaa purkautumiskäyrässä infleksiotaiteen (viiva 2 kuvassa 2). Ylivesimäärä järjestelyn vaikutuksesta lisääntyy vain 0,1 m³:lla sekunnissa, vaikka järven varasto-tila pienenee 26 %. Viivoitettu alue kuvassa 1 esittää vesimäärien lisääntymistä alapuolella.

Vesilaitosten padotussäännöissä varsin useassa tapauksessa vaaditaan tulvaluukkuja avattavaksi yliveden aikana. Tämä aikaansaa juuri päinvastaisen vaikutuksen purkautumissuhteissa yliveden aikana kuin edellä on esitetty ja



Kuva 1 — Abb. 1



Kuva 2 — Abb. 2

samalla suurentaa mahdollisuuksia tulvien lisääntymiseen alapuolella.

Jokien tulva-alueilla on hieman toisenluontoinen vaikutus purkautumissuhteisiin kuin järvillä, joiden vedenpinta on vaakasuora. Tulva-alueen rajaviiva on useasti viettävä vesiväylän pituussuunnassa. Vesien virtailua tapahtuu varsinaisen uoman ulkopuolellakin. Tulovirtausta ja menovirtausta esittävät käyrät eivät aina leikkaa toisiaan menovirtauskäyrän huippukohdassa, vaan käyrän ollessa nousussaan. SCHAFFERNAK mm. tehostaa (11), että »virtaavan varaston« varastoimiskyky on toisenlainen kuin »seisovan varaston«. Tulva-alueen varastoimiskyvystä on huomattava, että tehoisana varastotilana voidaan pitää vain sitä varastollasta, jonka tulva-alue samanaikaisesti voi muodostaa.

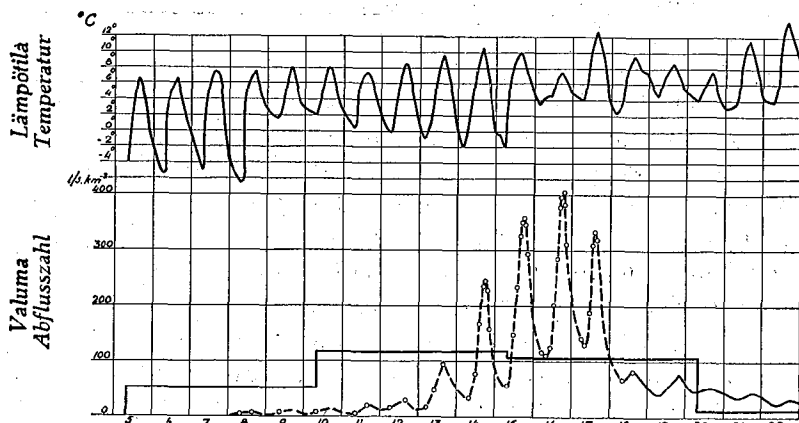
¹¹ Fr. Schaffernak, Hydrographie, Wien 1935.

Tämä varastoallas on yleensä pienempi kuin yliveden pinnan rajoittama varastoallas, sillä tulva-aalto on useasti jo alueen yläosassa laskenut vedenkorkeuden alaosassa saavuttaessa huippunsa. Arvosteltaessa tulva-alueiden vaikutusta ylivesimääriin on toisaalta huomattava, että vesien varastoituminen tapahtuu yleensä tulvahuipun aikana — purkautumiskäyrän yläosassa — ja siinä suhteessa tulva-alueiden poistamisella on vaikutusta eritoten juuri tulvahuippuun. Sen sijaan vaikutus alivesimääriin jää useimmiten enemmän teoreettiseksi kuin käytännössä merkitseväksi. Tulva-alueelle varastoituva vesivarasto valuu suhteellisen nopeasti pois, veden pääväylässä laskettua. Mainittakoon, että Lapuanjoessa ja Siikajoessa, missä joenperkaustöillä on pienennetty 6000—8000 ha laajoja tulva-alueita huomattavasti, tri RENVISTIN laskelmien mukaan alivesimäärät ovat pienentyneet vain n. 100 litraa sekunnissa (12).

Vesistöjen perkaamisen vaikutusta arvosteltaessa on syytä kiinnittää huomiota erityisesti tulvahuipun ajankohtaan. Järvettömillä vesiväylillä aina 200 km² suuruisiin sadealueisiin saakka kevään ylivesi yleensä sattuu aikana, jolloin lumi on suurimmalta osalta hävinnyt sellaisilta peltoaukeilta, jotka ovat alttiita tuulien vaikutukselle (ojissa ja aita-
vierillä on vielä lunta). Tämä ajankohta sattuu yleensä hieman sen jälkeen, kun lumivaraston vähenemisnopeus keväällä on suurimmillaan, ja se on normaalivuosi-
määriteltävissä luonnossa muutaman vuorokauden tarkkuudella. Järviprocentin lisääntyessä yliveden ajankohta siirtyy myöhemmäksi. Esim. järviprosentin ollessa 10 on 10 km² suuruisilla alueilla viivästyminen järvettämiin alueisiin verrattuna n. 4 vrk ja 100 km² alueilla likimäärin yksi viikko. Suurissa ja järvirikkaissa vesistöissä kevään yliveden ajankohtaan vaikuttavat useasti myös kevätsateet ja muut tekijät siinä määrin, että alueen vaikutus ei ole niin selväpiirteinen kuin pienissä vesistöissä. Suurissa vesis-

¹² Tri Renvistin antama tieto.

töissä tehdään kuitenkin perkaussuunnittelua varten vedenkorkeushavaintoja, joiden avulla voidaan arvostella yliveden ajankohtaa. Yliveden ajankohtaa arvioitaessa on lisäksi otettava huomioon, onko sadealueella metsämaata vai peltoaukeaa. Metsässä lumen sulaminen viivästyy — vuosina 1934—1937 oli erotus Suomessa keskimäärin 3—4 vuorokautta peltoaukeisiin verrattuna — mikä aiheuttaa myös viivästymisen yliveden ajankohdassa. Mutta on myöskin muita tekijöitä, jotka aikaansaavat poikkeuksia keskimääräisistä yliveden aikamääristä. Köyliönjoessa, jonka sadealue on 150 km² ja järviprosentti 9, ylivesi on vv. 1934—1937 sattunut keskimäärin 14 vrk myöhemmin kuin 15 km alempana samassa vesiväylässä, jossa sadealue on 195 km² ja järviä 7 %. Viimeksimainitussa kohdassa ylivesi on sattunut 2 vrk ennen peltoaukeitten paljastumista lumesta, mikä osoittaa, että siinä yliveden ajankohdan pääasiallisesti on määrännyt vesiasteikkojen välisen peltoalueen valuminen. Niin paljon kuin järvet tasoittavatkin purkautumisvaihteluita, ne voivat, esim. viivästyttäessään sivuväylän yliveden sattumaan samanaikaisesti pääväylän yliveden kanssa, vaikuttaa tulvia lisäävästikin.



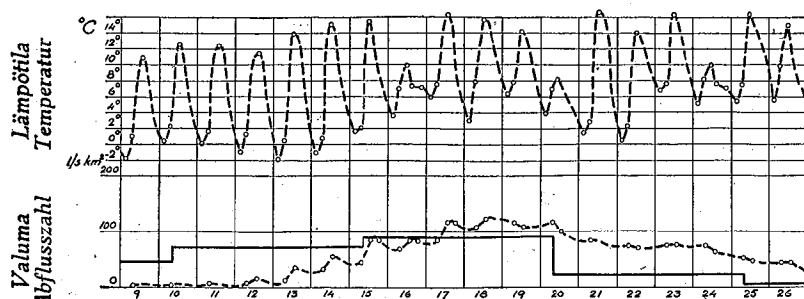
Huhtikuu — April 1937

Kuva 3 — Abb. 3

Pienissä ja vähäjärvisissä vesistöissä tulvakumpu ei ole niin selväpiirteinen kuin kuvassa 1 on esitetty. Kuvassa 3 on esitetty Kokemäellä olevan Löytäneenojan purkautumisvaihtelut keväällä 1937. Niitä esittäväällä katkoviivalla olevat pisteet tarkoittavat aikaa, jolloin purkautuminen on havaittu — yhtenäinen viiva on itsemerkitsevän mittarin havainnoista piirretty. Ojan sadealue on 7 km², savitasankoa, josta on viljelty n. 75 %. Viemärit on perattu v. 1935. Kuvaan on lisäksi merkitty lumensulamisessa vapautuneet ja sateena maahan tulleet vesimäärät (yhtenäinen murtoviiva esittää alueelle keskimäärin 5 vrk:n aikana saapuvia vesimääriä) sekä lämpötilan vaihtelut. Purkautumisvaihteluita kuvaava käyrä osoittaa, että vuorokausivaihtelut ovat keväällä erittäin suuret, jopa niin suuret, että vuorokausimaksimi voi olla 4-kertainen saman vuorokauden minimiin verrattuna. Purkautumisvaihtelut seuraavat — sen jälkeen kun vesimäärät alkavat lisääntyä — varsin suuressa määrin vuorokauden lämpötilavaihteluita. Tässä on syytä kiinnittää huomiota vielä siihen, että lumensulamisen alkuvaiheessa vesimäärät eivät sanottavasti lisäännä, huolimatta siitä että alue on hyvin ojittettua, ennen kuin vasta lumivaraston ollessa vähissä, jolloin vedenvirtailua ehkäisevien lumivallien vaikutus vähenee. Sulamisen loppuvaiheessa taasen vuorokausipurkautuminen ylittää vastaavana aikana sulamisessa vapautuneet vesimäärät. Vuorokausivaihteluiden jyrkkyys sulamisen lopulla osoittaa, että huomattava osa kulloinkin vapaana virtaavista vesistä ehtii alueelta purkautua jo vuorokauden aikana, joten purkautumisen alkuviihästymisen johtuu juuri lumivalleista. Vesien varastoituminen maahan voi myös olla vaikuttavana tekijänä pieniin purkautumismääriin sulamisen alkuvaiheessa.

Vuorokausivaihteluihin nähden on huomattava, että viljelyillä alueilla ne näyttävät olevan suuremmat kuin viljelemättömillä. Kuvassa 4 on vastaavasti esitetty Viipurin lähellä olevan Rajaojan, jonka sadealue on 13,5 km² ja järvisyys 3 %, vuorokausivaihteluita keväällä 1937. Alueella

on viljeltyä 18 %; järvet sijaitsevat sivuväylillä, joten niillä on vaikutusta vain pienen alueen purkautumiseen. Maasto on mäkistä, maalajiltaan alue on pääasiassa moreenimaata ja savipitoista kivennäismaata sekä osaksi turvemaata.



Huhtikuu — April 1937

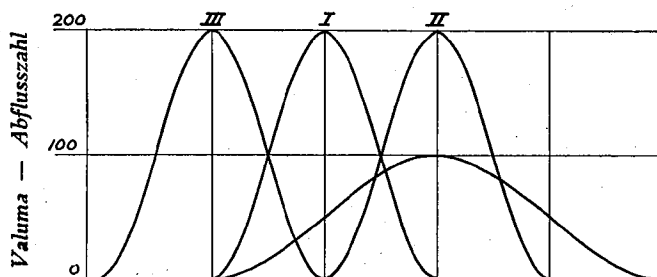
Kuva 4 — Abb. 4

Alueen maantieteellisellä asemalla on myös vaikutusta vuorokausivaihteluihin. Pohjois-Suomessa, missä ylivesi sattuu myöhään, jolloin vuorokauden lämpövaihtelut valoisien öitten vuoksi ovat pienet, vuorokausivaihtelut ovat pienemmät kuin Etelä-Suomessa. Esim. 50 km Rovaniemeltä etelään sijaitsevan Kotiojan alueella, jonka pinta-ala on 15.5 km² ja jossa on runsaasti suomaita, mm. aukeita nevoja tai lettoja n. 40 %, vuorokausivaihtelua ei ole esiintynyt vuosina 1934—1937. Järviä ei alueella mainittavasti ole.

Vuorokausivaihteluihin vaikuttaa lisäksi sadealueen suuruus. N. 100 km² suuruisilla alueilla niiden suhteellinen osuus Etelä-Suomessakin jo on vähäinen ja yleensä merkityksetön.

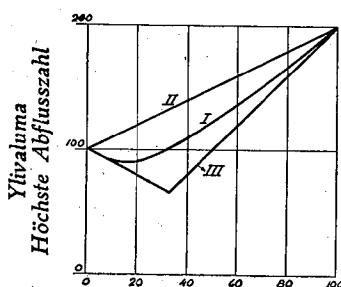
Tulva-alueet ja järvet tasoittavat vuorokausivaihtelut niin, että esim. Viipurin lähellä olevassa Ihantalanpurossa, jonka sadealue on 12.5 km² ja järvisyys 8 %, niitä ei esiinny

juuri lainkaan. Vuorokausivaihtelut pitkittävät kevään yliviesikautta. Vanhoja vesiväyliä perkaamalla ja poistamalla viljelysmaailta tulva-alueita, edistetään pienillä vesiväylillä vuorokausivaihteluiden suurenemista ja siinä mielessä lisään hetkellistä tulvahuippua. Milloin tulva-alueet ovat niin pienet, että päivällä noussut vesi laskeutuu yön aikana uomaansa, tällaisten tulva-alueiden purkautumista tasoitava vaikutus keskittyy pienillä vesiväylillä varsinkin Etelä-Suomessa pääasiassa vuorokausivaihteluiden tasoittamiseen.



Ajanjakso — Period

Kuva 5 — Abb. 5



Peltoprosentti — Ackerprozent

Kuva 6 — Abb. 6

Selventääkseni vielä maankuivatustoimenpiteitten vaikutusta vesien samanaikaiseen kokoontumiseen vesiväylillä, esitän erään kaavamaisen esimerkin. Oletetaan, että pelloilla ylivaluma keväällä on 2 kertaa niin suuri kuin metsämailla (olkoon ylivaluma metsässä 100 ja pelloilla 200). Lisäksi oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että tulvakumpu on sinikäyrän, jonka vaihekulma muuttuu $-\frac{\pi}{2}$:sta $+\frac{3\pi}{2}$:een, muotoinen ja että kokonaispurkautuminen molemmilla alueilla on sama (kuva 5). Asetetaan peltokäyrä ensiksi sellaiseen asentoon, että sen alkupiste yhtyy metsäkäyrän alkupisteeseen (I). Kun alue muuttuu metsäalueesta vähitellen peltoalueeksi, niin ylivaluma muuttuu kuvassa 6 esitetyllä tavalla (käyrä I). Ylivaluma siis aluksi pienenee sen johdosta, että peltoalueelta osa vesiä on virrannut pois ylivaluman saavuttaessa metsäalueella huippunsa. Mutta kun peltoa on n. 20 %, alkaa käyrä kohota ja sivuuttaa lähtökorkeuden n. 30 peltoprosentin kohdalla. Tämän jälkeen käyrä melkein suoraviivaisesti kohoaa saavuttaakseen 100 peltoprosentin alueella arvon 200. Jos peltokäyrä kuvassa 5 asetetaan asentoon II, jossa huiput sattuvat samanaikaisesti, muuttuu ylivaluma suoraviivaisesti 100—200 peltoprosentin lisääntyessä 0—100 (kuva 6, viiva II). Jos taas peltokäyrä asetetaan kuvassa 5 asentoon III summakäyrä on kaksihuippuinen. Suuremman maksimin muutosta peltoprosentin muuttuessa 0—100 esittää viiva III kuvassa 6. Tapauksessa II ylivaluman muutoksia kuvaava viiva kulkee siis koko ajan viivojen I ja III yläpuolella.

Jos suhde pelto- ja metsäalan ylivaluman välillä on 3 tai 4, on vaikutuksen suunta tapauksissa I ja III tällöinkin aluksi ylivalumaa pienentävä. Vaikutus peltoprosentin muuttuessa 0—30 on siis ennen kaikkea riippuvainen siitä, mihin aikaan peltoalueen ylivaluma sattuu metsäalueeseen verrattuna. Kun lumet yleensä häviävät pelloilta aikaisemmin kuin metsistä, on todennäköistä, että kehitys luon-

nossa tapahtuu pikemminkin viivojen I ja III (kuva 6) kuin viivan II mukaisesti. Tässä on kuitenkin peltojen asemalla vaikutusta; vesistöjen latvaosilla sijaitsevat pellot voivat aikaansaada viivan II mukaisen kehityksen.

Ennen kuin ryhdyn havaintojen nojalla tarkastelemaan, voidaanko luonnossa todeta edellä esitettyä ylivaluman kehitystä peltoprosentin muuttuessa, on vielä syytä tarkastella eräitä ylivesimääriin vaikuttavia tekijöitä. Käsittelen vain kevään ylivesimääriä, jotka Suomessa ovat tärkeimpiä.

Ne vesimäärät, jotka lumipeitteeseen varastoituvat, riippuvat jossain määrin alueen metsäisyydestä. Tässä ei tule kysymykseen ainoastaan, onko alue metsämaata, vaan myös metsän laatu ja tiheys. KORHONEN on useassa tutkielmassaan todennut, että harvahkoissa metsissä lumivarasto on yleensä suurempi kuin aukeilla. Esim. maaliskuun puolivälissä lumivarasto metsässä on keskimäärin n. 15 % suurempi kuin aukeilla (13). Tiheissä havumetsissä lumivarasto taas on pienempi kuin harvoissa metsissä. Syynä näihin eroavaisuuksiin on tuuli ja talven aikana lumipeitteestä tapahtunut haihtuminen. Aukeilla tuuli kuljettaa lunta kinoksiin ja läheisiin metsiin — mutta tuuli edistää myös aukeilla haihtumista lumipeitteestä. Tätä todistaa mm. se, että Etelä-Suomessa tuulelta suojatuissa paikoissa on suhteellisesti enemmän lunta aukeisiin verrattuna kuin maan pohjoisosissa (14), mikä johtuu siitä, että suoja-ilmioilla tuuli haihduttaa lunta aukeilla runsaammin kuin harvahkoissa metsissä. Metsien tihetessä oksien pidättämä lumimäärä ja haihtumiselle altis pinta-ala lisääntyy, ja lumivarasto pienenee.

Maataloushallituksen vesistötutkimuksissa on koetettu myös selvittää metsän tiheyden ja laadun vaikutusta lumivarastoon. Vuosina 1934—1937 tehtyjen havaintojen mu-

¹³ W. W. Korhonen, Der mittlere Wassergehalt der Schneedecke in Finnland am 15. März in den Jahren 1919—1934, V. Hydr. Konf. d. Balt. Staaten, Bericht 18 A, Helsinki 1936.

¹⁴ W. W. Korhonen, Linienmessungen der Höhe und Dichte der Schneedecke in Finnland, Helsinki 1927.

kaan on havumetsissä, joissa aukkojen suhteellinen määrä (latvusprojektioiden ulkopuolelle jäävä alue) on suurempi kuin 50 %, taikka sekametsissä, joissa aukkoja on enemmän kuin 25 %, samoin kuin lehtimetsissä lumivarasto ollut suurempi kuin peltoaukeilla. Metsäaukoissa on lumipeitteen vesiaron maksimi keväällä ollut keskimäärin n. 33 %, eli 34 mm suurempi kuin peltoaukeilla. Tämä lumimäärän pieneneminen siirryttäessä metsäalueista peltoalueisiin on viimeksimainituilla tulvia pienentävä tekijä.

Toinen seikka, johon on syytä kiinnittää huomiota, on maan routaantuminen. Syksyllä maa on yleensä verraten kostea. Kun maa routaantuu, pidättäytyy tämä vesivarasto maassa kevääseen saakka täyttäen sen varastotilan, mikä kuivatettuun maahan talvella muuten voisi muodostua. Maan routaantuessa imeytyy vielä kapillaarisesti vettä alemmista kerroksista routakerrokseen (15). Mm. SIMOLAN (16) ja RINTEEN (17) tutkimukset osoittavat, että mitä tehokkaammin suo on kuivatettu, sitä syvempään routa siinä talven kuluessa menee. Tämä vähentää sitä vaikutusta, mikä maan kuivattamisella siinä olevaan vedenvarastoitumistilaan on routaantumattomassa maassa. Routa sitäpaitsi vaikeuttaa lumen sulamisessa vapautuvien vesien tunkautumista maahan erittäinkin sulamiskauden alussa, mikä vähentää maassa olevan varastoitumistilan purkautumista tasoittavaa vaikutusta keväällä.

KESO on maininnut (18), että jäätyneellä savimaalakin on hyvä vedenläpäisykyky maan ollessa salaojitettua, ja että vesi sulamisen aikana imeytyy salaojiin aina siihen

¹⁵ G. Beskow, Tjälbildningen och tjällyftningen med särskild hänsyn till vägar och järnvägar, Stockholm 1935.

¹⁶ E. F. Simola, Tutkimuksia viljelysmaiden jäätymisestä ja kirren sulamisesta Maatalouskoelaitoksella vuosina 1924, 1925 ja 1926, Helsinki 1926.

¹⁷ L. Rinne, Über die Tiefe der Eisbildung und das Auftauen des Eises im Niederungsmoor, Tartu 1931.

¹⁸ L. Keso, Beobachtungen über der Dränabfluss in Tonböden und in gefrorenen Böden, V. Hydr. Konf. d. Balt. Staaten, Mittheilung 4 B, Helsinki 1936.

määrään asti, mitä salaojien on laskettu johtavan. Hänen esittämistään, Jokioisissa olevan ilsemerkitsevän salaojaimittarin viikolla 16—22. IV. 1935 piirtämistä viivoista käy ilmi, että purkautuminen noudattaa varsin tarkasti ilman lämpötilavaihteluita. Tutkimuksissa ei kuitenkaan ole mainittu, miten vahva routakerros maassa on ollut. Siinä ei myöskään mainita lumen sulamisessa vapautuvia vesimääriä, jotta voitaisiin arvostella, missä määrin sulamisvedet ovat päässeet salaojiin.



Kuva 7 — Abb. 7

Kuva 7 esittää pintavesiä salaojitetussa liiviissä hiesusavimaassa Kokemäellä 16. IV. 1937. Roudan alaraja oli tällöin 40—50 cm maanpinnasta. Avo-ojitettujen peltoalueiden ylivaluma oli mainittuna päivänä huipussaan. Salaojien laskuaukoista purkautui myöskin vettä. Lumi-peatteen vesiarvo maaliskuun puolivälissä oli ko. pelloilla n. 120 mm. Aikavälillä 15—31. III. vesiarvo oli vähentynyt kaikkiaan n. 30 mm. Aikavälillä 5—16. IV. sulanut vesimäärä oli 90 mm jakautuen siten, että se aikavälillä 5—10. IV. vastasi 0,45 litran ja aikavälillä 10—15. IV. 1,13 litran

keskimääräistä purkautumista sekunnissa hehtaarilta. Jos routaantunut salaojitettu savimaa olisi kyennyt läpäisemään vesiä salaojien lasketun vedenjohtokyvyn mukaisesti eli 0,65 l/s. ha, olisi 16. IV. pintavesiä ollut vain n. 20 mm:n vesikerros. Tällöin ei ole otettu huomioon lainkaan niitä vesimääriä, jotka voivat varastoitua maahan eikä myöskään sulamisen aikana tapahtuvaa haihtumista. Kuten kuvasta havaitaan, pintavesiä oli salaojitetulla pellolla erittäin runsaasti, likimääräisen arvion mukaan n. 50 mm sadekorkeutta vastaava määrä.

Edelläesitetyllä olen pyrkinyt vain osoittamaan, että routa vaikeuttaa salaojitetuillakin mailla vesien tunkeutumista maahan siinä määrin, että keväällä tapahtuu huomattavaa pintavirtailua tiivisperäisissä maissa. Sitä suuremmalla syyllä sitä tapahtuu heikosti ojitetuissa tai ojittamattomissa tiivisperäisissä maissa, joissa maan vedenvarastoimistila keväällä on sangen pieni. Tällaisiin maihin on yleensä luettava myös ojittamattomat suomaat.

Helposti läpäisevissä maissa maahan varastoituvien vesien osuus voi tulla niin suureksi että pintavirtailua ei mainittavasti tapahdu. Tällaisissa maissa viljelys- ja maankuivatustoimenpiteiden vaikutus purkautumissuhteisiin lienee vähäinen.

Sellaisina vuosina, jolloin routaa ei esiinny, kuivatuksen aiheuttama maan varastotilan lisäys voi tasoittaa purkautumisvaihteluija tehokkaammin kuin routavuosina. Mutta vaikka osa sulamisvesistä varastoituu maahan, osa vesistä valuu toisaalta nopeammin vesiväylille kuin ennen kuivatusta ja vaikutus alapuolisessa vesistössä voi tällöinkin olla ylivalumaa lisäävä, riippuen alapuolisen vesiväylän ylivaluman ajankohdasta.

Mitä erittäin soihin tulee, niiden ollessa keväällä jäässä cstyy turpeen laajentuminen vesimäärien lisääntyessä. Suuren vesipitoisuutensa ja huonon vedenjohtokykynsä johdosta turvemaat voitaneenkin keväällä vaikutukseensa nähden rinnastaa vaikeastiläpäiseviin kivennäismaihin. Suot

eronnevatkin tällöin purkautumissuhteidensa puolesta vaikeastiläpaisevistä kivennäismaista pääasiassa vain sikäli, mikäli niiden metsäisyys, maanpinnan vähäinen vietto, maan huokoistila sekä maanpinnan pienet epätasaisuudet eroavaisuutta aiheuttavat.

Soilla on usein puunkasvu harvaa ja heikkoa. Räme- ja korpisoilla on tästä johtuen yleensä runsaasti lunta — mutta laajoja nevasoita voitaneen tässä suhteessa verrata peltoaukeisiin. Tämä erilainen lumimäärä eri suotyypeillä pääasiassa aiheuttaa sen, että lumensulamainen niillä päättyy eriaikaisesti — räme- ja korpisoilla myöhemmin kun nevasoilla. Tässäkin suhteessa nevat ovat lähinnä peltoaukeisiin verrattavia, joskin vähäistä eroa voidaan havaita.

Suot ovat yleensä — Pohjois-Suomen rинnesoita lukuunottamatta — heikosti viettäviä. Tämä seikka hidastaa vesien valumista. Toisaalta se kärjistää koko lumivaraston purkautumisen siihen ajankohtaan, jolloin lumi sinänsä ei enää ole valumista estämässä. Lumivarasto on, varsinkin Pohjois-Suomessa ja suurina tulvakeväinä siksi suuri, että aukeilla nevoilla ja letoilla, missä vesi jo syksyllä, maan rountaantuessa täyttää maanpinnan epätasaisuudet, syntyy huomattavaa pintavirtailua. Räme- ja korpimailla taasen pohjavesi on syksylläkin jonkin verran maanpinnan alapuolella, niin että vaikka itse turpeeseen ei jää varastoimistilaa, maanpinnan pienet epätasaisuudet voivat muodostaa varastoimistiloja ja ehkäistä kevätvesien pintavirtailua. Nämä seikat aiheuttavat, että nevasoilla ylivaluma voi muodostua huomattavasti suuremmaksi kuin räme- ja korpimailla sekä metsäisillä kivennäismailla. Tähän suuntaan viittaa esimerkiksi taulukossa 1 esitetty vertailu Ranualla olevien Kotiojan ja Ylijoen keski-ylivalumasta vv. 1934—37 (tässä on otettu huomioon vuorokauden keski-valuma).

Kotioja muodostaa osan Ylijoen sadealueesta, yhtyen siihen vesiasteikon yläpuolella. Molemmat alueet ovat erittäin suorikkaita. Kuten yhdistelmästä havaitaan on ylivaluma Ylijoella — huolimatta suuremmasta sadealueesta

Taulukko 1. Tabelle 1.

Alue Gebiet	Sadealue — Niederschlagsgebiet				Keski-ylivaluma vv. 1934—37 Mittlere höchste Abflusszahl l/s. km ²
	Km ²	järviä 0/0 See 0/0	aukeaa 0/0 (pääasiassa nevasoita) Unbewaldet 0/0	metsämaata 0/0 Bewaldet 0/0	
Kotioja . .	15.5	0	n. 40	n. 60	244
Ylijoki . .	76	2	n. 50	n. 50	299

ja järvalasta — huomattavasti suurempi kuin Kotiojalla. Kotiojalla voi ylivalumaa pienentävänä tekijänä mahdollisesti olla lisäksi, että alueeseen kuuluu korkeahkon vaaran koillis- ja pohjoisrinteitä suhteellisesti enemmän kuin Yljoen alueeseen. Näiltä rinteiltä lumi sulaa myöhemmin kuin aukeilta nevoilta.

Mitä ojituksen vaikutukseen suomailla tulee, on toisaalta huomioitava kaivettujen vesiväylien purkautumista jouduttava vaikutus — toisaalta ojitus aiheuttaa maanpinnan epätasaisuuksien ja maahuokosten muodostaman varastotilan lisääntymistä. Varsinkin nevasoilla voi maanpinnan epätasaisuuksien muodostama varastotila lisääntyä soita ojitetessa juuri siitä syystä, että tämä varastotila luonnollisilla soilla on syksyisin, maan routaantuessa, veden täyttämää. Tällaisilla soilla voidaan ojituksella siinä määrin edistää purkautumista hidastavien tekijöiden vaikutusta, että ylivaluma voi pienentyä. Rämö- ja korpisoilla ojituksen virtailua jouduttava vaikutus sen sijaan voi tulla varsin huomattavaksi, riippuen mm. ojien sijoituksesta. Kun ne sijoitetaan notkoihin tai pidättämään rinteiltä valuvia vesiä, kuten mm. metsäojituksissa tehdään, ja kun vedet kerääntyvät sulamiskaudella näihin notkoihin, ojat jouduttavat vesien purkautumista. Ojitus helpoittaa lisäksi vesien pintavirtailua mm. sen johdosta, että suot painuvat niiden lähistöllä runsaammin kuin kaukana niistä. Ojitettujen alueiden sijaitessa vesistöjen latvaosilla tai sellaisilla

alueilla, joilta lumi sulaa myöhään, tämä entistä nopeampi purkautuminen voi tapahtua juuri silloin, kun pienillä ja vähäjärvisillä vesiväylillä tulvat ovat huipussaan.

Yksityisten tekijöiden vaikutuksia erittelemällä on kuitenkin vaikea ratkaista, onko kokonaisvaikutus ylivesimääriä suurentava tai pienentävä, koska eri tekijät vaikuttavat vastakkaisiin suuntiin eikä voida määrätä yksityisen tekijän vaikutuksen suuruutta. Seuraavassa tarkastetaan sen vuoksi vielä, miten peltoalan vaikutus kevään ylivesimääriin tulee näkyville havaintotuloksissa.

Taulukossa 2 on esitetty kahdeksan vähäjärvisen alueen (neljä paria rinnakkaisalueita) keski-ylivaluma (vuorokauden keskivaluman nojalla määrätty). Rinnakkaisalueet rajoittuvat toisiinsa lukuunottamatta Mynäjoen ja Putaanjoen alueita, joiden etäisyys toisistaan on n. 35 km. Näilläkin alueilla ilmastolliset olosuhteet ovat samanlaisia ja lumivaraston erot johtuvat pääasiassa maaston erilaisuudesta.

Mynäjoen alueella on runsaasti korpi- ja rämesoita. Putaanjoen alueella suomaata on suhteellisen vähän maalajin

Taulukko 2. Tabelle 2.

Alueen nimi Name	Paikkakunta Ortschaft	Vuosi Jahr	Sadealue — Niederschlags- gebiet			Keski-ylivaluma Mittlere höchste Abflusszahl l/s. km ²
			Pinta-ala Areal km ²	Järvi- See- ‰	pelto- Acker- ‰	
Mynäjoki Putanjoki	Karjala Vehmaa	1934—37	90	1	2	93
		1934—37	94	1	40	100
Rajaoja Myllykorv.oja	Nuijamaa „	1934—37	13.5	3	18	128
		1934—37	7.5	0	39	162
Huhtisuonoja Latosuonoja	Ruokol. „	1935—37	4.5	0	0	178
		1935—37	4.5	0	n. 20	110
Rausenoja Löytäneenoja	Kokemäki „	1936—37	8	1	41	213
		1936—37	7	0	75	250

ollessa savipitoista ja yleensä vaikeasti läpäisevää, mutta osaksi myös helposti läpäisevää, ojitettua urpasavea. Muodoltaan alueet muistuttavat toisiaan. Kummallakin alueella on vesiväyliä perattu.

Taulukosta havaitaan, että Putaanjoella keski-ylivaluma on vain hieman suurempi kuin Mynäjoella huolimatta siitä, että peltoa on n. 40 % enemmän. Tässä kuitenkin pelto-prosentin muutos on sellainen (vert. kuva 6, viiva I), että edelläesitetyn mukaan ei ole odotettavissakaan mainittavaa eroa ylivalumassa.

Rajaojan alue eroaa Myllykorvenojan alueesta ennen kaikkea muotoonsa nähden. Edellinen on pitkähkö ja sivuväylillä järviä, jälkimmäinen pyöreähkö, useitten haaraantuneitten vesiväyliä yhtyessä mittauspaikan yläpuolella. Alueella on enemmän hiekkamaita kuin Rajaojalla, jonka maalajit yleensä ovat vaikeahkosti läpäiseviä. Rajaojan alue on mäkistä, Myllykorvenojan alue on tasaisempaa, mutta siinäkin on osaksi mäkimaastoa.

Myllykorvenojan alueella keski-ylivaluma on huomattavasti suurempi kuin Rajaojan alueella. Tähän voivat olla syynä myöskin sadealueen suuruuden ja muodon eroavaisuudet, mutta on todennäköistä, että se osaksi johtuu myös runsaammasta peltoalasta. Varsinkin hetkellisissä maksimeissa, jotka Myllykorvenojalla ovat olleet keskimäärin 30 % ja Rajaojalla 5 % suuremmat kuin vuorokauden keski-valuman kevätmaksimi, on ylivalumien ero huomattava ja ilmeisesti peltoalalla on tähän eroavaisuuteen vaikutusta.

Huhtisuonojan alueella on nevasoita ja alue suorikkaampi kuin Latosuonojan alue, jossa alueen keskustassa oleva suo-alue on viljelty. Huhtisuolla ei ole lainkaan ojia. Alue on muodoltaan pitempi kuin Latosuonojan alue. Latosuonojalla purkautumismäärät alkavat keväällä lisääntyä aikaisemmin kuin Huhtisuolla, mutta ylivaluma on likimäärin samanaikainen. Vaikkakin ylivalumassa havaittava suuri eroavaisuus johtunee huomattavalta osaltaan sadealueiden erilaisesta laadusta, voi siihen olla myös syynä osittain se,

että peltoprosentti ja peltoalan sijoitus on sellainen, että kuvassa 6 esitettyjen viivojen I ja III mukaan on Latosuonojalla odotettavissakin pienempi ylivaluma kuin Huhtisuonojalla.

Rausenojan alueella on runsaasti hiekkamaita, kun taas Löytäneenojan alue on pääasiassa tiivistä hiesusavea. Alueet sijaitsevat fasankomaalla. Muodoltaan alueet ovat toistensa kaltaisia. Löytäneenojan suurempi keski-ylivaluma Rausenojaan verrattuna voi johtua osaksi Rausenojan läpäisevästä maalajista, osaksi lienee siihen syynä Löytäneenojan alueen suuri peltomäärä. Erittäinkin hetkellisessä maksimissa, joka Löytäneenojalla on keskimäärin 35 % ja Rausenojalla 17 % suurempi kuin vuorokauden keskivaluman kevätmaksimi, esiintyvään suureen eroon on ilmeisesti peltoalalla vaikutusta.

Edelläolevat esimerkit näyttävät siis tukevan kuvassa 6 esitetyn, viivojen I ja III mukaista ylivaluman kehitystä. Kun toimitetaan vertailuja rinnakkaisalueilla, voidaan kuitenkin helposti ylivesimääriin vaikuttavien lukuisien tekijöiden vuoksi tehdä virheellisiä johtopäätöksiä, jos verrataan vain yhden tekijän vaikutusta. Tämän vuoksi olenkin koettanut saada asiaan vielä lisävalaistusta määräämällä 23 alueella, joiden suuruus vaihtelee 4,5—116 km² ja järvisyys 0—3 %, kevätkauden keski-ylivaluman vv. 1934—1937. Jokaisella alueella havaintoja ei ole suoritettu kaikkina neljänä vuonna. Alueet olen ryhmittänyt 4 ryhmään, joissa peltoprosentti vaihtelee 0—2, 7—22, 27—33 ja 39—75, ja määrännyt ryhmäkeskiarvot. Ryhmäkeskiarvot on määrätty painollisina huomioimalla havaintokauden pituus. Ryhmäkeskiarvot sekä alue-ääriarvot (sulkumerkeissä) on esitetty taulukossa 3.

Jotta eri ryhmien tuloksia voitaisiin verrata keskenään, olen muuntanut ryhmäkeskiarvot 40 km² suuruista sadealuetta vastaaviksi olettamalla, että ylivaluma on kääntäen verrannollinen sadealueen pinta-alan kuudenteen juureen. (3). Lisäksi olen muuntanut kevään lumivaraston keski-

Taulukko 3. Tabelle 3.

	Peltoprosentti — Ackerprozent			
	1 %	15 %	30 %	43 %
Alueiden lukumäärä Zahl der Gebiete	7	5	5	6
Havaintovuosien lukumäärä (yhteensä) Zahl der Beobachtungsjahre (zusammen)	26	19	18	20
Sadealue (km ²) Niederschlagsgebiet (km ²)	42,7 (4,5—90)	38,5 (4,5—67)	68,5 (13—116)	43,4 (7—94)
Järviprosentti Seeprozent	0,9 (0—2)	1,7 (0—3)	0,6 (0—1)	1,3 (0—3)
Kevään lumivaraston keskimaksimi (mm) Mittlere maximale Wassergehalt der Schneedecke (mm)	128 (72—218)	105 (95—122)	97 (90—111)	78 (61—120)
Kevään keskiylivaluma l/s. km ² Mittlere höchste Abflusszahl in Frühjahr (l/s. km ²)	172 (93—299)	120 (106—128)	106 (100—112)	138 (91—250)

maksimin nojalla ryhmäkeskiarvot 100 mm lumivarastoa vastaavaksi ylivalumaksi. Maataloushallituksen vesistö-tutkimuksissa on nimittäin todettu, että pienillä ja vähäjärvisillä alueilla keski-ylivaluma on vv. 1934—1937 ollut suoraan verrannollinen lumivaraston keskimaksimiin siten, että lumivaraston kasvaessa 70:stä 140 mm:n keski-ylivaluma (vuorokauden keski-valuma) on kasvanut likimäärin 1,6 kertaiseksi. Järviprosenttiin nähden en ole korjauksia suorittanut. Keski-ylivaluma jäänee 15 ja 43 peltoprosentin ryhmissä tämän johdosta suhteellisesti liian pieneksi. Suhteelliset arvot muuntamisen jälkeen verrattuna ensimmäisen ryhmän arvoihin on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tabelle 4.

Peltoprosentti Ackerprozent	Ylivaluma Höchste Abflusszahl
1	100
15	79
30	82
43	112

Kuten taulukosta 3 havaitaan, ryhmässä, jossa on peltoa keskimäärin 1 %, kevään lumivaraston keskimaksimi on huomattavasti suurempi kuin muissa ryhmissä. Tämä johtuu edellämainittujen Kotiojan ja Yljoen alueiden poikkeuksellisista arvoista. Jos nämä alueet jätetään keskiarvoista pois, jää ryhmään 5 aluetta havaintovuosien lukumäärän ollessa 18. Ryhmäkeskiarvot ovat tällöin:

Sadealue	41,2 (4,5 —90) km ²
Järviprosentti	0,8 (0 —1)
Kevään lumivaraston keskimaksimi	89 (72—122) mm
Kevään keski-ylivaluma	128 (93—183) l/s.km ²

Sulkumerkeissä ovat eri alueiden ääriarvot.

Jos nämä arvot huomioonottaen ryhmäkeskiarvot muunnetaan edelläesitetyllä tavalla 90 mm lumivarastoa ja 40 km² sadealuetta vastaavaksi keski-ylivalumaksi, saadaan taulukossa 5 esitetyt arvot:

Taulukko 5. Tabelle 5.

Peltoprosentti Ackerprozent	Ylivaluma Höchste Abflusszahl
1	100
15	84
30	86
43	120

Muuntamisen olen suorittanut myös käyttämällä RENGQVISTIN esittämää kaavaa (20).

$$q = 10 + \frac{8 L}{1 + 0.02 P^2 + 0.01 \sqrt{F} + 0.0001 P^2 \sqrt{F}}$$

jossa q = keski-ylivaluma (l/s.km²)

P = järvi-prosentti

F = sadealueen pinta-ala (km²)

L = lumipeitteen vesivaraston keskimääräinen maksimivähenneminen vuorokaudessa (mm)

siten, että taulukossa 3 esitettyjen q :n, P :n ja F :n ryhmä-keskiarvojen nojalla olen laskenut kussakin ryhmässä L :n arvon ja tätä arvoa käyttäen määrännyt keski-ylivaluman sellaisella sadealueella, jonka pinta-ala on 40 km² ja järvi-prosentti 1. Näin saadun arvon olen muuntanut vielä samalla tavoin kuin aikaisemmin 100 mm lumivarastoa vastaavaksi keski-ylivalumaksi. Suhteelliset arvot, verrattuna ensimmäisen ryhmän arvoon, on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Tabelle 6.

Peltoprosentti Ackerprozent	Ylivaluma Höchste Abfluss- zahl
1	100 (100)
15	86 (87)
30	76 (80)
43	115 (120)

Sulkumerkeissä on esitetty suhteelliset arvot, joita määrättäessä ensimmäisessä ryhmässä on Kotiojan ja Yliojan alueet jätetty laskelmista pois ja arvot on muunnettu 90 mm lumivarastoa vastaaviksi.

²⁰ H. Rengqvist, Sadealueen suuruuden vaikutuksesta tulvamäärään, Teknillinen Aikakauslehti N:o 1, Helsinki 1933.

Näissä laskelmissa ei ole lainkaan otettu huomioon, että peltoalueilla lumivarasto on yleensä pienempi kuin metsä-alueilla, mikä olisi vaikuttanut pienentävästi ennenkaikkea neljännen ryhmän muunnettuihin arvoihin. Kehityksen yleissuuntaa, joka kaikissa laskelmissa on sama, se ei kuitenkaan olisi voinut muuttaa.

Tulokset tukevat sitä olettamusta, että peltoprosentin kasvaessa esiintyy sen suuntainen kehitys ylivalumassa, mitä kuvassa 6 viivat I ja III esittävät. Tämä edellyttää, että peltoalueen ylivaluma on suurempi kuin viljelemättömän alueen, ja että peltoalueilta vedet valuvat aikaisemmin kuin viljelemättömiltä alueilta. Kysymyksessä olevilla havainto-alueilla pellot sijaitsevat yleensä vesistöjen varsilla ja alajuoksulla, mikä jouduttaa vesien valumista. Tällöin lumen aikaisempi sulaminen ja vesien nopeampi valuminen pelloilla metsiin verrattuna vaikuttaa aluksi ylivalumaa pienentävästi, mutta suhteellisen peltoalan sivuuttaessa määrätyn arvon, ylivaluma rupeaa lisääntymään. Jos sen sijaan uudisraivauksia ja ojituksia toimitetaan vesistöjen latvoilla, tällöin vesien virtailun jouduttamisella on todennäköisesti toisenlainen vaikutus.

Edelläolevan nojalla voitaneen myös olettaa, että kaivettaessa viemäreitä sellaisille alueille, joilla joudutetaan vesien virtailua, vettymisvaaraa ei teoreettisesti enää esiinny siellä, missä viemäri liittyy vesiväylään, jonka sadealue on n. 2 kertaa niin suuri kuin sen oma sadealue. Tällöinhän nimittäin se alue, jossa joudutetaan vesien virtailua, tulee muodostamaan 30—40 % kokonaisalueesta, jolloin ylivaluma on saman suuruinen kuin alueella, jossa ei muutoksia vesien virtailusuhteisiin ole aiheutettu. Missä siis on pelättävissä vettymisvaaraa, olisi vesiväylää perattava riittävän kauas alaspäin. Tässäkin on huomattava, että vesistön latvaosalla suoritettuihin toimenpiteisiin nähden olosuhteet ovat toiset kuin alajuoksulla ja sivuväylillä.

Vettymisvaaran aiheuttajana on paitsi ylivaluman lisääntymistä, myös muita tekijöitä, ennen kaikkea vesiväyli-

liettyminen alapuolella, mutta tähän seikkaan en tässä yhteydessä puutu. Eritoten aiheuttaa vettymistä — mitä metsäojituksissa on useasti tehty — että oja lopetetaan rajalle, vaikka alapuolella ei ole lainkaan vesiväylää.

Virallisen tilaston mukaan on suhteellisesti eniten peltoa Uudenmaan läänissä, jossa sitä oli v. 1935 23 % pinta-alasta. Turun ja Porin läänissä oli peltoa v. 1935 20 %. Seuraavat järjestyksessä ovat Hämeen, Vaasan ja Viipurin läänit. Peltoa näissä oli v. 1935 13, 12 ja 10 %. Oulun läänissä peltola oli vain 1 % pinta-alasta. Missään läänissä ei siis vielä ole saavutettu sitä suhteellista peltomäärää, jossa edellä esitetyn mukaan ylivaluma ylittää viljelemättömän alueen ylivaluman. Yksityiset vesistöt voivat olosuhteiltaan olla toisenlaiset, mutta suurissa vesistöissä ei viljelysalan lisääntymisellä ja viljelysviemärien perkaamisella liene yleensä ollut mainittavaa vaikutusta tulvia suurentavana tekijänä, pikemminkin päinvastoin. Tässä on lisäksi otettava huomioon, että viljelysalan lisääntyminen on huomattavalta osalta tapahtunut niittyalan kustannuksella, mitä osoittaa mm., että vv. 1901—35 niittyala on koko maassa vähentynyt n. 3 % maan pinta-alasta eli likimäärin saman verran kuin peltola on lisääntynyt. Tällöin ei siis metsäala ole mainittavasti pienentynyt viljelystoimenpiteiden johdosta varsinkin, kun niittyalan lisäksi uudisraivaukset ovat kohdistuneet pääasiassa harvametsäisille soille. Pienillä alueilla on sen sijaan ilmeistä, että perkaus- ja viljelystoimenpiteiden aiheuttama ylivaluman lisääntymistä on paikka paikoin tapahtunut siellä, missä järvet eivät ole tasoitamassa purkautumisvaihteluja.

Edellä on kosketeltu kevään ylivalumaa. Kesäsateitten aiheuttamiin tulviin nähden olosuhteet ovat huomattavasti toisenlaiset. Sade ei ulotu niin tasaisesti koko alueelle kuin lumivaraston sulaminen, eivätkä sadevedet rupea virtailemaan peltolaueilla systemaattisesti hieman aikaisemmin kuin metsäalueilla, kuten on asian laita lumen sulamisessa vapautuviin vesiin nähden. Yökylmien vaikutusta ei myöskään

esiinny, routaa ei ole maassa, haihtuminen on runsasta jne. En halua kuitenkaan tässä enää ryhtyä erittelemään näitä seikkoja yhtä vähän kuin viljelys- ja perkaustoimenpiteiden vaikutusta kokonaispurkautumiseen tai aliveteen. Tahdon vain mainita, että Suomessa äkilliset rankkasateet vain harvoin aiheuttavat tulvia. Useammin niitä aiheuttavat sadekausina sattuneet maasateet, jolloin maassa oleva varastotila on täynnä vettä ja sateen alue on laaja. Myöskin tällöin maankuivatustoimenpiteiden purkautumista jouduttavalla vaikutuksella on merkitystä ylivalumaan. Siinä tapauksessa, että tulvia aiheuttava sade sattuu aikana, jolloin maassa on varastotilaa sadevesille, kuivatuksen aiheuttamalla varastotilan lisäyksellä on merkitystä tulvia tasoitavana tekijänä.

Kokonaispurkautumista silmälläpitäen taasen haihtumistekijä tulee määrääväksi. Laajoilla aukeilla tuulen haihuttava vaikutus lisääntyy etenkin silloin, kun veden kapillaarinen nousu maanpintaan on mahdollista. Soilla myös haihtuminen on runsasta ja kuivatus voi sitä tuntuvasti vähentää. Mainittakoon, että eräät venäläiset tutkijat katsovat kokonaispurkautumisen soilla riippuvan suoraviivaisesti vesiväylätiheydestä ($= \frac{\text{vesiväyliä pinta-ala km}^2}{\text{pituus km}}$) siten, että mitä paremmin suo on kuivatettu, sitä suurempi on sen kokonaispurkautuminen (21). Tämän suuntaisia tuloksia on saatu myös maataloushallituksen vesistötutkimuksissa. Kuten jo mainittiin, RENVIST on myös esittänyt, että maankuivatustyöt voivat lisätä keskivettä.

²¹ A. D. Dubach, Der Einfluss der Entwässerungsarbeiten auf das Regime der Flüsse, IV. Hydr. Konf. d. Balt. Staaten, Leningrad 1933.

Über den Einfluss der Entwässerungsarbeiten auf die Abflussverhältnisse der Gewässer in Finnland.

In dem Aufsatz wird hauptsächlich der Einfluss der Entwässerungsarbeiten auf die durch die Schneeschmelze bewirkte höchste Abflusszahl behandelt.

Verfasser berichtet anfangs über die Ansichten, die in Finnland und Schweden über den Einfluss der Entwässerungsarbeiten vorgebracht worden sind. Danach bespricht er kurz den Einfluss der Beseitigung der an Seen und Flüssen auftretenden Überschwemmungsgebiete. Im allgemeinen wird durch derartige Massnahmen das Hochwasser gewässerabwärts gesteigert, aber es kann sogar nahezu unverändert erhalten werden, obgleich der Aufspeicherungsraum sich verringert. Abb. 1 zeigt die durch die geplante Flussregulierung verursachten Änderungen im Aufspeicherungsvermögen des in Südfinnland gelegenen Sees Haapaniemijärvi. Linie 1 stellt die aus dem See abfliessende Wassermenge vor der Regulierung und Linie 2 die nach der Regulierung, Linie 3 den Zufluss zum See dar. Das Aufspeicherungsvermögen des Sees verringert sich um ca. 26%, aber die Hochwassermenge vermehrt sich nur um 0,1 m³/s. Abb. 2 zeigt entsprechende Abflusskurven vor und nach der Regulierung. Das Grundwehr, in der Mündung des zum See gehörigen Ablaufflusses geplant, bewirkt den Inflexionsknick von Kurve 2.

Durch Beseitigen der Überschwemmungsgebiete der Flüsse wird allerdings die Hochwassermenge vermehrt, aber der Einfluss auf die Mittel- und Niedrigwassermengen bleibt gering.

Bei den Regulierungseinflüssen ist besonders der Zeitpunkt des Hochwassers von Bedeutung. In Finnland fällt er im Frühjahr bei kleinen Flussläufen ohne Seen in eine Zeit, in welcher der Schnee von den Feldern, die dem Einfluss der Winde ausgesetzt sind, hauptsächlich verschwunden ist. Die Seen verzögern den Augenblick des Hochwasserintritts. Z. B. bei einem Seeprozent von 10 beträgt die Verzögerung bei Gebieten von 10 km² Grösse im Vergleich zu Gebieten ohne Seen ca. 4 Tage und bei Gebieten von 100 km² ca. eine Woche. Auch gibt es andere auf die Zeit des Hochwassers wirkende Faktoren als Grösse und Seeprozent des Niederschlagsgebietes, nämlich sein Waldreichtum, die Lage der Seen usw.

Bei kleinen und Seenarmen Wasserläufen sind zur Zeit des Hochwassers die Tagesschwankungen zu beobachten. Abb. 3 zeigt die im Frühjahr 1937 eingetretenen Abflussschwankungen des in Südwestfinnland gelegenen Löytäneenoja (die Punkte auf der sie darstellenden unterbrochenen Linie bedeuten die Zeit, zu welcher der Abfluss beobachtet worden ist — die durchgehende Linie ist aus Beobachtungen eines selbstandzeigenden Messers erhalten). Das Niederschlagsgebiet des Wasserlaufes beträgt 7 km², eine Tonebene, von der 75% als Acker ist. Die Abflussgräben sind 1935 geräumt worden. In der Abbildung sind ausserdem die zur Zeit der Schneeschmelze angekommenen Wassermengen, die durchschnittlichen Werte von 5 Tagen (gebrochene Linie) und die Temperaturschwankungen angegeben. Die grossen Tagesschwankungen treten erst hervor, wenn der Schnee zu einem bedeutenden Teil geschmolzen ist, denn der Schnee an sich hindert das Abrinnen des Wassers. Die gute Beschaffenheit der Wasserläufe verschärft die Tagesschwankungen. Abb. 4 stellt entsprechend die Abflussverhältnisse des in Ostfinnland gelegenen Flusses Rajaoja im Frühjahr 1937 dar.

Das Niederschlagsgebiet umfasst 13.5 km^2 , und an Seen sind 3 % vorhanden. Die Seen liegen an den Nebenwasserläufen. Das Gelände ist hügelig und die Bodenart tonhaltiger Mineralboden sowie teilweise Torfboden. In Nordfinnland sind die Tagesschwankungen im Frühjahr kleiner als in Südfinnland, was darauf beruht, dass das Hochwasser so spät im Frühling eintritt, dass die Temperaturschwankungen wegen der hellen Nächte klein sind.

Die Seen und grossen Niederschlagsgebiete gleichen die Tagesschwankungen aus.

Verfasser bringt ein schematisches Beispiel zur Klarlegung des Einflusses der Entwässerungsmassnahmen, indem er annimmt, dass auf den Feldern die höchste Abflusszahl 200 sowie im Walde 100 beträgt, dass ferner zur Hochwasserzeit die Gesamtwassermenge bei beiden gleich gross und die Kurve für die abzuführende Wassermenge wie die Sinuskurve geformt ist. Wenn die Ackerkurve in Abb. 5 in die Stellung I gebracht wird, dann ändert sich die höchste Abflusszahl nach der in Abb. 6 dargestellten Kurve I bei einem Zuwachs des Ackergebietes von 0 auf 100 %. Bringt man die Ackerkurve in Lage II (Abb. 5), im Vergleich zur Waldkurve, dann gibt die Linie II (Abb. 6) die Änderung der höchsten Abflusszahl an. Auf dieselbe Weise entsprechen die Linien III einander in den Abbildungen 5 und 6.

Wenngleich in der höchsten Abflusszahl das Verhältnis des Ackergebietes zum Waldgebiet 3 oder 4 wäre, so würde in den Fällen I und III die höchste Abflusszahl anfangs bei zunehmendem Ackerprozent kleiner und erst später grösser zu werden beginnen.

Verfasser führt als einen die höchste Abflusszahl verkleinernden Faktor den Umstand an, dass in Finnland auf den Feldern im allgemeinen weniger Schnee als in den Wäldern liegt. Der Bodenfrost dagegen schwächt in gewissem Masse den Einfluss, was bei dem durch die Bodenentwässerung verursachten Auspeicherungsraum ein Überschwemmungen ausgleichender Faktor ist. Abb. 7 stellt die Oberflächenwässer bei gefrorenem, gedräntem, dichtem Tonboden am 16. IV. 1937 bei Kokemäki dar.

Auf Weissmooren ist die höchste Abflusszahl im allgemeinen gross. In Tabelle 1 ist die durchschnittliche höchste Abflusszahl zweier in Nordfinnland gelegenen moorreichen Gebiete in den J. 1934—1937 wiedergegeben (dabei ist die mittlere tägliche Abflusszahl berücksichtigt worden). Auf waldigen Mooren dagegen ist die höchste Abflusszahl normal. Die Entwässerungsmassnahmen können auf Weissmooren auch die Abflussschwankungen verringern.

Verfasser betrachtet danach auf Grund der Beobachtungsergebnisse den Einfluss des Ackerprozents auf die höchste Abflusszahl.

In Tabelle 2 ist die durchschnittliche höchste Abflusszahl für acht Gebiete angeführt. Sie bilden vier Paare von Parallelgebieten, die alle aneinander grenzen, abgesehen von Mynäjoki und Putaanjoki, deren gegenseitige Entfernung ca. 35 km beträgt. Die Parallelgebiete sind in gewissem Masse in Bezug auf Bodenart, Hügeligkeit und Form des Niederschlagsgebiets voneinander unterschieden, was den Vergleich über die Wirkung des Ackergebietes auf die durchschnittliche grösste Abflusszahl erschwert. Jedoch stimmen bei allen Parallelgebieten die Unterschiede in der durchschnittlichen höchsten Abflusszahl beim Vergleichen des Ackerprozents mit der Richtung der auf Abbildung 6 angegebenen Linien I und III überein.

In Tabelle 3 ist die durchschnittliche höchste Abflusszahl für 23 Gebiete, deren Grösse zwischen 4.50–116 km² und deren Seeprozent zwischen 0–3 % schwankt, auf Grund der Beobachtungen angeführt. Die Gebiete sind in 4 Gruppen gegliedert, bei denen das Ackerprozent zwischen 0–2,7–22, 27–33 und 39–75 schwankt. Die Gruppenmittelwerte ebenso wie die Extremwerte sind in der Tabelle angegeben. Zu der ersten Gruppe gehören zwei in Nordfinnland gelegene Gebiete, in denen der Schneevorrat ausnahmsweise gross ist, was auch einen grossen Gruppendurchschnittswert verursacht. Wenn die Werte dieser Gebiete bei der Berechnung unberücksichtigt bleiben, sind die Werte der ersten Gruppe folgende:

Anzahl der Gebiete 5

Anzahl der Beobachtungsjahre 18

Niederschlagsgebiet (km²) 41.2 (4.5–90)

Seeprozent 0.8 (0–1)

Durchschnittsmaximum des Schneevorrats im Frühling (mm) 89 (72–122)

Mittelhochwasser im Frühling l/s. km² 128 (93–183)

Des Vergleichs wegen hat der Verfasser die Gruppendurchschnittswerte der höchsten Abflusszahl unter Anwendung verschiedener Verfahren als der gleichen Niederschlagsgebietsgrösse (40 km²) und Maximal-schneevorrat des Frühlings (100 mm und 90 mm) entsprechend umgewandelt. Die Ergebnisse, mit den Werten der ersten Gruppe verglichen, finden sich in den Tabellen 4–6, und sie zeigen eine mit den Linien I und III auf Abbildung 6 gleichsinnige Entwicklung der höchsten Abflusszahl. Das Ackergebiet kann somit auf 30 % zunehmen, ohne dass die höchste Abflusszahl den Wert des unbebauten Gebietes überschreitet. Dies beruht zu einem beträchtlichen Teil darauf, dass die Äcker im allgemeinen am Unterlauf der Gewässer liegen. Da in Finnland im allgemeinen in den Niederschlagsgebieten der grossen Wasserrläufe noch nicht die erwähnte prozentuale Ackermenge erreicht worden ist, so ist es wahrscheinlich, dass weder die Anbaufläche, noch die Räumung der Entwässerungskanäle einen nennenswerten steigernden Einfluss auf die höchste Abflusszahl gehabt hat.

Hinsichtlich des Gesamtabflusses üben die Bodenentwässerungsmassnahmen nach Verfassers Ansicht namentlich auf Moorböden einen die Wassermengen vermehrenden Einfluss aus.

