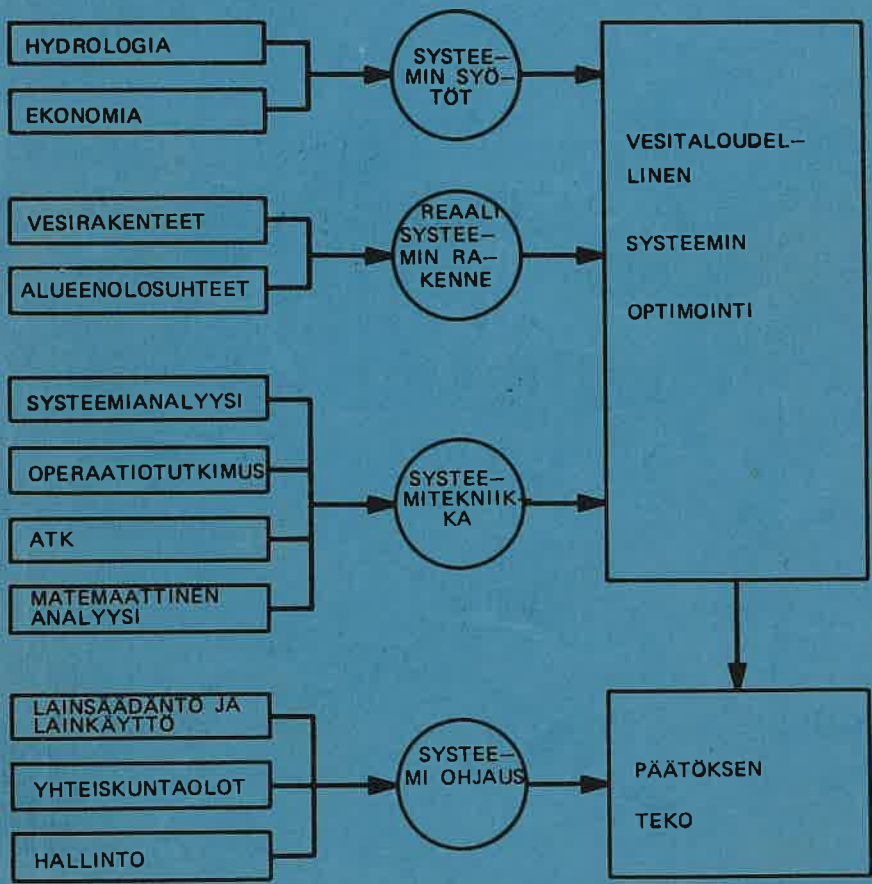


**Jussi Hooli
Erkki Tuononen
Pertti Vakkilainen**

**Vesitalouden
perusteet**
400

otakustantamo

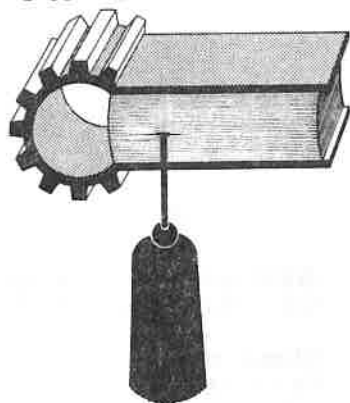


**Jussi Hooli
Erkki Tuononen
Pertti Vakkilainen**

**Vesitalouden
perusteet**

400

otakustantamo



ISBN 951—671—174—X nld.
ISBN 951—671—211—8 sid.

Otapaino
Espoo 1978

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	5
2. IHMINEN JA VESIVARAT	7
2.1 Vesivarojen hyväksikäyttö	7
2.2 Vesivarojen riittävyys	9
2.3 Vesivarojen käytön ohjaus	12
2.4 Vesitalouden tehtäväkenttä	13
Kirjallisuutta	14
3. VEDEN KIERTO JA VESITASE	15
3.1 Hydrologian tehtäväalue	15
3.2 Veden kiertokulun pääpiirteet	17
3.21 Kiertosysteemi	17
3.22 Maapallon vesitaseen pääpiirteitä	20
3.23 Suomen vesitaseen pääpiirteitä	25
3.3 Veden kiertoon vaikuttavat tekijät	37
3.31 Maapallon lämpö- ja tuulioliot	37
3.32 Sateen synty ja sadetyypit	43
3.33 Sateitten luonne Suomessa	46
3.34 Haihdunnan muodot ja vaihtelut	48
3.35 Valunnan muodot ja vaihtelut	49
3.36 Veden varastoituminen maaperään	52
Kirjallisuutta	56
4. VESIVAROJEN LAATU JA AINETASE	58
4.1 Vesivarojen laatu tutkimuskohteena	58
4.2 Vesistöjen ainekuormitus	61
4.21 Aineiden kiertosysteemi	61
4.22 Kuormituslähteet	62
4.23 Huuhtoutuminen maaperästä	62
4.3 Aineiden ja energian kierto vesistössä	66
4.31 Biologinen toimintaperiaate	66
4.32 Pääravinteiden kierto	67
4.33 Järven energiatase	70
4.4 Vesistö toimintasysteeminä	71
4.41 Virtaavat vedet	71
4.42 Järvialtaat	72
4.5 Suomen vesistöt	78
4.51 Vesistöjen synty ja geologinen kehitys	78
4.52 Vesistöjen veden laatu ja käyttökelpoisuus	82
Kirjallisuutta	84

5. HAVAINNOT JA AINEISTON KÄSITTELY	86
5.1 Havainnointi	86
5.11 Sade- ja lumihavainnot	86
5.12 Vedenkorkeuden määrittäminen	90
5.13 Virtaaman määrittäminen	94
5.14 Maaperän vesi- ja routahavainnot	98
5.15 Haihdunnan määrittäminen	100
5.16 Järvivirtausten havainnointi	102
5.17 Veden laadun havainnointi	103
5.2 Tilastollisia käsittelytekniikkoja	106
5.21 Käsittelyn päämäärät	106
5.22 Todennäköisyys ja tilastolliset jakaumat	106
5.23 Toistuvuus, toistumisaika ja pysyvyys	111
5.24 Aikasarjojen analysointi	114
5.25 Regressioanalyysi	118
5.3 Laskentatapoja ja malleja	122
5.31 Aluesadannan laskenta	122
5.32 Vertailuvesistön käyttö	125
5.33 Valumamalleja	125
5.34 Vedenlaatumalleja	131
Kirjallisuutta	138
6. VESIVAROJEN KÄYTÖN SUUNNITTELU	140
6.1 Suunnittelun tehtäväalue	140
6.2 Suunnittelujärjestelmä	143
6.21 Suunnittelutasot ja -alueet	143
6.22 Suunnitteluprosessi	146
6.3 Taloudellisen suunnittelun yleispiirteet	149
6.4 Suunnittelutekniikat	151
6.5 Hankesuunnittelun pääpiirteitä	157
6.51 Järjestely ja säännöstely	157
6.52 Ojitus	159
6.53 Kastelu	166
6.54 Vesistön kunnostus	168
6.6 Vesioikeuskäsittely	169
6.61 Käsittelyn tarkoitus	169
6.62 Toimitusinsinöörin tehtävät	170
6.63 Vesioikeuskäsittelyn kulku	171
6.64 Vesivarojen tilan ja käytön valvonta	172
Kirjallisuutta	174

1. JOHDANTO

Käsillä oleva kirja ”Vesitalouden perusteet” on laadittu oppikirjaksi silmäläpittäen Teknillisen korkeakoulun samannimistä kurssia. Kurssin tavoitteena on antaa perustietous meteorologiasta, luonnonvesien kiertokulusta ja laatuun vaikuttavista tekijöistä sekä vesivarojen hyväksikäytöstä ja suunnittelusta. Kurssin opetusta varten on laadittu aikaisemmin erillisiä tuntimonisteita. Nämä monisteet on nyt karsien, tiivistäen ja osin laajentaen yhdistetty yhdeksi julkaisuksi.

Kirjan kokoonpanossa on pyritty veden kiertokulun ja laadullisten muutosten keskeisten syy-suhteiden havainnolliseen esittämiseen. Pyrkimys suppeassa muodossa esitettyyn kokonaiskuvaan on samalla johtanut tiettyyn yleisluonteisuuteen myös tarkastelukohteena olevien luonnonprosessien ja suunnittelutoiminnan kuvaamisessa.

Kirjan tehtävänä on kuitenkin pääasiallisesti antaa yleisinformaatio käsiteltävästä aihepiiristä. Vesitalouden opetuksessa pääosa kirjan aihepiiristä käydään yksityiskohtaisemmin läpi veden kiertoa, veden laatua ja niiden suunnittelua käsittelevillä yleis- ja erikoiskursseilla. Toisaalta korkeakoulun opetuksessa vesivaroja ja niiden hyväksikäyttöä käsitellään eri puolilta myös muilla rinnakkaisilla yleisinformaatioluonteisilla kursseilla. Osa aihepiiristä on kuitenkin sellaista, jota ei myöhemmillä kursseilla käsitellä.

Nämä lähtökohdat ovat johtaneet jossain määrin epäyhtenäisyyteen käsitteilytavassa. Tätä on osittain voitu vähentää jättämällä meteorologian käsittely varsin vähäiseksi, koska käytettävissä on oppikirjaksi sopiva professori Venhon laatima Tiedon Portaat -sarjassa alunperin julkaistu kirjanen ”Meteorologia”.

Tämän kirjan eri lukujen tehtävät voidaan lyhyesti kuvata seuraavalla tavalla:

Luvussa 2 ”Ihminen ja vesivarat” pyritään lyhyesti vastaamaan kysymyksen miksi ja mitä tietoa vedestä tarvitaan.

Luvussa 3 ”Veden kierto ja vesitase” käsitellään vastaavasti kysymystä miksi ja miten vesi kiertää.

Luvussa 4 ”Veden laatu ja ainetase” kuvaillaan pääpiirteittäin veden laatuun vaikuttavia tekijöitä ja vaikutusyhteyksiä.

Luvussa 5 ”Havainnot ja aineiston käsittely” tarkastellaan kuinka em. asioista saadaan tietoa ja kuinka havainnot muokataan suunnittelun vaatimaan muotoon.

Luvussa 6 ”Vesivarojen käytön suunnittelu” kuvaillaan erilaisia suunnittelutehtäviä ja vesivaroja koskevan tiedon merkitystä suunnitteluperusteena.

Kirjaan on otettu runsaasti kuvia ja taulukoita. Ne ovat tyypillisesti suunnittelun vaatimaa käsikirjatietoa. Tässä yhteydessä on korostettava, että kirjaa ei ole tarkoitettu käsikirjaksi. Kuvat ja taulukot on tarkoitettu ainoastaan havainnollistamaan syysuhteita, vaihteluja ja suuruusluokkia.

Otaniemessä joulukuussa 1977

Jussi Hooli

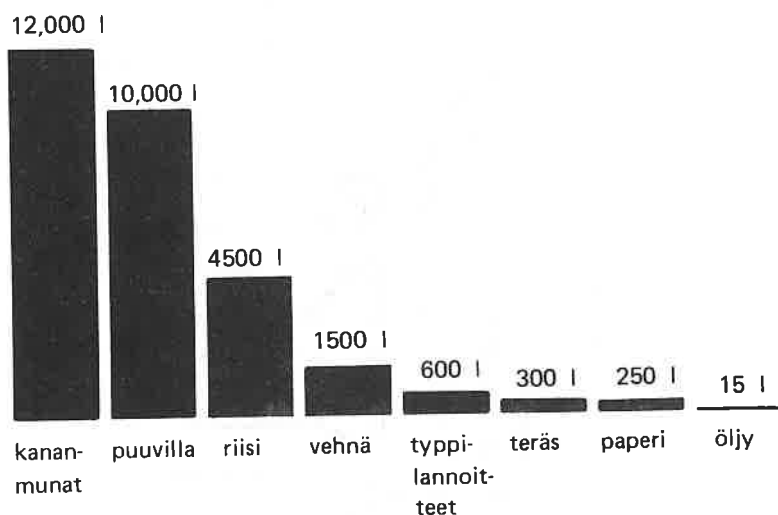
Erkki Tuononen

Pertti Vakkilainen

2. IHMINEN JA VESIVARAT

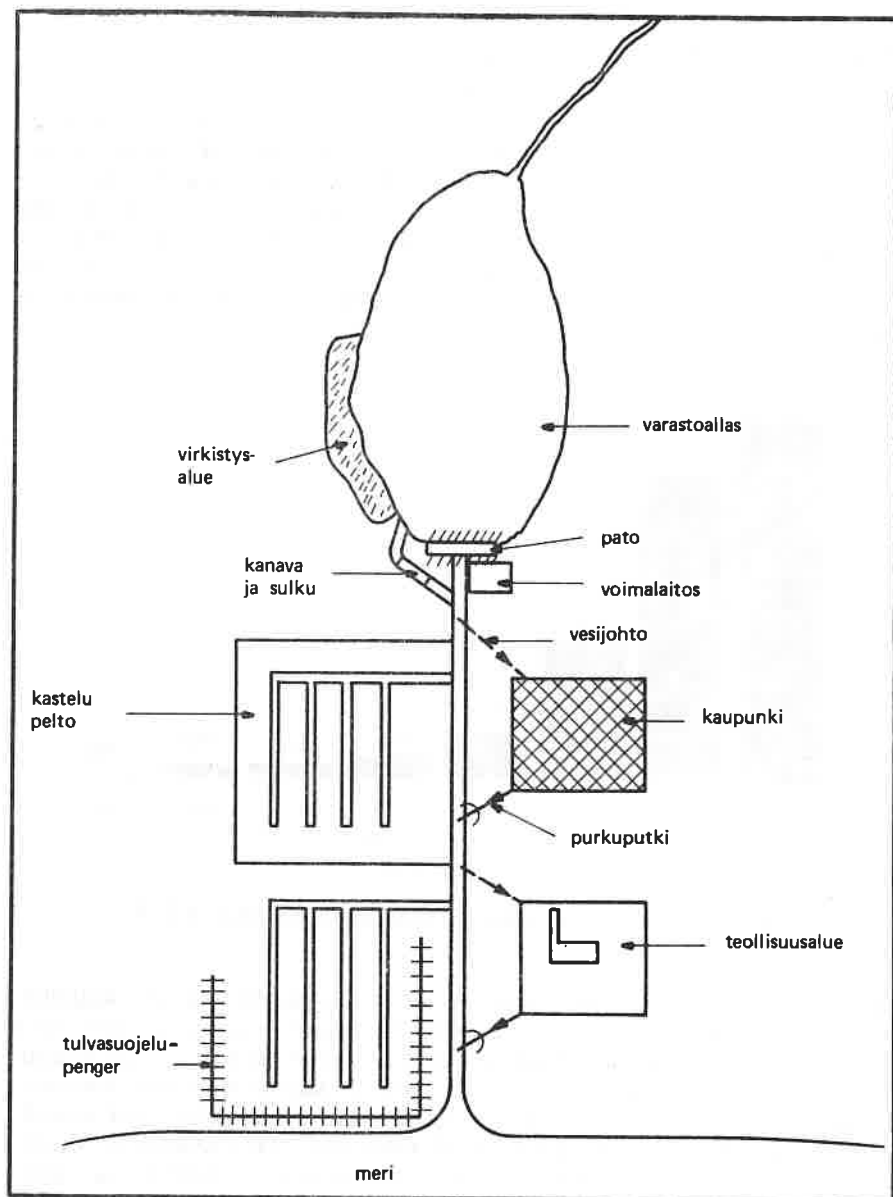
2.1 Vesivarojen hyväksikäyttö

Ihminen ja koko elollinen luonto on riippuvainen vedestä nesteenä. Ihmisen välitön fysiologinen vedentarve on vain vajaa litra vuorokaudessa, mutta välillinen tarve erilaisten tarpeitten tyydyttämiseen on huomattavasti suurempi. Erityisesti erilaisten hyödykkeiden teollinen tuotanto on lisännyt ihmisen välillistä vedentarvetta, mutta jo yksinomaan ravinnon alkutuotannon vedentarpeen rinnalla on ihmisen välitön tarve mitätön. Kuvassa 2.1 on esitetty eräitä tyypillisiä arvoja eräiden hyödykkeiden tuotannon vedenkulutuksesta.



Kuva 2.1. Eräiden hyödykkeiden tuotannon vedentarve [l/kg].

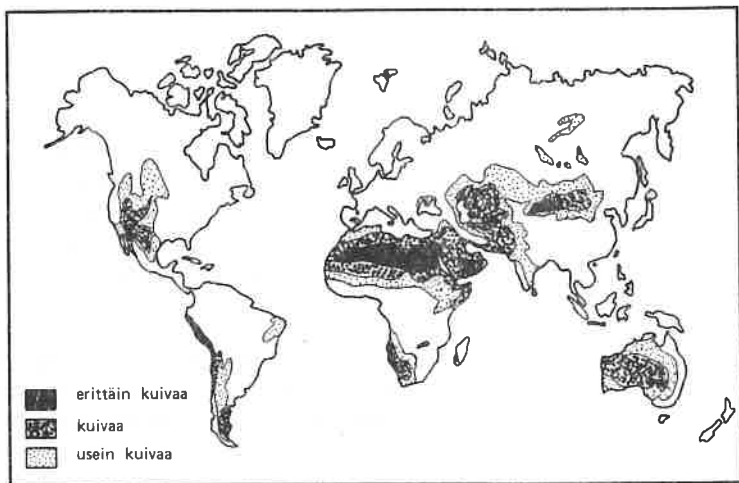
Nesteenä käytön ohella vesivaroja tarvitaan energiantuotantoon, kuljetukseen ja virkistykseen. Lisäksi vesivarojen biologinen tuotos on merkittävä ravinnonlähde erityisesti valkuaisaineiden osalta. Vesivarojen välttämättömyys ihmisen perustarpeitten tyydyttäjänä ja käyttökelpoisuus ihmisten, tavaroiden ja myös jätteiden kuljetukseen on erityisesti vaikuttanut asutuksen sijoittumiseen. Vesivarojen hyväksikäyttö edellyttää monenlaisia vesirakenteita kuten kanavia, patoja, satamia, veden siirto-, käsittely- ja varastointilaitteita. Vedellä ja vesivaroilla on myös haittavaikutuksia kuten esim. maaperän liiallinen kosteus, tulvat ja pilaantumisen aiheuttama sairauksien leviäminen. Kuvassa 2.2 on esitetty kaavamaisesti tyypillisiä vesivarojen hyväksikäytössä tarvittavia toimenpiteitä.



Kuva 2.2. Vesivarojen hyväksikäyttö.

2.2 Vesivarojen riittävyys

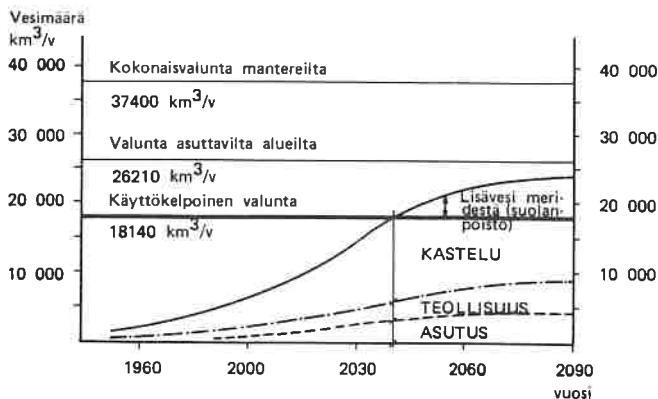
Maapallolla teknis-taloudellisesti hyväksikäytettävissä olevat vesivarat ovat rajalliset. Vaikka vesivarojen määrä sinänsä on suuri, niin vuosittain uusiutuvien makeiden vesien määrä on vain 0,003 % koko hydrosfäärin vesivaroista. Lisäksi käytettävissä olevat vesivarat ovat epätasaisesti jakautuneet. Kuvassa 2.3 on esitetty alueet, joilla veden niukkuus on keskeinen hyvinvointia rajoittava tekijä.



Kuva 2.3. Alueet, joilla kasvinviljely on mahdollista vain kastelun avulla.

Yleensä niillä seuduilla, joissa vesivarat ovat rajoitetuimmat, on myös taloudellinen kehitys ollut hitainta. Vesivarojen niukkuus ja epätasainen periodinen jakautuminen ovat erityisesti kehitysmaiden ongelmia. Edelleen voidaan todeta, että veden tarve kasvaa nopeasti väkiluvun lisääntymisen ja teknologian kehittymisen myötä.

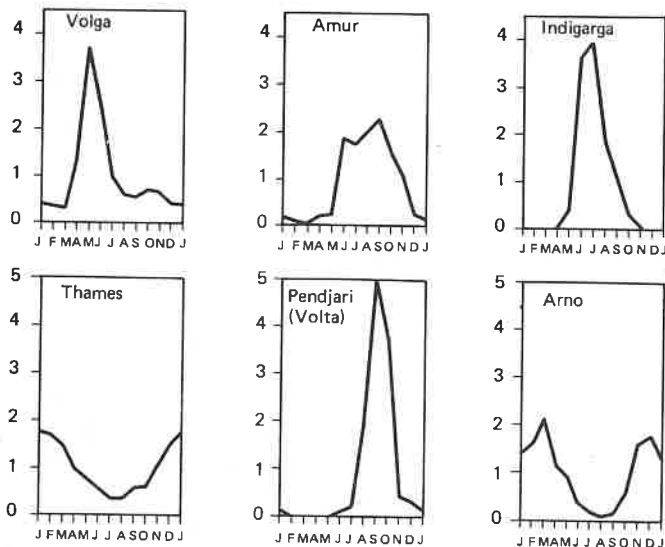
Eräiden tehtyjen prognoosien mukaan (kuva 2.4) käytettävissä olevien vesivarojen määrä tulee keskeiseksi väestön kasvua ja taloudellista kehitystä rajoittavaksi tekijäksi 50...100 vuoden kuluessa. Tällöin ei ole kuitenkaan otettu kovinkaan pitkälle huomioon veden hyväksikäytön teknis-taloudellisia ongelmia. Ravintotuotannon lisäämisessä tarvittava kastelu on merkittävin vedenkulutuksen kasvua aiheuttava tekijä. On tehty huomattavasti pessimistisempiäkin ennusteita erityisesti kehitysmaiden osalta, mihin yksin vesikysymyksen globaalinen keskimääräistarkastelu antaa aihetta. Pelkästään kastelun aiheuttama lisääntyvän energian tarpeen tyydyttäminen voi tulla yhdessä väestön kasvun nopeudesta johtuvan kireän aikataulun kanssa vaikeasti ratkaistavaksi ongelmaksi. Sen tähden voi täydellä syyllä otaksua, että jo esiintyneitä kriisitilanteita voi sattua huomattavasti nykyistä laajempina vielä tämän vuosisadan aikana.



Kuva 2.4. Ennuste vedentarpeen kehityksestä koko maapallolla.

Kehittyneissäkin maissa tulee pitkällä tähtäyksellä yhä tärkeämmäksi vesivaroja ja energiaa säästävien teknisten ratkaisujen etsiminen tuotantotoiminnan kehittämisessä. Tätä taustaa vasten on ymmärrettävissä, että hydrologia on eräs keskeinen lähtökohta kasvavan ihmiskunnan elinmahdollisuuksien turvaamisessa.

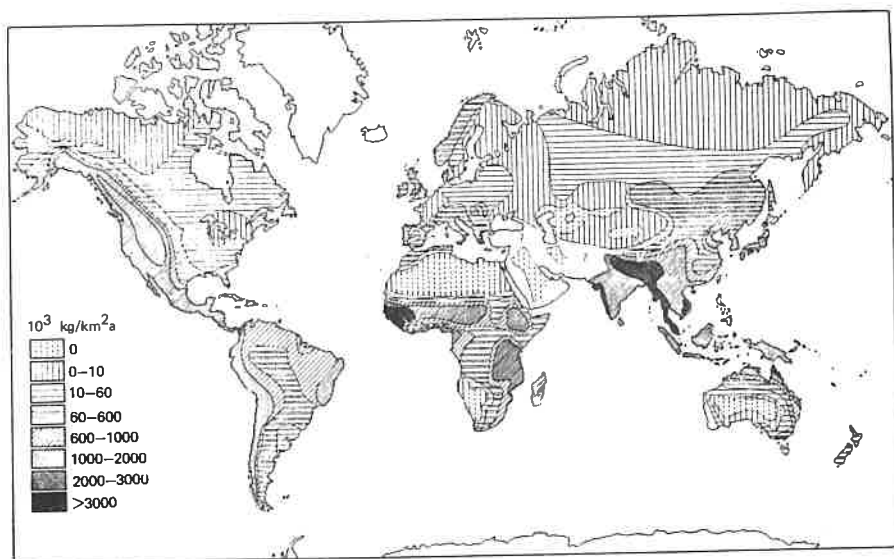
Edelleen on huomattava, että käyttökelpoisten vesivarojen määrässä on voimakkaat periodiset vaihtelut. Vaihtelut ovat erilaisia eri ilmastovyöhykkeillä. Kuvassa 2.5 on esitetty erittäin maapallon suurien jokien tyypillisiä virtaamavaihteluja.



Kuva 2.5. Tyypillisiä ilmastoalueesta riippuvia virtaamavaihteluja (kuukausikeskivaluman suhde vuoden keskivalumaan).

Vesivarojen monipuolinen hyväksikäyttö on monilla teollistuneilla alueilla aiheuttanut, että vesi on laadullisesti heikentynyt. Koska vesivarat ovat määrällisesti uusiutuvia, ei ihmisen välitön vaikutus varsinkaan jokivesistöissä ole pysyvää siinä mielessä, että laatu pysyisi samana kuormittavan toiminnan loppuessa. Laadullista uusiutumisprosessia ei kuitenkaan tunneta kovinkaan hyvin.

Makeitten vesivarojen laatu määräytyy ensisijaisesti valuma-alueen ominaisuuksien perusteella. Ihmisen välillinen vaikutus veden laatuun valuma-alueella tapahtuvan toiminnan kautta voi olla hyvin merkittävä. Erityisesti eroosio on lisääntynyt. Eroosiossa kulkeutuu vesistöihin ja mereen orgaanista ainesta ja kasvintuotannossa tarvittavia ravinteita. Suuralueittaiset vaihtelut määräytyvät kuitenkin ensisijaisesti ilmastollisten tekijöiden perusteella (kuva 2.6).



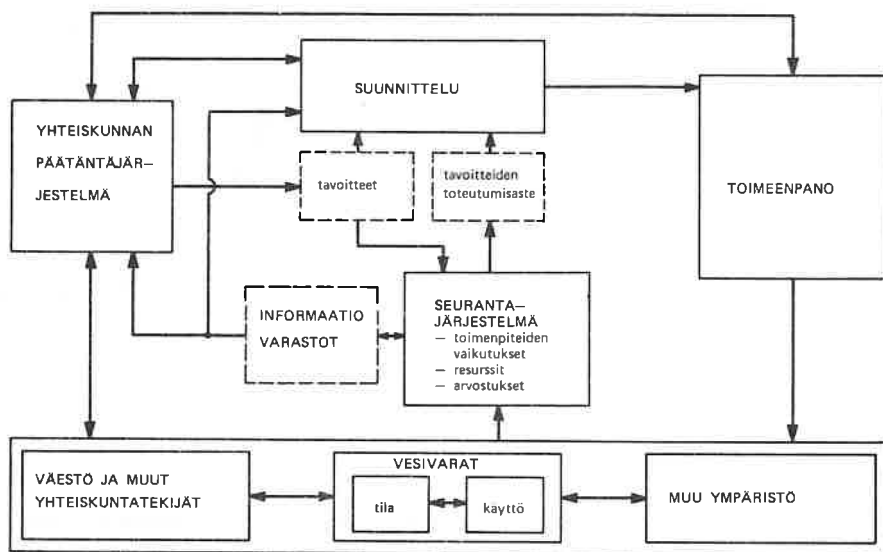
Kuva 2.6. Eroosio suuralueittain.

Suomessa eletään yleensä erittäin edullisissa olosuhteissa eroosioon ja veden riittävyyteen nähden. Pikemminkin meillä liiallisen veden aiheuttamat haittavaikutukset ovat ongelmina, joskin samalla kastelu on tullut yhä tärkeämmäksi intensiivisessä viljelyssä. Kuitenkin yhteiskuntarakenteen nopea muuttuminen ja sen mukanaan tuoma urbanistuminen ja erityisesti väestön ruuhkautuminen vesivaroiltaan niukalle Etelä- ja Lounais-Suomen rannikko-alueelle on johtanut eräisiin veden riittävyyttä koskeviin ongelmiin. Koko maata ajatellen muodostavat tulvien ohella paikalliset likaantumishaitat näkyvimmat ongelmat.

2.3 Vesivarojen käytön ohjaus

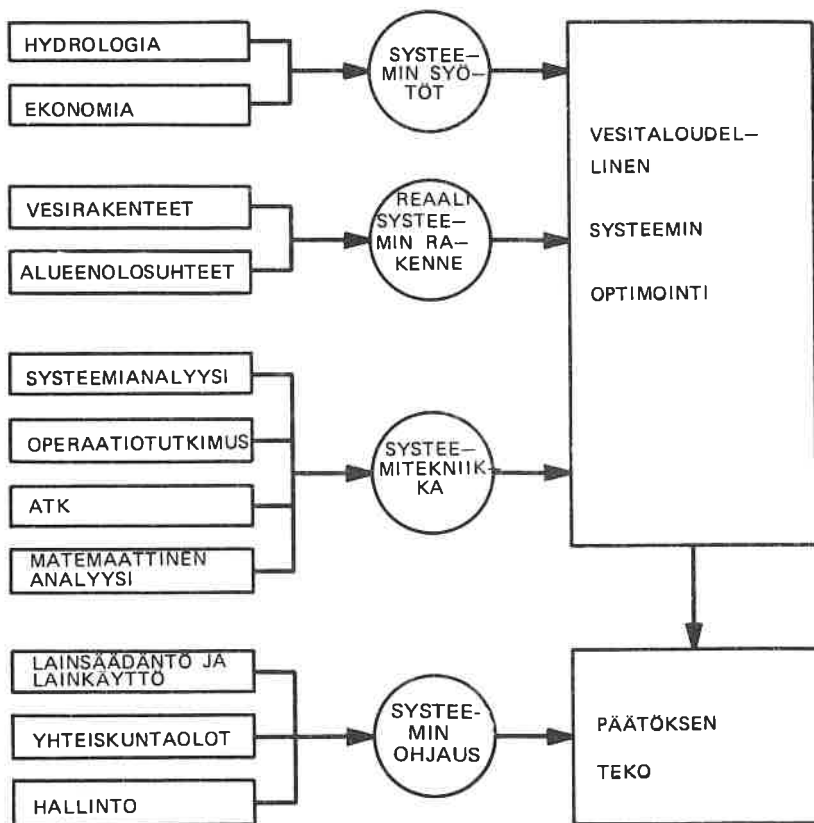
Vesivarojen hyväksikäyttö on jo hyvin varhaisina aikoina vaatinut yhteiskuntien taholta osakseen laajaa huomiota ja lainsäädännön muodossa tapahtunutta ohjausta. Tähän liittyvä suunnittelu on ollut yleensä aiemmin ongelma- ja tapauskohtaista, vaikka itse asiassa jokaisella vesirakennustehävällä on osavaikutus muuhunkin vesien käyttöön. Vesivarojen käytön vaatimien investointien suuruus ja muut yhteiskuntataloudelliset näkökohdat ovat johtaneet siihen, että vesivarojen monikäyttöperiaate on yleisesti hyväksytty suunnittelun perustaksi. Suunnittelussa pyritään optimiratkaisuihin, joissa otetaan huomioon kaikki vesien käyttötarpeet ja vesivarojen tarjoamat mahdollisuudet.

Tällöin on pitkälle kysymys vesien luonnontalouden sovittamisesta vesien käytön talouden tarpeisiin sekä samalla vesiteknisten toimenpiteiden aiheuttamien taloudellisten ja muiden ympäristövaikutusten selvittämisestä. Yhteiskunnan suorittamaa vesivarojen käytön ohjausta havainnollistaa kuva 2.7.



Kuva 2.7. Vesivarojen käytön ohjaus.

Järkevän ohjauksen edellytyksenä on riittävät tiedot vesivaroista, niiden hyödyntämismahdollisuuksista, suunnittelumenetelmistä ja yhteiskunnan tarpeista ja toimintajärjestelmistä (kuva 2.8).



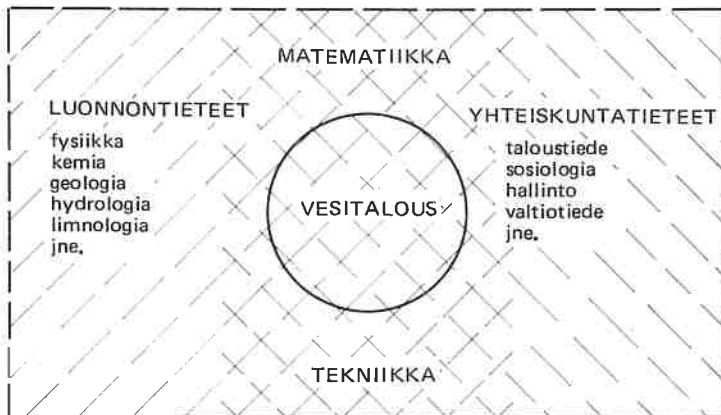
Kuva 2.8. Vesitaloudellisen suunnittelun osatehtävät.

2.4 Vesitalouden tehtäväkenttä

Käsitettä vesitalous käytetään asiayhteydestä riippuen useassa eri merkityksessä. Sillä voidaan tarkoittaa pelkästään vesien luonnontaloutta tai vesivarojen hyväksikäyttöä tai hyväksikäytön ohjausta ja suunnittelua tai näitä kaikkia yhdessä. Lisäksi käsitettä vesitalous käytetään kuvaamaan em. asioihin kohdistuvaa tutkimus- ja opetustoimintaa, jolloin vesitalous määritellään opiksi vesivaroista ja niiden järkevästä hyväksikäytöstä.

Koska jokaisen erillisen vesivaroihin kohdistuvan toimenpiteen vaikutukset siirtyvät vesivarojen luonnontalouden kautta laajalle alueelle ja aiheuttavat seurausvaikutuksia vesivarojen muuhun käyttöön ja käyttömahdollisuuksiin, vaatii toimenpiteiden suunnittelu teknisen perusvalmiuden ohella laaja-alaista luonnontaloudellista ja taloudellista kokonaisnäkemystä. Rakenne-

teknisen suunnittelun osuus jääkin tästä syystä vesivarojen suunnittelua kokonaisuudessaan tarkasteltaessa suhteellisen vähäiseksi. Suunnittelussa tarvittavia perustietoja eri tieteenaloilta esittää kuva 2.9.



Kuva 2.9. Vesitalouden perustieteet.

KIRJALLISUUTTA

- Buras, N.** 1972. Scientific Allocation of Water Resources. American Elsevier Publishing Company, Inc., New York.
- Chow, V.T.** 1970. An Introduction to Systems Analysis of Hydrological Problems. Proceedings of the Second International Seminar for Hydrology Professors, Logan.
- Chorley, R.J.** 1971. Water, Earth and Man. Methuen & Co, London.
- Doxiadis, C.A.** 1968. In the beginning there was water. Ekistics nr 1521.
- Falkenmark, M.** 1974. Vatten. Några fakta kring vattenproblemen i världen. Esselte Herzogs, Nacka.
- Heinonen, P. & Haverinen, A. & Tuononen, E. & Vakkilainen, P. & Melanen, M.** 1974. Vesivaroihin kohdistuvan kuormituksen vaikutusten seuranta ja arviointi. YVY-projekti, esitutkimus 1.1.5, Helsinki.
- Hooli, J.** 1976. Vesien käytön suunnittelun nykynäkymiä. Vesitalous 1/1976
- Lindh, G. & Falkenmark, M.** 1972. Hydrologi. En inledning till vattenresursläran. Studentlitteratur. Lund.
- Overman, M.** 1970. Vatten. En bok om jordens vattentillgångar. Raben & Sjögren, Verona.

3. VEDEN KIERTO JA VESITASE

3.1 Hydrologian tehtäväalue

Hydrologia on tavallisesti käsitetty luonnontieteeksi, joka tutkii maapallon vesiä, niiden esiintymistä, kiertoliikettä ja jakautumista, vesien kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia ja niiden vuorovaikutusta fysikaalisen ja biologisen ympäristön kanssa, mukaan luettuna ihmisen toiminnan vaikutus vesiin.

Hydrologia voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen sen mukaan, mitä maapallon vesikehän, hydrosfäärin, osa-aluetta tarkastellaan. Hydrosfäärissä voidaan erottaa kolme selvärajaista osaa: ilmakehän vedet, pintavedet ja maanpinnan alaiset vedet.

Ilmakehän vettä tutkiva hydrologian ala käsittelee atmosfäärisen veden eri muotoja, sen alkuperää, esiintymistä, määrää, maantieteellistä jakautumista ja periodista vaihtelua. Tämä on hydrologian ja meteorologian yhteistä tutkimusaluetta. Yleensä niiden yhtymäkohtana olevan tieteen osa-aluetta nimitetään hydrometeorologiaksi, joka on vesitekniikan kannalta mielenkiintoisin meteorologian osa. Meteorologia eli ilmatiede kokonaisuudessaan tutkii maan ilmakehän fysiikkaa jakautuen useisiin eri osiin.

Pintavesihydrologia tutkii maanpinnan ja ilmakehän välissä olevan veden alkuperää ja esiintymistä kuten vesistöjen vedenkorkeuksia ja virtaamia, valuntaa sekä pintavesiin tapahtuvaa varastoitumista.

Reologia ja potamologia käsittelevät virtaavia vesiä, kuten puroja ja jokia. Limnologia, käsitettynä puhtaana järvitieteenä, tutkii seisovia vesiä ts. järviä, varastoaltaita, tekojärviä. Limnologia käsitetään usein myös laajemmin, jolloin tutkimusalaan sisällytetään myös virtaavat vedet ja murtovedet. Lumeen ja jäähän kohdistuvaa tutkimusta nimitetään kryologiaksi.

Maaperän vedet esiintyvät vedellä kyllästetyssä kerroksessa ja sen yläpuolella olevassa kyllästämättömässä kerroksessa. Geohydrologia käsittelee veden alkuperää, ominaisuuksia, esiintymistä, veden imeytymistä maaperään, maa-vesien liikkeitä ja pohjaveden purkautumista maaperästä. Geohydrologialla on yhteyksiä geologian ja maaperäopin eli pedologian kanssa.

Omina spesiaalialoina tulkoon mainituksi hydrometria ja hydrauliikka. Hydrometria tutkii hydrologian mittaustekniikkaan liittyviä kysymyksiä. Hydrauliikka eli sovellettu hydromekaniikka tutkii veden virtausta putkissa, kanavissa ja luonnonuomissa.

Vaikka hydrologialla sananmukaisesti tarkoitetaan oppia vedestä, niin käytännössä sillä tarkoitetaan myös usein itse tutkimuskohteena olevaa luon-

nonprosessia. Yleisestikin hydrologiassa voidaan erottaa erilaisia suuntauksia sen perusteella, mitä keinoja käyttäen ja mitä tarkoituspäriä varten tutkimuskohteena olevaa luonnonprosessia kuvataan. Tässä yhteydessä on merkitystä erityisesti seuraavilla suuntautumiseroilla:

1. Teoreettinen — tekninen
2. Fysikaalinen — systeemiteoreettinen

On korostettava, että jaottelussa ei ole kysymys hydrologian itsenäisistä osaluista, vaan siitä painotuksesta, mikä annetaan tutkimuksen tavoitteille ja tutkimuskeinoille.

Teknisessä sovelletussa hydrologiassa on tavoitteena ajallis-paikallisesti rajoitettujen veden kiertoa ja hyväksikäyttöä koskevien ongelmien ratkaiseminen. Teoreettisessa orientoitumisessa taas on kysymys yleensä ko. luonnonprosessien syy-yhteyksien hakemisesta ja kuvaamisesta täsmällisellä tavalla. Kun teoreettisella puolella kysymyksen asettelu yleensä on: miten ja mistä syystä, niin puhtaasti teknisellä puolella vettä koskevat kysymykset kuuluvat: kuinka paljon, missä, milloin ja minkälaisuista.

Lähestymistapojen eroa voidaan luonnehtia myös siten, että tutkimuksen hyvyyden kriteerit teoreettisella puolella ovat siinä, kuinka yleispätevästi tarkasteltava ilmiö voidaan selittää. Taas puhtaasti teknisissä sovellutuksissa hyvyyden kriteereinä ovat selvitysten käyttökelpoisuus vesivarojen hyväksikäytön suunnittelussa ja haittavaikutusten torjunnassa. Teknisessä hydrologiassa ovatkin etusijalla em. näkökohtien määääämien kriittisten tilanteiden selvittely.

Fysikaalisessa hydrologiassa pyritään tarkastelunalaista luonnonprosessia, esim. valuma-alueen hydrologista toimintaa, kuvaamaan yleisistä luonnon-toiminnan lainalaisuuksista käsin. Prosessin erillisten tekijöiden vaihteluista johdetaan synteisin avulla koko prosessin toiminta. Systeemitarkastelussa taas on lähtökohtana prosessi kokonaisuutena. Havainnoimalla koko toimintajärjestelmän vuorovaikutussuhteita ympäristön kanssa pyritään muodostamaan järjestelmän toimintasääntö kokonaisuutena. Edelleen tarkasteltava prosessi, systeemi, voidaan jakaa osasysteemeihin ja muodostaa havaintoaineiston perusteella tai muuten tunnetuista riippuvuuksista näille toimintasäännöt.

Systeemitarkastelua tässä mielessä voidaan pitää myös hieman jesuiittamaisena: tarkoitus pyhittää keinot, ts. menettelytavat kelvollisen toimintasääntöön hakemisessa ovat vapaat. Lisääntyvä havaintoaineisto on erityisesti mahdollistanut tilastollisten menetelmien tehokkaan käytön hydrologian tutkimusvälineenä. Käytännössä luonnonmittakaavaisessa tutkimustoiminnassa lähestymistavat käyvät päälletysten. Luonnonprosessien monien satunnaisien tai muutoin vaikeasti hallittavien vaihtelujen takia ei puhdas fysikaalinen selittäminen ole käyttökelpoinen ja toisaalta tilastollinen tarkastelu ilman

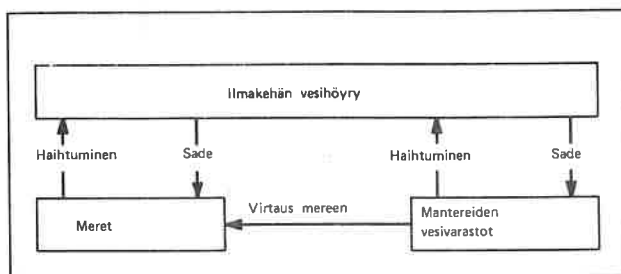
fysikaalista perustaa ei yleensä tarjoa laaja-alaisemmin sovellettavia tuloksia.

Vastaavasti myös jakoa teoreettinen — tekninen hydrologia voidaan varsin tutkimustoiminnan osalta pitää varsin keinotekoisena. Käytännön tarpeet ohjaavat tutkimustoimintaa kokonaisuudessaan. Mitä yleisemmin käytäntöön soveltamiskelpoista perustietoa on käytettävissä, sitä vähäisempää on tarve tilannekohtaisiin erityisselvityksiin.

3.2 Veden kiertokulun pääpiirteet

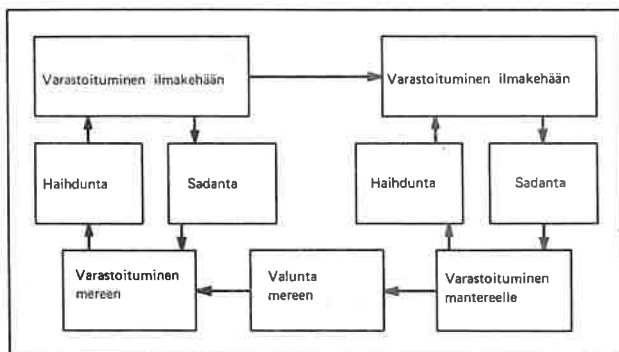
3.21 Kiertosysteemi

Luonnossa tapahtuu jatkuvaa veden kiertokulkua. Vettä haihtuu ilmaan, sopivissa olosuhteissa vesihöyry tiivistyy uudelleen vedeksi ja syntyy sade. Mantereilla sateiden tuomasta vedestä osa haihtuu takaisin ilmakehään ja osa valuu meriin. Globaalin vedenkierron perussysteemi on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. Maapallon veden kierron päätapauhtumat.

Kaavion nuolet tarkoittavat eräitä luonnonilmiöitä sellaisenaan. Jos lähtökohdaksi otetaan hydrologian perussuureet: sadanta (P), haihdunta (E), valunta (Q) ja varastoituminen (S), voidaan kaavio piirtää esim. kuvan 3.2 mukaisesti.

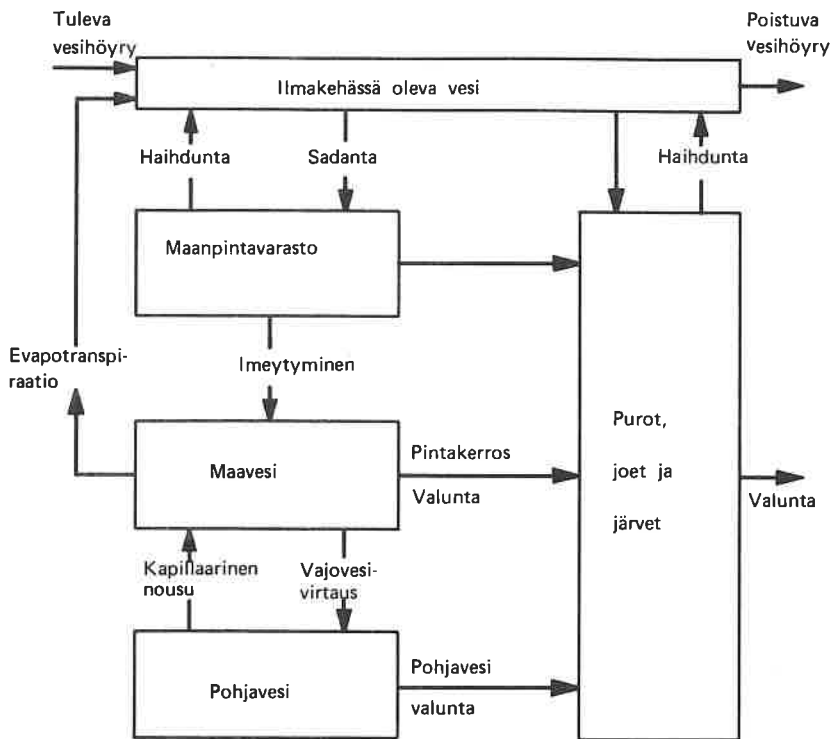


Kuva 3.2. Veden kiertokulun perussuureet.

Perussuureet mittaavat tarkastelujaksona pinta-alayksikköä kohti tulevia vesimääriä ja yksikkönä käytetään millimetriä (mm). Mantereiden osalle saadaan kaaviosta vesitaseyhtölä (3.1):

$$\Delta S = P - E - Q \quad \text{tai} \quad P = E + Q + \Delta S \quad (3.1)$$

Esitetyt kiertokaaviot ovat edelleen jaettavissa useisiin alaprosesseihin. Mantereilla tai yksityisellä valuma-alueella tapahtuvan veden kiertokulun pääpiirteet on esitetty kuvassa 3.3. Kuvassa laatikot esittävät varastoja ja nuolet varastojen välisiä virtoja. Huomattakoon, että eräillä kuvassa esiintyvillä käsitteillä on kahdenlainen merkitys: luonnonilmiö sinänsä ja ilmiötä esittävä mittasuure.



Kuva 3.3. Veden kierto valuma-alueella.

Sateesta osa pidättyy kasvillisuuteen (interseptio) ja haihtuu siitä takaisin ilmakehään. Maanpinnalle tuleva vesi valuu osaksi pintavaluntana vesiuiumiin, osaksi imeytyy välittömästi maaperään. Loppuosa vedestä jää lammi-koiksi, ns. painannesäilynnäksi, maanpinnalle, josta se myöhemmin osaksi imeytyy maaperään ja osaksi haihtuu takaisin ilmakehään.

Pohjavedenpinnan ja maanpinnan välissä olevat vedet ovat maavesiä. Eräis-

sä yhteyksissä maavettä käytetään yleiskäsitteenä kuvaamaan kaikkia maa- ja kallioperässä olevia vesiä. Maavesivarastosta, suppeasti käsitettynä, osa valuu pintakerrosvaluntana vesiuiomiin, osa vajovesivirtauksena pohjavesiin ja osa haihtuu suoraan (evaporaatio) tai kasvien kautta (transpiraatio) takaisin ilmakehään. Evaporaatiota ja transpiraatiota yhdessä nimitetään evapotranspiraatioksi. Pohjavesistä vedet valuvat pohjavesivaluntana vesiuiomiin ja osaksi kohoavat kapillaarisesti pohjavedenpinnan yläpuolelle maa-vedeksi.

Kiertokulkukaaviosta kokonaisuutena voidaan todeta, että se kuvaa valuma-alueella keskimäärin tapahtuvia ilmiöitä. Yksityisestä sadetapahtumasta ei välttämättä seuraa muutoksia kaikissa systeemin toiminnoissa, vaan tosiasialliset tapahtumat riippuvat siitä, missä tilassa systeemi on. Pienten kesä-sateiden tuoma vesi haihtuu lähes välittömästi takaisin ilmakehään, jos maanpinta on kuiva ja varsinkin, jos kasvipeite on tuuhea. Lumenä satanut vesi aiheuttaa muutoksia systeemin toiminnassa vasta sulamisen jälkeen.

Perussuureiden sadanta, haihdunta, valunta ja varastoituminen yksikkönä käytetään pituusyksikköä (mm). Koska kyseessä on jonkin historiallisen ts. yleiseen ajanlaskuun sidotun ajanjakson kokonaisarvo tai vuodenaikakiertoon sidotun aikaperiodin jokin tunnusomainen arvo, tarvitaan tosiasiallisesti lisäämääreksi tarkastelujakson pituus. Tavanomaisesti käytetyt jaksot ovat vuorokausi (d), kuukausi (kk) ja vuosi (a).

Hydrologisen kierron vaihtelut seuraavat vuodenaikaista kiertoa. Vuosien väliset vaihtelut ovat satunnaisia eikä trendiä ole yleensä havaittavissa. Vuosijaksoa koskevilla keskimääräistarkasteluissa voidaan vesitaseyhtälöstä (3.1) jättää varastotermi pois ja se yksinkertaistuu muotoon (3.2).

$$P = E + Q \quad (3.2)$$

Vuotta lyhyempien ajanjaksojen keskimääräistarkastelussa varastotermi on yleensä syytä ottaa mukaan, koska hydrologiset olosuhteet riippuvat voimakkaasti vuodenajasta. Esimerkiksi kesäkuun osalta saattavat vesitaseyhtälön suuret olla arvoltaan seuraavat:

$$P = 30 \text{ mm}, E = 60 \text{ mm}, Q = 20 \text{ mm}, \Delta S = 50 \text{ mm}$$

Vesivarojen hyväksikäyttöä koskevilla suunnittelutehtävissä operoidaan yleensä johdetuilla suureilla valuma ja virtaama sekä valitussa korkeustasossa mitatuilla vedenkorkeuksilla. Virtaama Q on se vesimäärä, joka sekunnissa virtaa uoman poikkileikkauksen läpi. Yksikkönä ovat l/s ja m^3/s . Valuma q saadaan jakamalla virtaama valuma-alueen pinta-alalla. Tavalliset yksiköt ovat l/s ha ja l/s km^2 . Vedenkorkeuden W yksikkönä käytetään metriä. Tunnetuista virtaama- tai valuma-arvoista voidaan edelleen laskea aikajakson valunta, keskiarvona valuma-alueen pinta-alan suhteen. Hydrologisessa suunnittelussa tavallisimmat tunnusomaiset suuret ja kirjainsymbolit on esitetty taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Hydrologisia suunnitteluksuureita.

		Virtaama Q	Valuma q	Vedenkorkeus W
yli	H	HQ	Hq	HW
keski yli	MH	MHQ	MHq	MH W
keski	M	MQ	Mq	MW
keski ali	MN	MNQ	MNq	MN W
ali	N	NQ	Nq	N W

Näinollen suureiden määreeksi tarvitaan lisäksi aika. Seuraavissa esimerkeissä on esitetty tavallisimmat aikamääreet.

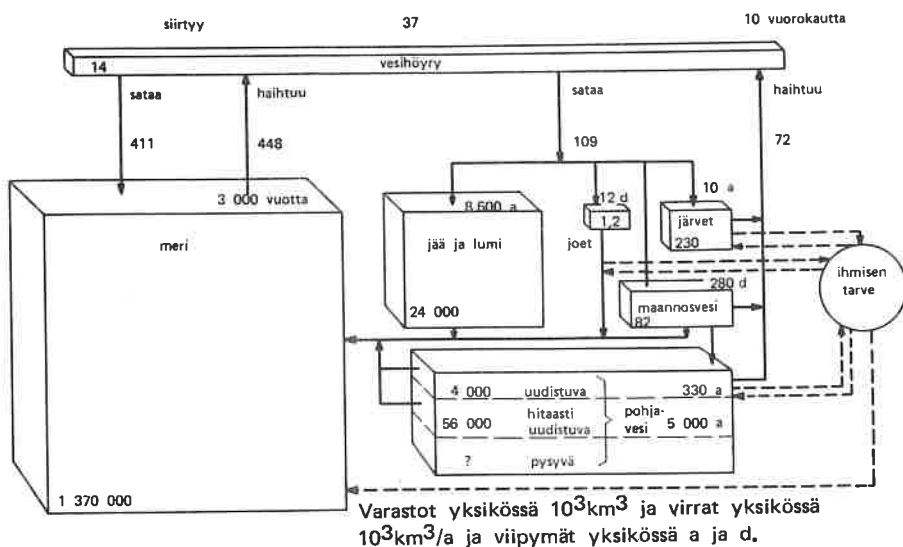
- $HW_{1951...1963}$ = vuosijakson 1951...1963 ylin vedenkorkeus
- $HQ_{1/10}$ = keskimäärin kerran kymmenessä vuodessa toistuva ylivirtaama
- Nq_{1959} = alin valuma v. 1959

Kyseessä olevat havaitut tai arvioidut arvot tarkoittavat yleensä vuorokauden keskiarvoja. Pienillä valuma-alueilla voivat esim. ylivirtaamien hetkelliset arvot olla huomattavasti vuorokautisia keskiarvoja suurempia. Näillä hetkellisillä huipuilla on erityistä merkitystä yhdyskuntien sadevesiviemäröinnissä.

Yleisesti hydrologiassa ovat tarkastelukohteena eri varastojen väliset virrat: sadanta, haihdunta, erilaiset valunnat ja siirtymät maaperässä varastosta toiseen. Itse varastojen suuruuksilla on tutkimusmielessä merkitystä vain, mikäli niiden vaihtelut aiheuttavat muutoksia varastojen välisissä virroissa. Teknisesti sovelletussa hydrologiassa tulevat tarkasteltaviksi myös itse varastot, mutta tällöinkin vain siltä osin, mikä on vesivarojen hyväksikäytön kannalta oleellista.

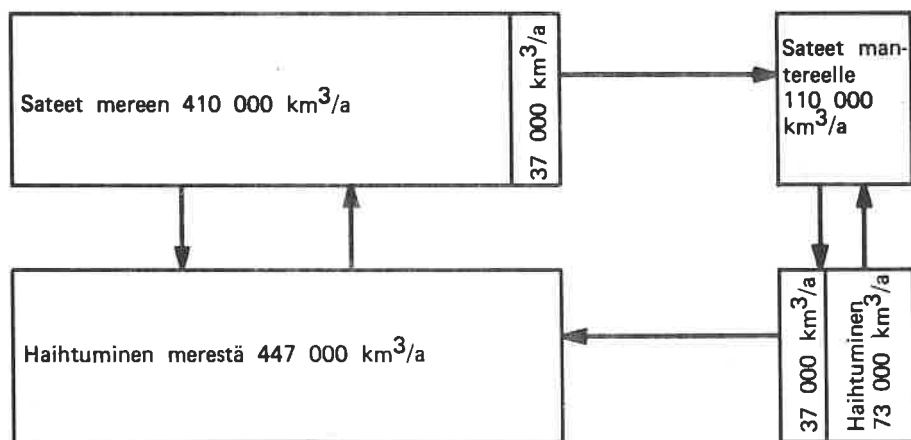
3.22 Maapallon vesitaseen pääpiirteitä

Maapallon vesivarat ja eri varastotyypeissä olevat vesimäärät pysyvät likimäärin vakiona pitkiä aikavälejä tarkastellen. Jakautuma ja vesimäärät on esitetty kuvassa 3.4.



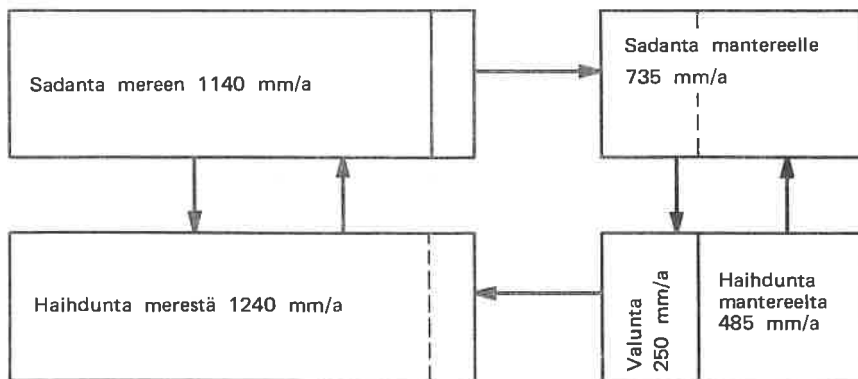
Kuva 3.4. Maapallon vesivarat ja niiden kierto.

Kiertosysteemin mukaisesti vesi siirtyy jatkuvasti varastosta toiseen. Keskimääräiset vuotuiset siirtymät on esitetty kuvassa 3.5.



Kuva 3.5. Maapallon vuotuinen vedenkierto vesimäärinä (alat suhteessa vesimääriin).

Kun tarkastellaan siirtyviä vesimääriä pinta-alayksikköä kohden, muuttuvat kiertoprosessin suhteet oleellisesti (kuva 3.6).



Kuva 3.6. Maapallon vuotuinen vedenkierto pinta-alayksikköä kohti (alat suhteessa mittalukuihin).

Eri tutkijoiden arviot veden kierron määrästä poikkeavat jossain määrin. Kuvan 3.6 arvot perustuvat Lvovitch'in (1969) arvioon.

Taulukossa 3.2 on esitetty yhteenveto eräiden tutkijoiden arvioista. Vesi-höyryn todelliset siirtymät ilmakehässä mannerten ja merten välillä ovat ilmeisesti huomattavasti nettosiirtymän arvoa suurempia. Kuvassa 3.6 siirty-män lukuarvon muutos johtuu pinta-alojen erosta.

Taulukko 3.2. Maapallon vuotuinen vesitase Lvovitch'in (1969) mukaan.

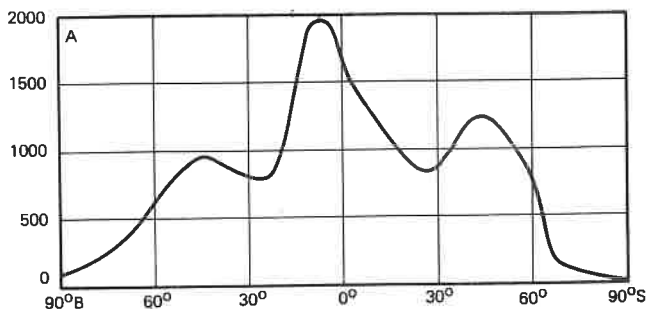
Yksikkö mm/a	Tutkija	Vuosi	Sadanta			Haihdunta			Kokonais-valunta mantereilta
			Manner	Meri	Yht.	Manner	Meri	Yht.	
	E Brikner	(1905)	850	980	940	673	1050	940	170
	R Frizche	(1906)	750	980	910	545	1050	910	205
	G Wüst	(1920)	752	740	743	502	843	743	249
	W Meinardus	(1934)	670	1140	1002	420	1241	1002	250
	G Wüst	(1936)	664	823	777	416	925	777	248
	M I Lvovitch	(1945)	720	1140	1015	476	1240	1015	244
	M I Lvovitch	(1964)	730	1140	1020	487	1240	1020	249
	M I Budyko	(1956)	700	1024	928	446	1127	928	254
	F Albrecht	(1961)		1046			1144		224
	R Nace	(1968)	670	885	825	470	970	825	285
	M I Lvovitch	(1969)	735	1137	1020	485	1240	1020	250

Lvovitchin keräämässä yhteenvetotaulukossa on esitetty vuodesta 1905 lähtien eri tutkijoiden laskemia vesitaseen komponentteja. Sadanta valtamerillä on yleensä arvioitu suuremmaksi kuin mantereilla. Vuotuinen sadanta valtamerillä on arvioitu useimmiten yli 1000 mm:ksi. Mantereilla vuosisadanta on ollut 700 mm:n molemmin puolin. Vastaavasti haihdunnan on arvioitu meri-

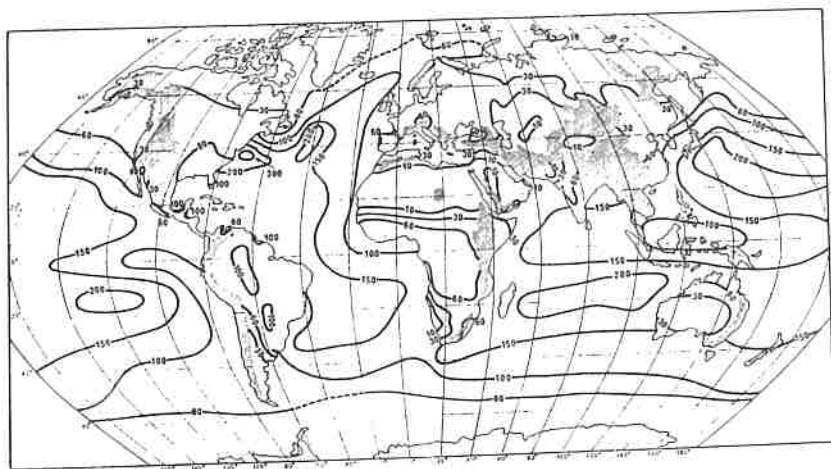
alueelta olevan 2...3 kertainen mantereeseen verrattuna. Useiden tutkijoiden mukaan vuosihaihdunta merialueelta on 1100...1300 mm ja mantereilla alle 500 mm.

Kalinin ja Bykovin mukaan vuotuinen vedenvaihto ilmakehän ja maanpinnan välillä on yhteensä $520\,000\text{ km}^3$ ja vuotuinen vesistöistä meriin valuva vesimäärä $37\,000\text{ km}^3$. Tämä purkautuva vesimäärä on siis vain 7-8 % maapallon vuosisadannasta ja vain 0,003 % koko hydrosfääristä. Kun ilmakehässä on vesihöyryä keskimäärin vain 26 mm:n vahvuinen kerros, niin voidaan todeta, että tältä osin veden kiertokulku tapahtuu hyvin nopeasti. Atmosfäärin sisältämän vesihöyryn täytyy uudistua keskimäärin 10:ssä vuorokaudessa, että kiertokulku jatkuisi.

Maapallon veden kierrolle ovat ominaisia suuret alueelliset ja vuodenaikaiset vaihtelut. Sadannan jakautuminen on esitetty kuvassa 3.7 ja haihdunnan jakautuminen kuvassa 3.8. Haihdunnan osalta on huomattava, että mantojen osalta haihduntaa määrää suurelta osalta sadanta ts. haihtumiskelpoisen veden määrä.

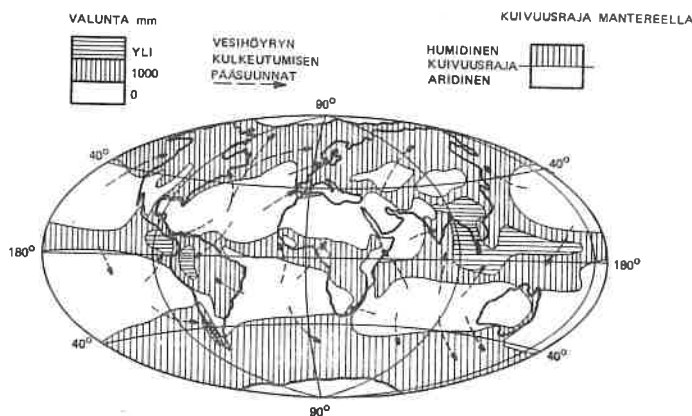


Kuva 3.7. Sadannan keskimääräinen jakautuminen maapallolla.



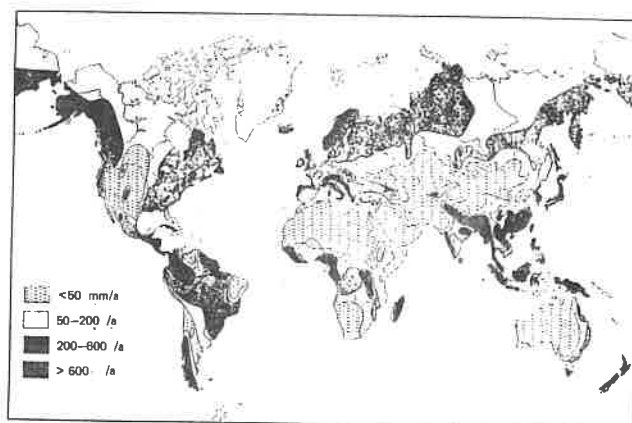
Kuva 3.8. Vuotuinen haihdunta (cm) maapallon eri osissa.

Kuvassa 3.9 on esitetty maapallon valuntasuhteiden pääpiirteet. Valunta on määrätty sadannan ja haihdunnan erotuksena, joten meren osa-alueilla valunta voi olla pysyvästi negatiivinenkin. Maa-alueella vastaavasta tilanteesta seuraa aavikon muodostuminen, minkä jälkeen haihdunta lähenee sadantaa.



Kuva 3.9. Valuntasuhteiden pääpiirteet maapallolla.

Maapallolla on ns. aridisia alueita noin kolmannes mantereiden yhteenlasketusta pinta-alasta. Näillä alueilla vuotuinen sadanta ja haihdunta ovat lähes yhtä suuret, voipa haihdunta olla sadantaa suurempikin. Tällaisia alueita on erityisesti Afrikassa, Aasiassa, Australiassa ja Etelä- ja Pohjois-Amerikan länsirannikolla. Yksityiskohtaisempi tarkastelu manteralueiden valuntasuhteista on esitetty kuvassa 3.10.



Kuva 3.10. Mantereiden valuntasuhteet.

Valuntasuhteita sävyttävät alueellisten vaihtelujen ohella voimakkaat vuodenaikaiset vaihtelut, joihin vaikuttavat mm. sadannan periodinen jakautuminen, haihdunta sekä sulanta, jos osa sadannasta tulee lumena. Ilmaston ohella vuodenaikaisiin vaihteluihin vaikuttavat kasvillisuus, maa- ja kallio-perän rakenne sekä luonnollisesti kunkin valuma-alueen morfometriset ja hydrauliset ominaisuudet. Viimeksimainitut tekijät ilmentävät sitä nopeutta, jolla vesistö reagoi ilmastollisiin vaihteluihin.

Sademetsäalueet ja aavikot ovat tropiikissa ääritapauksia. Sademetsäalueilla kuivakausi puuttuu täysin. Sen sijaan aavikoilla vettä saadaan vain harvinaisten ukkossateiden yhteydessä. Euroopan ja Pohjois-Amerikan kylmemmissä osissa dominoivana on talvella kertyvä lumivarasto ja kesäaikainen haihdunta, huolimatta siitä, että sadannan maksimi esiintyy kesäaikana. Esimerkiksi suuressa osassa Kanadaa, Neuvostoliiton Euroopan puoleisessa osassa ja Skandinaviassa leimaa-antavina ovat sellaiset hydrologiset olosuhteet, että lumen kevätsumamisesta aiheutuu yleensä vuoden suurin tulva ja syksyisistä vesisateista sekundäärinen syystulva. Voimakasta kevättulvaa edeltää usein pysyvään talveen liittyvänä talviaikainen kuivakausi ja sitä seuraa monista eri tekijöistä riippuva ja siten suuruuteen ja sattumisajan-kohtaan nähden hyvin vaihteleva kesäaikainen kuivakausi.

3.23 Suomen vesitaseen pääpiirteitä

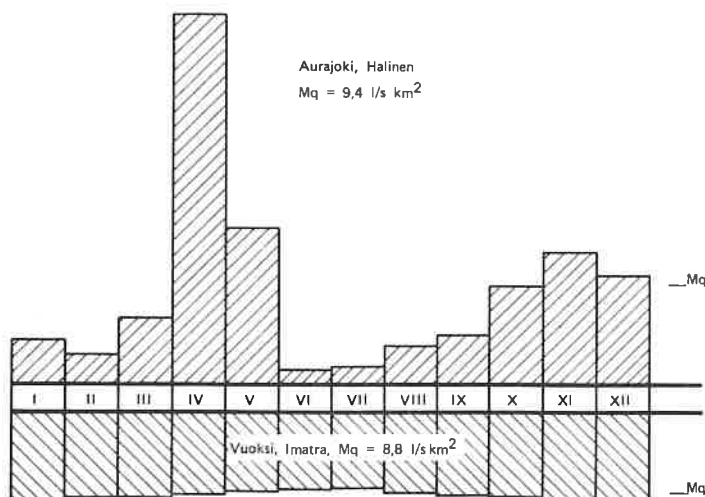
Suomen sisävesien pinta-ala on noin 30 000 km², mikä on noin 9 % Suomen kokonaispinta-alasta. Pintavesivarat ovat noin 200 km³ ja maa- ja kallio-perän vesivarat noin 1000 km³. Pohjavesivarat ovat suhteellisen pienet johtuen irtainten maakerrosten vähäisyydestä. Yhdyksuntien ja teollisuuden vedenhankintaan teknistaloudellisesti käyttökelpoisten pohjavesien kokonaismäärä on noin 50 km³, josta vuotuinen uusiutuminen on 2 km³. Jatkuva antoisuus on 50 m³/s. Vuotuinen keskivirtaama Suomen alueelta on noin 3100 m³/s vastaten keskivaluma-arvoa 9,2 l/s km² ja vuoden keskivalunta-arvoa 300 mm.

Alueellisesti hydrologisen kierron komponentit vaihtelevat suhteellisen vähän. Taulukossa 3.3. on annettu eräitä arvioituja tunnusomaisia arvoja.

Taulukko 3.3. Hydrologinen kierto Suomessa.

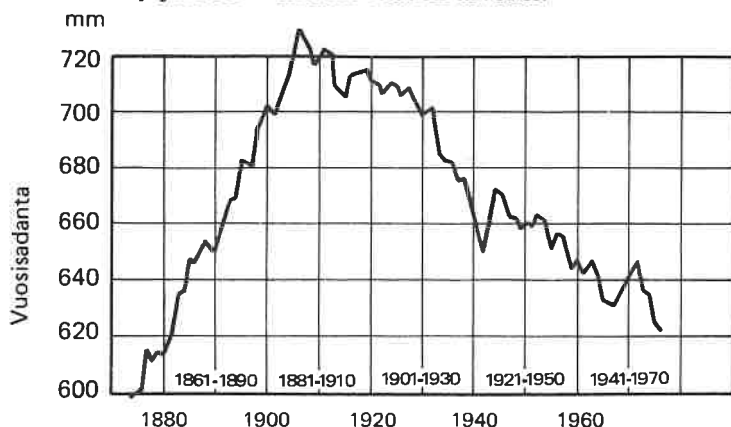
Etelä-Suomi	min	k-arvo	max	lumen osuus
sadanta mm/a	400	700	1000	30...40 %
haihdunta "	300	400	500	
valunta "	100	300	500	
Pohjois-Suomi				
sadanta mm/a	300	550	800	40...50 %
haihdunta "	150	250	300	
valunta "	150	300	500	

Valunta, valuma ja virtaama sekä niiden vaihtelut ovat vesivarojen hyväksikäytön suunnittelussa tärkeimpänä hydrologisena lähtökohtana. Kuukausivalumien keskiarvoja kahdelta erityyppiseltä vesistöalueelta on esitetty kuvassa 3.11.



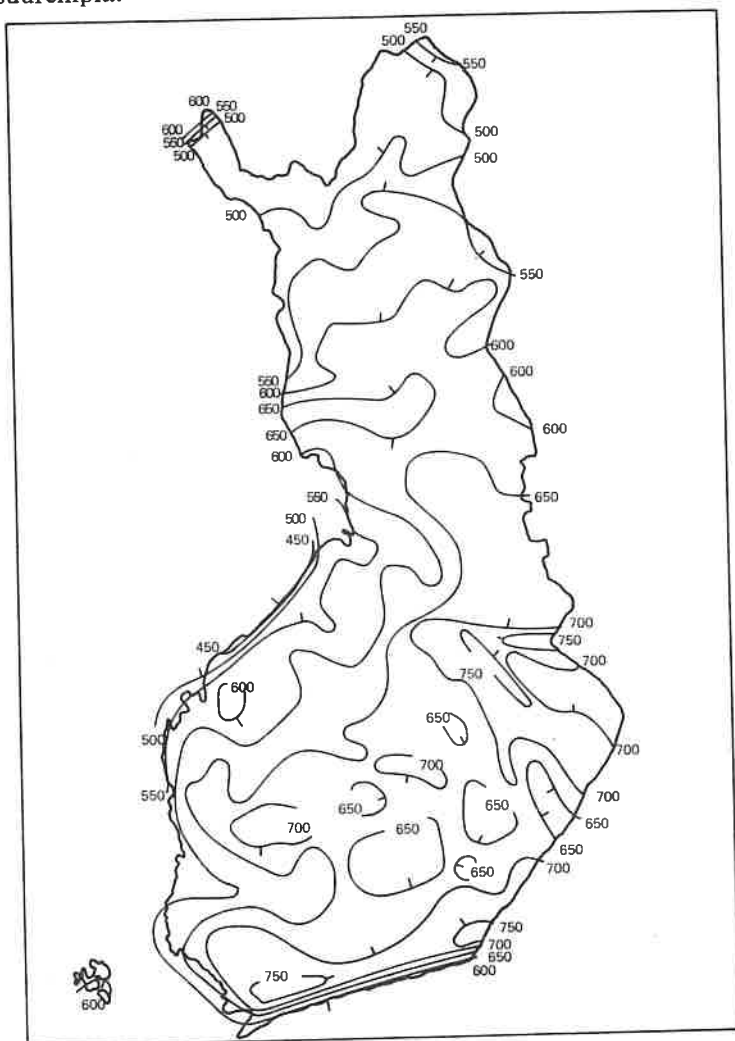
Kuva 3.11. Aurajoen ja Vuoksen kuukausikeskiarvot vuosilta 1941—1970.

Vuodenaikaisen periodisen vaihtelun ohella on Suomessa havaittavissa selvää joskin suhteellisesti vähäisempää pitempiä aikoja ilmaston jaksollisuutta. Sadannan pitkäaikainen kehitys Helsingissä on esitetty kuvassa 3.12. Havaintoaineisto koskee vuosia 1844—1976. Satunnaisvaihtelun eliminoimiseksi on sadanta-arvoiksi otettu 30 peräkkäisen vuoden keskiarvot, jotka on kuvaan merkitty jakson viimeisen vuoden arvoksi.

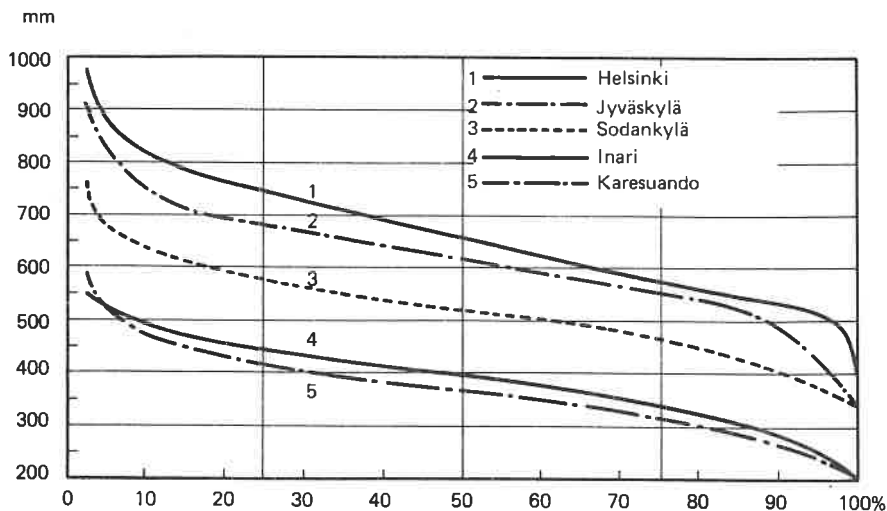


Kuva 3.12. Sademäärän ilmastollinen vaihtelu Helsingissä (30-vuotijaksojen keskiarvoja).

Suoritettu tarkastelu esittää Suomen hydrologisen kierron pääpiirteitä suur-alueittain ja suhteellisen pitkiä aikajaksoja tarkastellen. Jos tarkastellaan piste-arvoja, ovat vaihtelut yleensä suurempia johtuen sekä satunnaisista että paikallisista tekijöistä. Samoin satunnaistekijöistä johtuen vaihteluväli kasvaa aikajakson lyhentyessä. Vuosisadanta maantieteellisen sijainnin mukaan on yksityiskohtaisemmin esitetty kuvassa 3.13 ja vuosisadannan lukuisuus eräillä paikkakunnilla kuvassa 3.14. Lukuisuustarkastelussa ovat lähtökoh- tana havaitut korjaamattomat arvot. Todelliset sadanta-arvot ovat 100...150 mm suurempia.

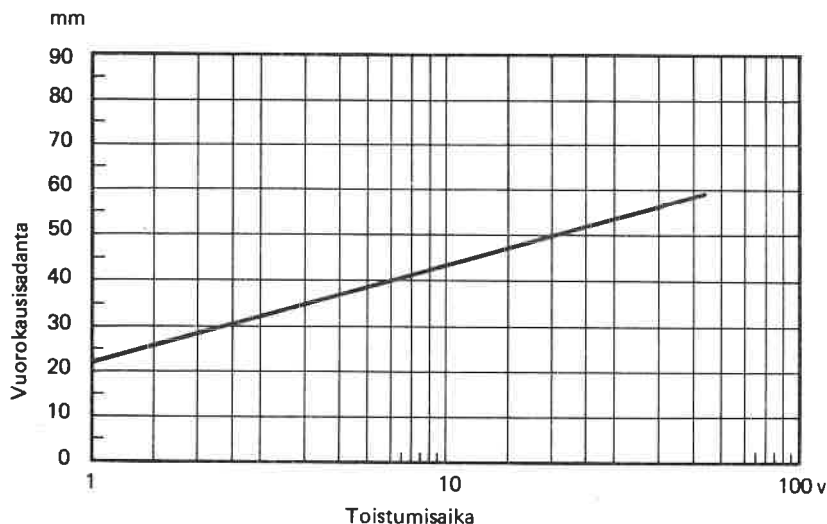


Kuva 3.13. Keskimääräinen vuosisadanta (mm) Suomessa 1931—1960.
(Korjatut arvot)



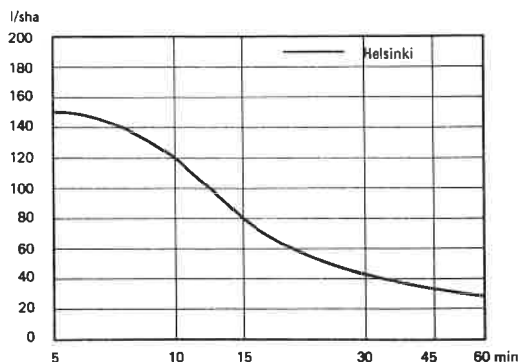
Kuva 3.14. Vuosisadannan lukuisuus vuosien 1915...1964 havaintojen perusteella. (Korjaamattomat arvot)

Suurimmat havaitut kuukausisadannat ovat Suomessa noin 300 mm ja suurin havaittu vuorokausisadanta noin 200 mm, joskin jo 100 mm:n ylitys vuorokausisadannassa on hyvin harvinaista. Suurimman vuorokausisadannan toistumisajan ja suuruuden vuorosuhde Helsingissä havaintojakson 1905—1962 mukaan on esitetty kuvassa 3.15. Tavallisimmat sateet ovat suuruusluokkaa 5 mm/d.



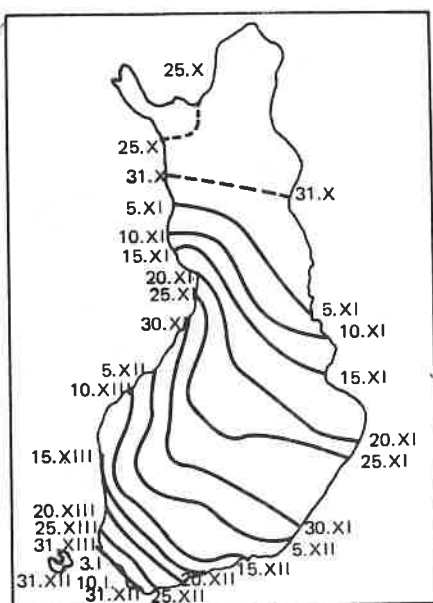
Kuva 3.15. Vuoden suurimman vuorokausisadannan toistumisajan ja suuruuden vuorosuhde Helsingissä v. 1909...1962.

Sateiden rankkuus pienenee keston kasvaessa. Kuvassa 3.16 on esitetty keskimäärin kerran vuodessa toistuvan sateen rankkuus Helsingissä.

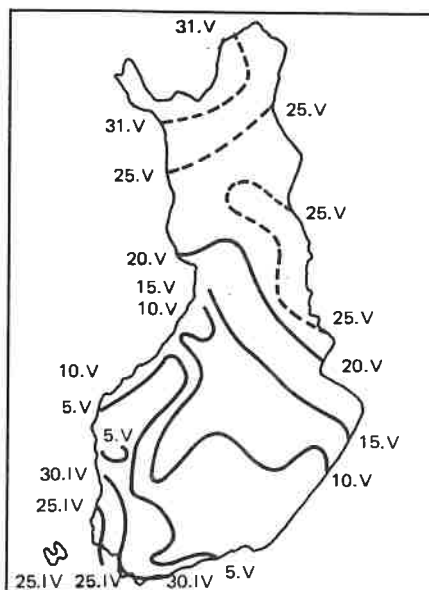


Kuva 3.16. Keskimäärin kerran vuodessa toistuvan sateen rankkuus Helsingissä.

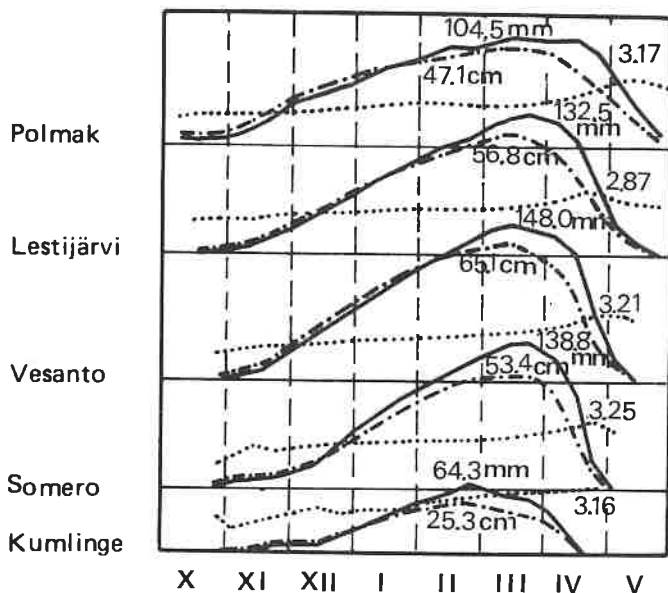
Vuosisadannasta tulee lumena Suomen eri osissa suunnilleen saman verran, keskimäärin 200...230 mm. Prosentuaalinen osuus vaihtelee johtuen vuosisadannan vaihtelusta keskimäärin 30...50 %. Lounais-Suomessa on lumen osuus sadannasta keskimäärin alle 30 %. Lumipeitteen muodostumisessa, häviämisessä, lumen maksimisyvydessä, vesiarvossa ja sulamisessa on ilmastollisista tekijöistä johtuvat selvät alueelliset erot. Näitä on esitetty kuvissa 3.17...3.20.



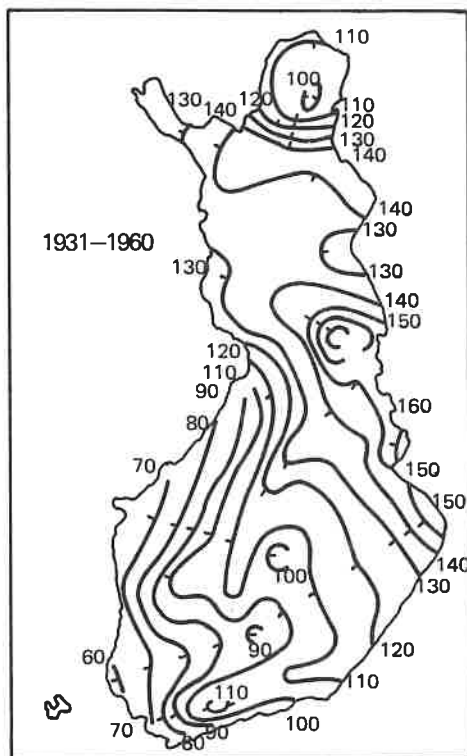
Kuva 3.17. Pysyvän lumipeitteen keskimääräinen tuloaika v. 1892...1941.



Kuva 3.18. Lumipeitteen keskimääräinen katoamisaika metsistä v. 1892...1941.

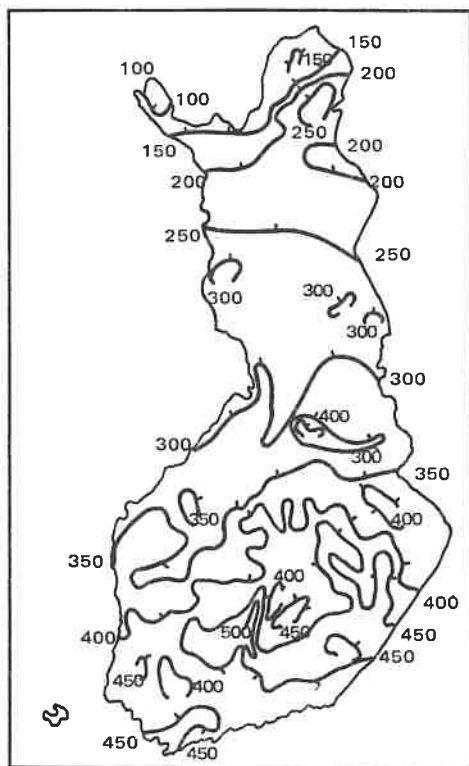


Kuva 3.19. Lumipeitteen syvyyden (piste-katkoviiva), tiheyden (pisteviiva) ja vesiarvon (täysi viiva) keskimääräinen kehittyminen vuosina 1920...1924 viidellä paikkakunnalla.



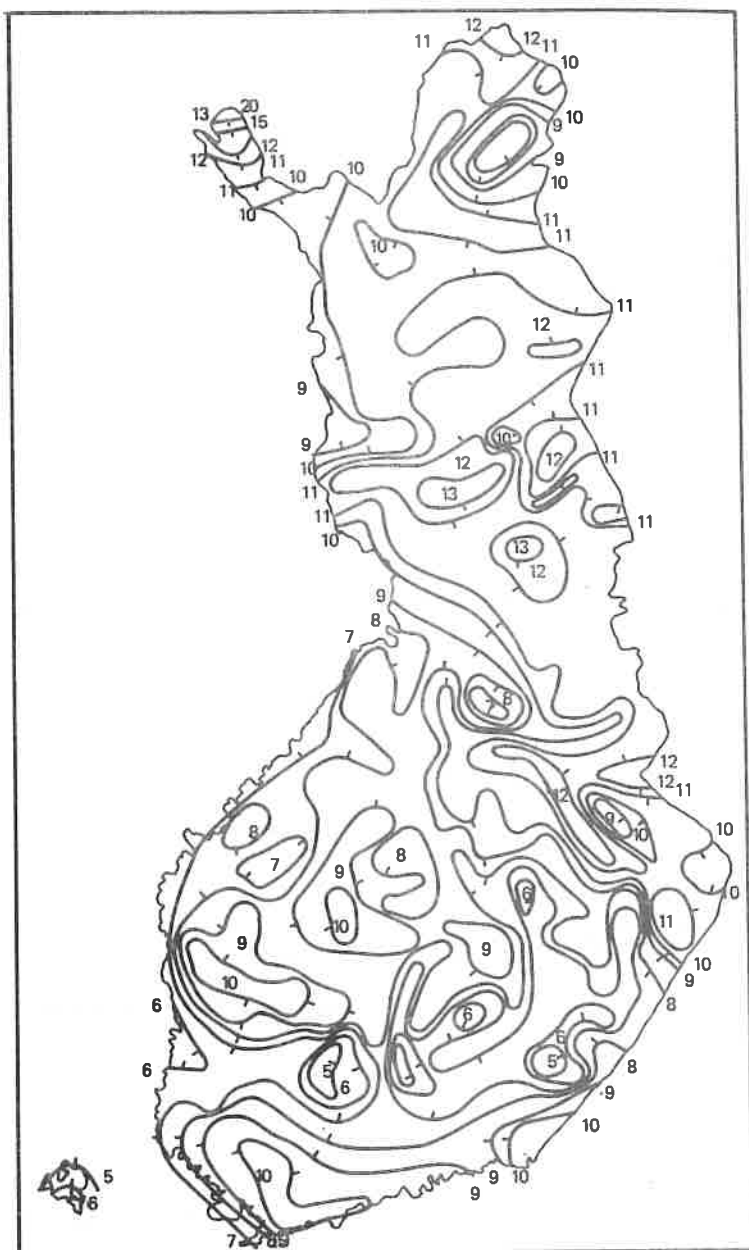
Kuva 3.20. Keskimääräinen lumen vesiarvo (mm) maaliskuun 16. pnä v. 1931...1960.

Keskimääräisen vuosihaihdunnan suuruus Suomessa käy ilmi kuvasta 3.21. Haihdunnan vuosivaihtelut ovat suhteellisen suuria. Niinpä vuonna 1959 touko—syyskuussa tapahtuneen järvihaihdunnan suuruudeksi on arvioitu Etelä-Suomessa 499 mm, kun vastaavaksi arvoksi vuodelle 1962 on arvioitu 258 mm. Molemmat arviot perustuvat haihdunta-astiamittauksiin. Lumen pinnasta tapahtuvan haihdunnan suuruus on Suomessa keskimäärin 15 mm talven aikana. Tästä määrästä suurin osa haihtuu lumen sulamiskaudella.



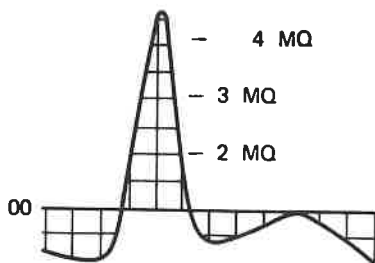
Kuva 3.21. Vuosihaihdunta (mm) Suomessa vesitasemenetelmällä määritettynä käyttäen korjattuja sadanta-arvoja. Vuosien 1931—1960 keskiarvo.

Vuoden keskivaluma Suomessa käy ilmi kuvasta 3.22. Suomen valuntasuhteita tarkasteltaessa havaitaan, että lumipeitteen sulaminen aiheuttaa yleensä suurimmat valumat. Vuoden toinen tulvakumpu aiheutuu syyssateista, mutta sen suuruus on yleensä kevättulvaa selvästi pienempi. Järvisyydellä ja valuma-alueen alalla on merkittävä vaikutus valunnan vuotuisen jakumaan, kuten kuvasta 3.23 havaitaan.

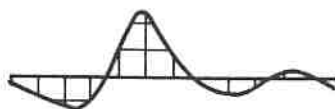


Kuva 3.22. Vuoden keskiarvo Suomessa l/s km².
Vuosien 1931—1960 keskiarvo.

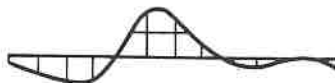
Kalajoki, $J = 1,9 \%$
 $A = 2990 \text{ km}^2$



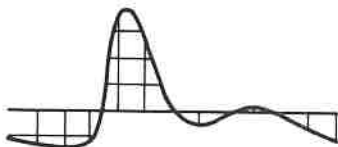
Nilsianreitti, $J = 10,8 \%$
 $A = 2455 \text{ km}^2$



Oulujoki, $J = 12,7 \%$
 $A = 19890 \text{ km}^2$



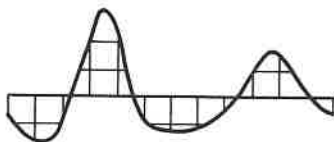
Kemijoki, $J = 2,4 \%$
 $A = 27285 \text{ km}^2$



Kokemaen joki, $J = 11,8 \%$
 $A = 26025 \text{ km}^2$



Vantaanjoki, $J = 2,5 \%$
 $A = 1680 \text{ km}^2$



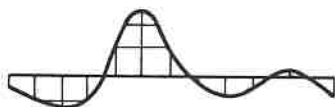
Karjaan joki, $J = 12,5 \%$
 $A = 1995 \text{ km}^2$



Kymijoki, $J = 19,3 \%$
 $A = 36535 \text{ km}^2$



Koitaajoki, $J = 8,4 \%$
 $A = 4290 \text{ km}^2$



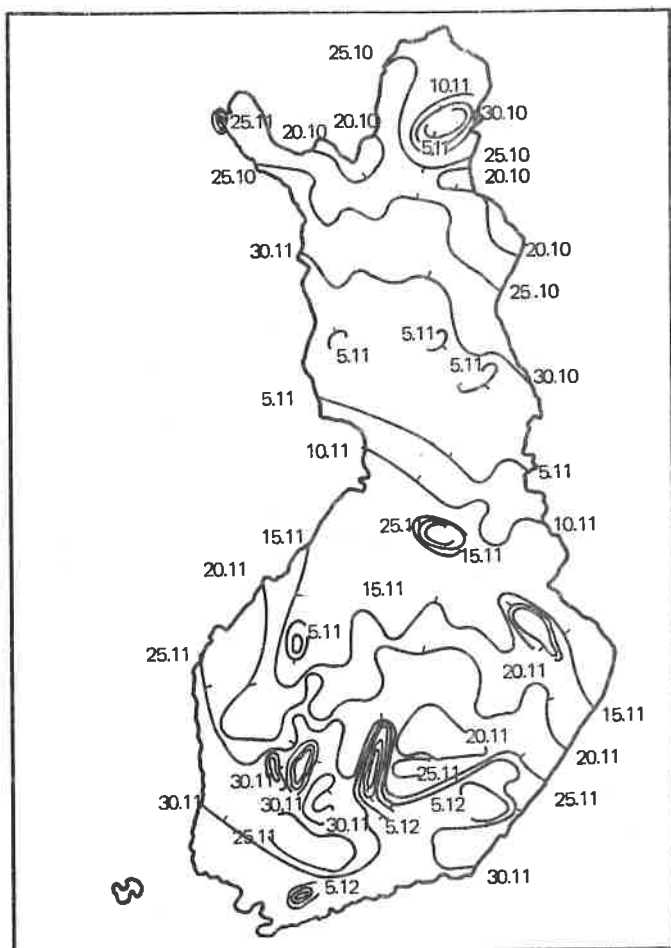
Vuoksi, $J = 19,9 \%$
 $A = 61275 \text{ km}^2$



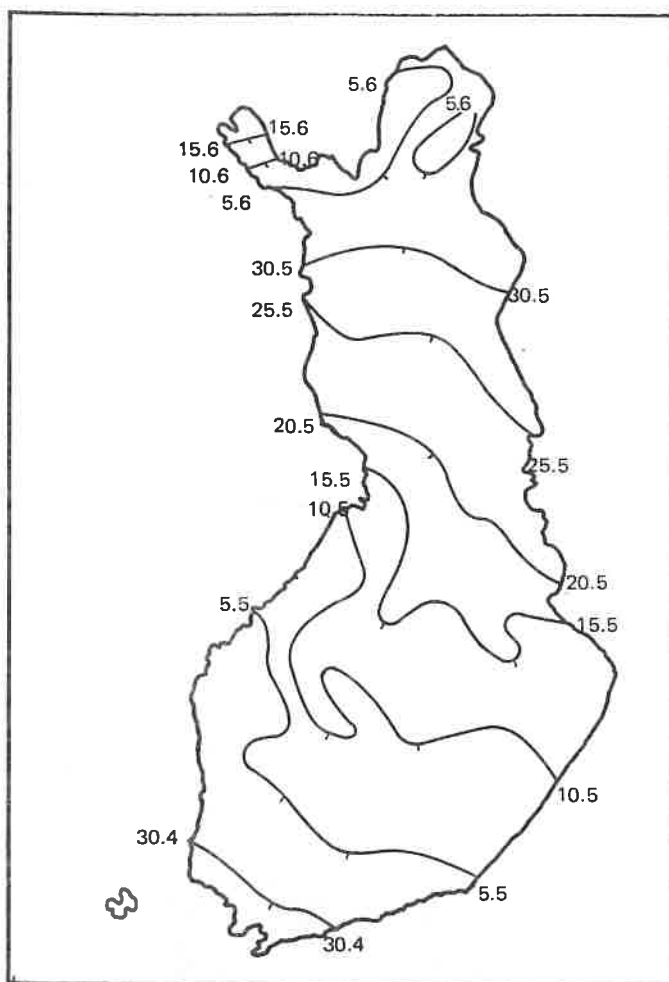
Kuva 3.23. Virtaaman suhde keskivirtaamaan eräillä valuma-alueilla.
 Vuosien 1911—1940 keskiarvot.

Etelä-Suomen valuma-alueilla valuman vuotuinen vaihtelu voi poiketa edellä kuvatusta, ja niillä vuoden suurin valuma voi aiheutua suhteellisen usein syyssateista. Pienillä valuma-alueilla voivat kesäiset rankkasateet saada aikaan suurimmat tulvat.

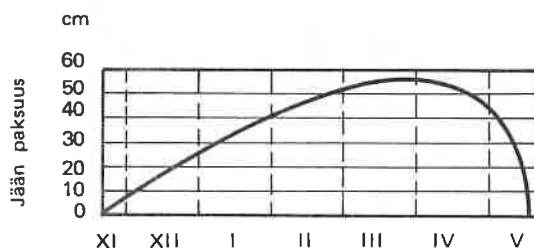
Järvet jäätyvät syksyisin eri aikoina riippuen niiden syvyydestä ja laajuudesta. Pysyvä jääpeite syntyy Lapin pienehköissä järvissä normaalisti loka-kuun loppupuoliskolla. Sisä-Suomen järviolueella alkavat pienet järvet jäätyä marraskuun alussa ja kaikki järvet ovat jäässä tavallisesti joulukuun loppuun mennessä. Edellä kerrotun keskimääräistilanteen suhteen on luonnollisesti vuosittain huomattaviakin poikkeamia. Järvien jäätyminen on esitetty kuvassa 3.24 ja jäätien lähtöaika kuvassa 3.25 sekä jääpeitteen keskimääräinen paksuus talven aikana Oulujärvessä kuvassa 3.26.



Kuva 3.24. Järvien jäätyminen. Vuosien 1951—70 keskiarvot.

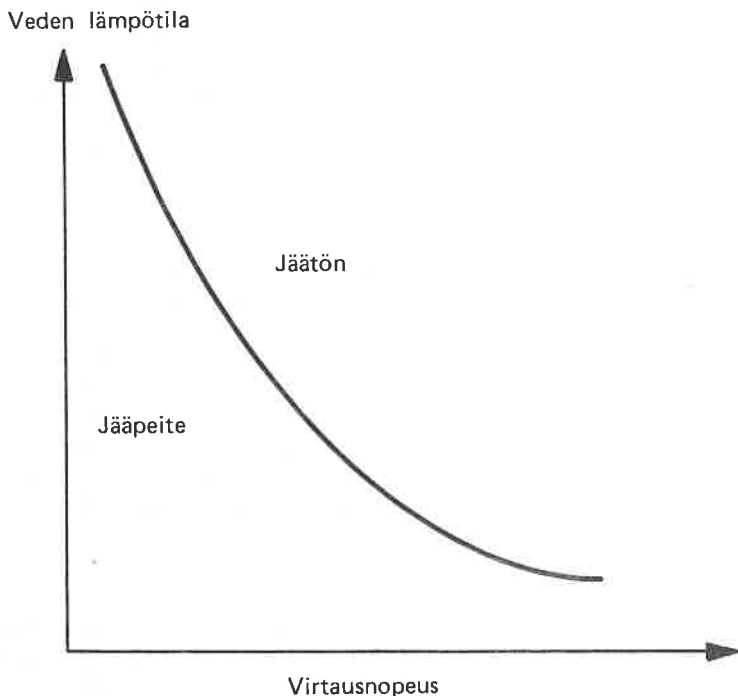


Kuva 3.25. Järvien jäänlähtö. Vuosien 1951—70 keskiarvot.



Kuva 3.26. Jäälleittien keskimääräinen paksuus talven aikana Oulujärvessä.

Supon vaikutus uoman talvisiin virtaussuhteisiin saattaa olla merkittävä. Virtaavissa vesistöissä suojaavan jääkannen puuttuessa, veden lämpötila voi laskea jonkin verran 0°C alapuolelle. Tällainen alijäähtynyt vesi kiteytyy herkästi liete- tms. hiukkasten ympärille jääsohjoksi eli supoksi, joka virtaavan veden mukana liikkeessaan kasaantuu helposti suppadoksi. Supon haitalliset vaikutukset tulevat erityisen suuriksi pitkissä, runsasvetisissä ja järvettömissä jokivesistöissä. Kuvassa 3.27 on esitetty veden virtausnopeuden, lämpötilan ja jäätymisen välinen riippuvuus kaavamaisesti.



Kuva 3.27. Virtausnopeuden ja lämpötilan vaikutustapa jääpeitteen muodostumiseen.

3.3 Veden kiertoon vaikuttavat tekijät

3.31 Maapallon lämpö- ja tuuliolot

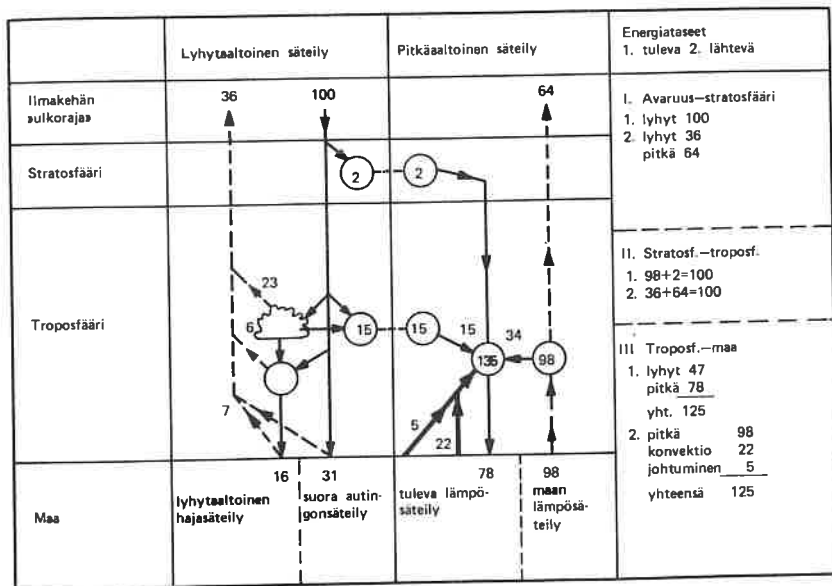
Veden kiertokulun energialähteenä on auringosta tuleva säteily. Ilmakehän ulkorajalla tämän säteilyn määrä on säteilyä vastaan kohtisuoralle pinnalle noin 1390 W/m^2 (ns. aurinkovakio). Maapallon pinta-alaa kohti laskien on keskimääräinen säteily noin 350 W/m^2 , koska pallon pinta-ala on neljä

kertaa samansäteisen ympyrän pinta-alaa suurempi. Kun auringonsäteily kulkee ilmakehän läpi, osa siitä imeytyy ilmakehän kaasuihin ja hiukkasiin, osa hajoaa hiukkasten vaikutuksesta joka suuntaan tapahtuvaksi säteilyksi, osa heijastuu takaisin hiukkasista, erityisesti pilvimuodostumista, ja osa maanpinnasta. Auringonsäteilyä imevistä kaasuista tärkeimmät ovat vesihöyry ja otsoni.

Kappaleesta heijastuvan ja sille osuvan säteilyn intensiteettien suhdetta nimitetään albedoksi. Maapallon pinnan keskimääräiseksi albedoksi auringon säteilyn suhteen on arvioitu 0,14 ja koko planeettamme albedon arviot vaihtelevat välillä 0.35...0.43. Auringonsäteilyn planeetallemme tuomasta energiasta vain runsaat 50 % saavuttaa maanpinnan, mistä noin 35 %-yksikköä on varsinaista suoraa säteilyä ja loput noin 19 %-yksikköä diffuusista tai vaan kannen hajasäteilyä ja hiukkasista heijastunutta säteilyä.

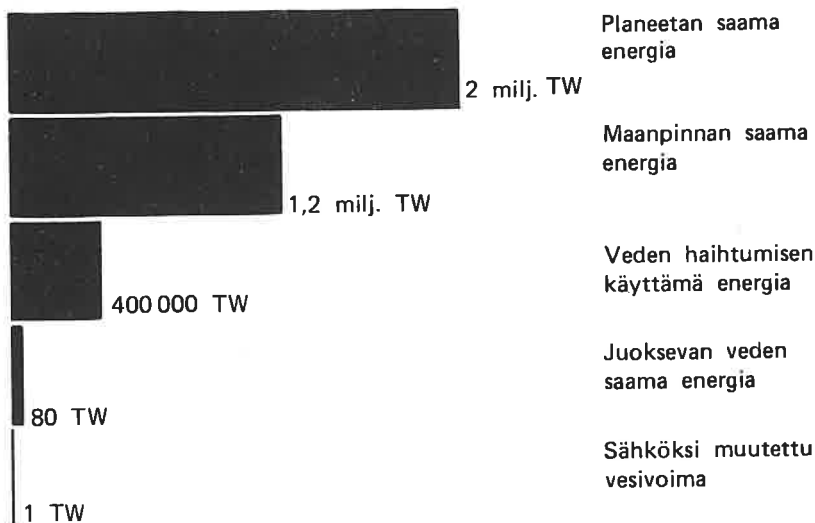
Maanpinta säteilee lämpötilaansa vastaten energiaa ilmakehään. Tämä energiamäärä on kaksinkertainen verrattuna maanpinnan absorboimaan auringon säteilyenergiaan. Maanpinnan lähettämä säteily on aallonpituudeltaan pitempää kuin auringonsäteily. Tätä säteilyä ilmakehän vesihöyry ja hiilidioksidi absorboivat tehokkaasti. Vain noin 7 % läpäisee suoraan ilmakehän. Koska absorboituminen on hyvin tehokasta, pääosa maanpinnan emittoimasta pitkäaaltoisesta säteilystä palaa ilmakehästä takaisin maanpinnalle. Näistä syistä maanpinnan saama kokonaissäteilyenergia on noin 25 % suurempi kuin koko planeetan saama auringon säteilyenergia. Ilmiötä sanotaan ilmakehän kasvihuone-efektiksi.

Koska ainut merkittävä energialähde on aurinko ja lämpötilaolot maanpinnalla ja ilmakehässä pysyvät keskimäärin vakiona, niin maaplaneetan täytyy lähettää saamansa energiamäärä takaisin avaruuteen ja maanpinnan saamansa energia ilmakehään. Jos merkitään auringon lyhytaaltoisen säteilyn planeetalle aikayksikössä tuomaa energiamäärää arvolla 100 ja otetaan planeetaarisen albedon arvoksi 0,36, niin saadaan, että maaplaneetan lähettämästä säteilystä on 36 yksikköä lyhytaaltoista ja 64 yksikköä pitkäaaltoista. Maanpinta saa lyhytaaltoista säteilyä 54 yksikköä, josta 47 yksikköä imeytyy, sekä pitkäaaltoista säteilyä 78 yksikköä, josta noin 95 % imeytyy. Nämä yhteensä tekevät 125 yksikköä. Maanpinnan heijastaman ja emittoiman pitkäaaltoisen säteilyn yhteismäärä on 98 yksikköä. Näiden erotus on 27 yksikköä. Tästä maanpinnan ylijäämäenergiasta 22 yksikköä siirtyy ilmakehään vesihöyryn haihtumisen mukana ns. latenttina energiana ja 5 yksikköä siirtymällä ja johtumalla, pääasiallisesti turbulenttisen siirtymisen kautta. Haihtumis-tiivistymisprosessilla ja ilmavirtauksilla on siten merkittävä osuus jo energian keskimääräisten pystysiirtymien tarkastelussa. Yksityiskohtaisemmin energian keskimääräinen kiertoprosessi pystysuunnassa on esitetty kuvassa 3.28.



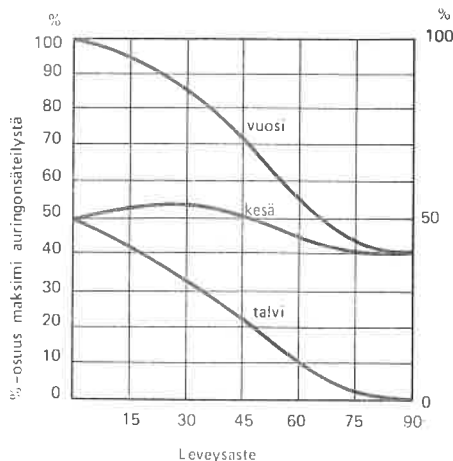
Kuva 3.28. Energian kierto pystysuunnassa.

Kuvassa 3.29 on edelleen esitetty auringon säteilyenergian, veden asema-energian ja sähköksi muutetun asemaenergian suuruussuhteet.



Kuva 3.29. Säteilyenergiasta sähköksi.

Säteilyenergian jakautumisessa maanpinnalla on hyvin suuret ajalliset ja alueelliset vaihtelut. Auringon säteilyn osalta vaihtelua aiheuttavat tekijät ovat maapallon pyöriminen, pyörimisakselin suunnan muutos suhteessa kiertoraan ja osittain em. tekijöistä riippuva säteilyn ja maanpinnan välinen tulo- kulma. Näiden yhteisvaikutus säteilyn jakautumiseen on esitetty kuvassa 3.30.

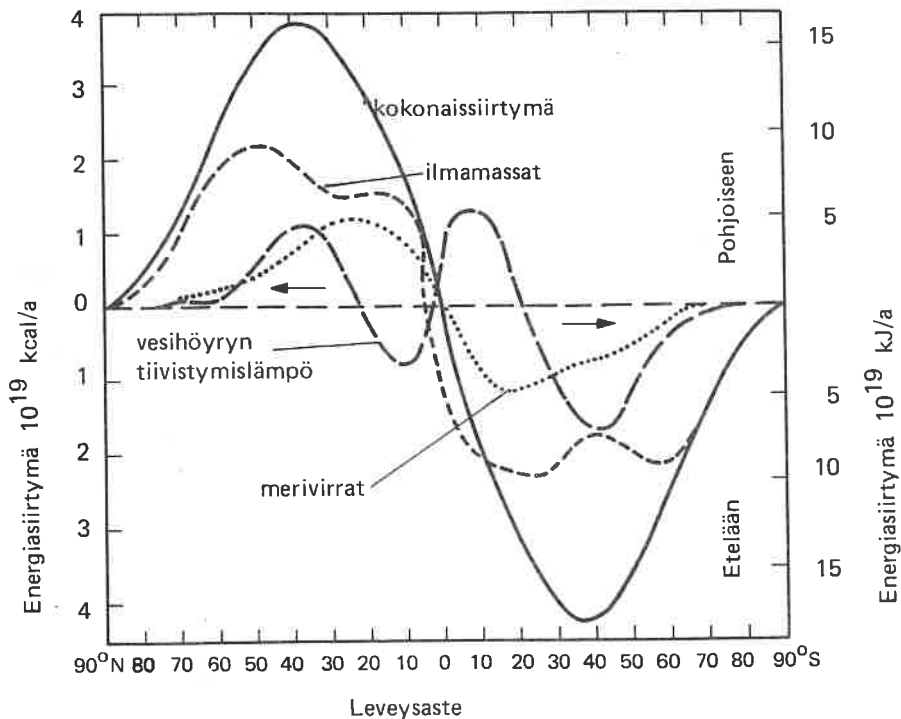


Kuva 3.30. Auringonsäteilyn jakautuminen ilmakehän ulkorajalla.

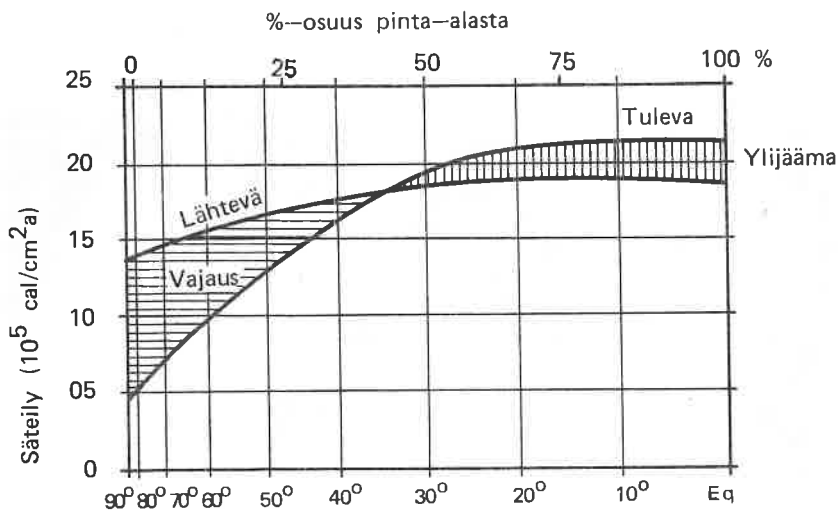
Auringon säteilyn epätasaisesta jakautumisesta ja maanpinnan albedon vaihteluista johtuvat ensisijaisesti maanpinnan absorboiman energian vaihtelut ja erilainen lämpeneminen. Lämpötilaoloja globaalisesti tasoittaviksi tekijöiksi muodostuvat ilmamassojen liikkeet, vesihöyryn haihtuminen ja tiivistyminen sekä merivirrät. Albedon vaihtelut on esitetty taulukossa 3.4. Näiden tasoittavien tekijöiden vaikutus maanpinnan säteilyolosuhteisiin on hyvin merkittävä kuten kuvista 3.31 ja 3.32 ilmenee.

Taulukko 3.4. Albedo eräillä pinnoilla.

Pinta	Albedo
Vesi	0.03...0.40 (riippuu tulokulmasta)
Tumma kuiva maa	0.14
Tumma kostea maa	0.08
Vaalea kuiva maa	0.25...0.30
Vaalea kostea maa	0.10...0.12
Kallio	0.12...0.15
Lumi	0.40...0.85 (riippuu iästä)
Merijää	0.36...0.50
Vihreä ruoho	0.26
Havumetsä	0.10



Kuva 3.31. Energian siirrokset pohjois-eteläsuunnassa maapallolla vuosittain.



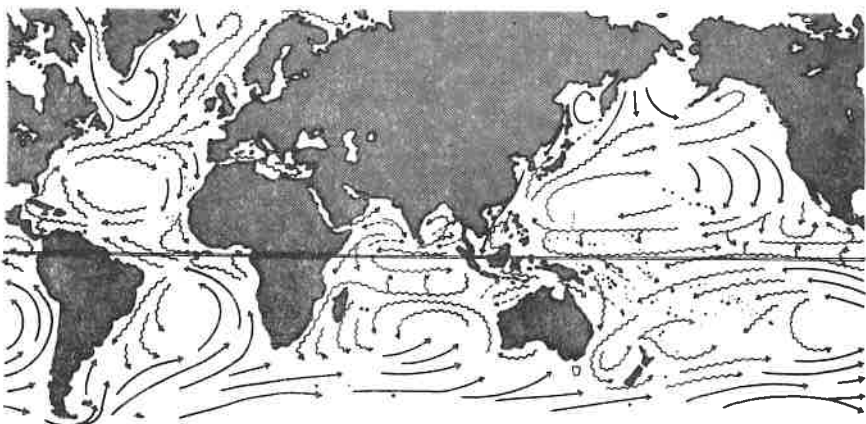
Kuva 3.32. Tuleva ja lähtevä säteily pohjoisella pallonpuoliskolla.

Päiväntasaajan seudun saamat suuret säteilymäärät aiheuttavat, että ilma kohoaa ylös ja virtaa navoille päin. Jäähtyneet ilmamassat painuvat 30° leveysasteen tienoilla alas ja virtaavat osaksi takaisin päiväntasaajalle ja osaksi navoille päin. Ilmamassojen pääliikesuunnat eivät kuitenkaan ole pohjois-eteläsuuntaisia vaan lähinnä Coriolisvoimasta johtuen tästä poikkeavia. Ilmamassan nopeuden ja liikesuunnan määrää ensisijaisesti paine-erosta johtuva gradienttivoima. Tämän lisäksi liikkuvaan partikkeliin vaikuttaa liikesuuntaa vastaan kohtisuora Coriolisvoima, joka pohjoisella pallonpuoliskolla kääntää partikkelin rataa oikealle ja eteläisellä vasemmalle. Coriolisvoima kasvaa nopeuden ja leveyden asteluvun kasvaessa. Maanpinnassa päiväntasaajalle suuntautuva virtaus, pasaatituuli, on suunnaltaan koillinen ja vastaavasti navoille suuntautuva virtaus kääntyy lounaistuuleksi.

Ilmakehän alimman 500...1000 m:n matkalla virtaukseen vaikuttaa lisäksi kitkavoima, joka on kohtisuorassa liikesuuntaa vastaan. Edelleen partikkeliin vaikuttaa horisontaalinen keskipakovoima, jos liikesuunta muuttuu. Coriolisvoimalla ei ole merkitystä päiväntasaajalla eikä pienialaisissa pyörrevirtauksissa.

Mainituista tekijöistä johtuu, että paine-erot, ilmakehän ”häiriöt”, tasoittuvat varsin hitaasti lukuunottamatta päiväntasaajan aluetta. Paikallista paine-eroa tasoittava ilmavirtaus joutuu kiertävään liikkeeseen ja muodostuu sykloni. Tällaiset voivat kestää pitkiä aikoja ja vastaavasti liikkua pitkiä matkoja, ennenkuin paine-ero on tasoittunut.

Merivirtojen aiheuttajina ovat erityisesti tuulesta johtuva kitkavoima, ilmanpaine-erot, auringon ja kuun vetovoima sekä haihdunnan ja sadannan alueelliset vaihtelut. Päiväntasaajaa lukuunottamatta suuntaan vaikuttaa myös Coriolisvoima. Kuvassa 3.33 on esitetty tärkeimmät merivirrat.



Kuva 3.33. Merivirrat, ~~~~ lämmin, —> kylmä.

3.32 Sateen synty ja sadetyypit

Ilma siinä olevine tiivistymis- ja härmistymistuloksineen on verrattavissa kolloidiseen nesteliuokseen. Niin kauan kuin pienet ja kevyet pilviosaset pysyvät ilmassa leijailevina, pilvi on kolloidisessa tasapainossa. Luonnossa vaikuttaa kuitenkin monia tekijöitä, joiden vaikutuksesta tuo tasapaino saattaa häiriintyä ja muodostua sadetta.

Sade muodostuu pilvissä olevista jääkiteistä tai niissä leijailevista vesipartikkeleista, jotka putoavat maanpintaan ns. hydrometeoreina. Kuitenkaan sateen ei tarvitse saavuttaa maanpintaa, vaan se voi haihtua kokonaan matkalla ilmakerrosten läpi, jotka eivät ole vesihöyryn kyllästämiä. Sade ei riipu niinkään paljon pilvien suuruudesta tai muodosta kuin pilvien kolloidisesta tasapainotilasta.

Sateen syntyyn vaikuttavina päätekijöinä voidaan mainita seuraavia:

1. Vesihöyryn kyllästyspaine pienien pisaroiden pinnalla on suurempi kuin isojen pisaroiden pinnalla. Tämä paine-ero on edellytyksenä erikokoisten pisaroiden yhteenliittymiseen ja niiden kasvamiseksi yhä isommiksi. Näinollen pilvi, jossa on erikokoisia pisaroita, on kolloidilabiili, ja tällöin isot pisarat kasvavat yhä isommiksi pienten pisaroiden kustannuksella.
2. Kyllästyspaine jään pinnalla on alempi kuin samassa lämpötilassa olevan veden pinnalla. Jääkiteitä ja vesipisaroita sisältävä pilvi on kolloidilabiili, ja jääkiteet kasvavat vesipisaroiden kustannuksella.
3. Suurehkot pilvipisarat putoavat nopeammin kuin pienet, ja saavutettuun pienempiä yhtyvät yhä suuremmiksi.
4. Vapaassa ilmakehässä jääkiteet ovat suurempia kuin pilvipisarat, ja ne putoavat nopeammin. Pilvessä, joka sisältää sekä jääkiteitä että vesipisaroita, tapahtuu siis näiden yhtymistä.
5. Pilvipisarat voivat olla sähköisesti varattuja. Vastakkaismerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa ja pisarat voivat yhtyä.

Käytännöllistä merkitystä on vain kohdilla 2, 3 ja 4.

Sateiden syntyä selitetään Wegener-Bergeron'in — teorian ja koaleskensi — teorian mukaisesti.

Wegener-Bergeron'in -teorian mukaan jääkiteillä on sadetta synnyttävä vaikutus. Pilvessä pitää saavuttaa jäätymisraja, jolloin muodostuu jääkiteitä. Keskileveyspiirillä sateen synty voidaan usein selittää tämän teorian mukaan. Kuitenkin tropiikissa sade tulee pilvistä, jotka eivät ole saavuttaneet jäätymisrajaa, vaan niiden lämpötila on nolla-asteen yläpuolella.

Koaleskenssi -teoria selittää sateen synnyn pisaroiden yhtymisen perusteella. Sateen synty vaatii hyvin erikokoisia pisaroita, joista suurimmat syntyvät jääkiteinä pilvien yläosissa. Täten tavallaan tarvitaan molempia teorioita sateen synnyn selvittämiseen. Näin on osoitettu käytännössä kumpikin oikeaksi tietyissä meteorologissa oloissa.

Kun ilman lämpötilasuhteet ovat sellaiset, että jääkiteet tai hiutaleet eivät pudotessaan sula pisaroiksi, tulee sade maanpintaan jääjyväsinä tai jääkiteinä, lumihiuksina tai lumijyväsinä, lumirakeina tai muissa vastaavissa muodoissa.

Edellisestä yhteenvedosta voidaan todeta, että sateen syntymiselle on välttämätöntä, että

- a) ilmassa on vesihöyryä,
- b) ilmassa on hiukkasia, joiden ympärille vesihöyry saattaa tiivistyä tai härmistyä,
- c) ilma jäähtyy, jotta tiivistymistä ja härmistymistä (kondensaatiota tai sublimaatiota) voi tapahtua.

Kahta ensinmainittua tapausta ja niiden edellytyksiä on käsitelty jo edellä. Kolmantena sateen edellytyksenä oleva ilman jäähtyminen tapahtuu yleensä silloin, kun ilma jostain syystä kohoaa ylöspäin. Ilman kohoamisyyne perusteella sateet jaetaan kolmeen perustyyppiin:

1. Orografinen sade muodostuu ilmapirtauksessa, jossa maastoesteen vuoksi ilma joutuu nousemaan ylöspäin. Sellainen sade on tyypillistä rannikoilla, joissa rannikko ei ole vallitsevien tuulten suuntainen ja maanpinta nousee jyrkästi. Esimerkiksi Norjan länsirannikolla sade on luonteeltaan orografista. Pinnanmuodolla on merkitystä sadannan jakautumiselle myös seuduilla, joissa on vähemmän vaihteleva topografia.
2. Konvektiivinen sade aiheutuu maanläheisen kerroksen paikallisesta lämpenemisestä ja siten syntyvästä konvektiosta. Tämä sadelaji on leimaaantava lähinnä mantereiden sisäosille kesäaikana. Konvektiiviset sateet ovat verraten rankkoja, mutta lyhytaikaisia ja pienialaisia. Kokonaissadanta pelkässä konvektiosadetapahtumassa ei yleensä ole enempää kuin 20...30 mm.
3. Rintamasateilla tarkoitetaan meillä yleensä vain syklonisateita. Tosiasiasa sykloniset sateet syntyvät matalapaineiden yhteydessä ilman kohotessa ylöspäin. Rintamasade nimitys on yleisempi käsittäen mm. myös tropiikissa konvergenssin yhteydessä tapahtuvan ilman kohoamisen seurauksena syntyvän ns. konvergenssisateen.

Matalapaineisiin liittyvät rintamasateet ovat eri luonteisia riippuen siitä, aiheuttaako ilman kohoamisen kylmä, lämmin vai okluusiorintama.

Kylmän rintaman yhteydessä sateet ovat kuuroluonteisia, pienialaisia ja rankkoja, usein ukkossateita. Sade syntyy siten, että kylmä rintama kohtaa

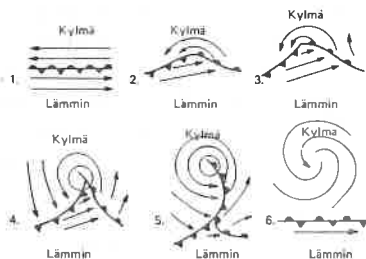
liikkuessaan lämpimämmän ilmamassan ja tunkeutuu raskaampana lämpimän ilmamassan alapuolelle, joka tällöin äkillisesti kohoaa ylöspäin. Kylmän ja lämpimän ilmamassan välinen rintamapinta on jyrkkä, ja siten sade alkaa vain vähän rintamapinnan etupuolella.

Lämpimän rintaman yhteydessä syntyy tavallisesti pitkäaikainen ja vaimea sade, joka kestää 6—12 tuntia tai kauemminkin. Lämmin ilma kohoaa kevyempänä kylmän ilman yläpuolelle. Rintamapinta on hyvin loiva ja sadealue näinollen laaja. Sade alkaa huomattavasti ennen kuin lämpimämpi ilma saapuu paikkakunnalle, ja matkana ero voi olla jopa 500 km. Tällaiset laajat sadealueet ovat erittäin yleisiä keskileveysasteilla sekä pohjoisella että eteläisellä pallonpuoliskolla polaaririntaman yhteydessä.

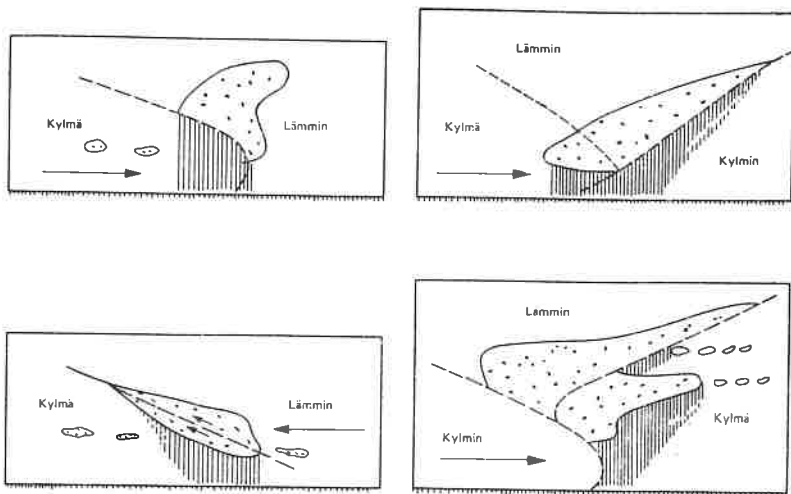
Oklusiorintama muodostuu syklonin kehityksen loppuvaiheissa matalapaineen keskuksen ympäri tapahtuvan kiertoiliikeen ja erisuuruisen kierto-opeuden aiheuttamasta viileän, lämpimän ja kylmän rintaman yhdistymisestä. Ilmiötä sanotaan syklonin okludoitumiseksi ja rintamien yhteistä rajaviivaa maanpinnan tasossa okluusiorintamaksi. Muodostumisvaiheessa on lämpimin ilmamassa vaakasuunnassa tarkastellen kahden kylmemmän kanssa samaan suuntaan, mutta eri nopeudella liikkuvan ilmamassan välissä. Takimmaisena ilmamassan nopeus on suurin, mutta lämpötila voi olla suurempi tai pienempi kuin etummaisena kylmän ilmamassan.

Lämpötilasuhteista riippuen okluusiorintaman yhteydessä syntyvä sade saattaa olla joko kylmän tai lämpimän rintaman tyyppinen. Jos lämpimän rintaman edessä oleva ilma on kylmempää kuin siihen yhtyvän kylmän rintaman takana tuleva ilma, virtaa tämä kylmä ilma loivasti kaikkein kylmimmän päälle ja syntyy lämpimän rintaman tyyppinen pitkäaikainen, vaimea ja laaja-alainen sade. Jos taas kylmän rintaman takana tuleva ilma on kylmempää kuin lämpimän rintaman edessä oleva ilma, tunkeutuu kylmän rintaman takana tuleva ilma alimmaksi ja syntyy kylmän rintaman tyyppinen kuuro-sade.

Syklonin yhteydessä voidaan aina katsoa esiintyvän kaikkia kolmea rintamatyyppiä, joskaan ei alueellisesti samalla kohtaa. Konkreettista sadetapah- tumaa ei sinänsä läheskään aina voida täysin lukea jonkin perustyyppin mu- kaiseksi vaan kyseessä on usein kombinaatio. Syklonin muodostuminen on esitetty kuvassa 3.34 ja erilaiset rintamasateet kuvassa 3.35.



Kuva 3.34. Syklonin kehitysvaiheet.



Kuva 3.35. Rintamasateet.

3.33 Sateitten luonne Suomessa

Maamme sateista pääosa on perustyyppiltään syklonista rintamasadetta. Kesäsateista huomattava osa on kuitenkin synnyltään konvektiivista. Vaikka Suomi on suhteellisen tasaista ja alavaa, maaston epätasaisuudet synnyttävät selvästi havaittavan orografisen vaikutuksen. Se aiheuttaa suuremman sadannan vallitsevien tuulten puoleisilla rinteillä. Orografisella tekijällä on huomattava välillinen, pienentävä vaikutus maamme sadantaan, sillä Skandinavian vuoristonselänne pidättää merkittävän osan Atlantilta tulevien ilmamassojen kosteudesta.

Suomen ilmastossa ja sadesuhteissa tulee näkyville sekä läntisen valtameren että itäisen mantereen vaikutus. Golf-virran ansiosta ilmastomme on suotuisampi kuin vastaavilla leveysasteilla yleensä. Skandinavian korkea vuoristonselänne katkaisee huomattavassa määrässä meri-ilmastoon vaikutuksen. Eri vuodenajat ovat tässä suhteessa kuitenkin erilaisia. Pohjois-Atlantilla muodostuu Golf-virran vaikutuksesta yhä uusia sadetta aiheuttavia matalapaine-keskuksia, jotka liikkuvat itäänpäin ja saapuvat maahamme joko Keski-Euroopan kautta taikka Skandinavian yli. Ne merituulet, jotka tulevat Skandinavian vuoristonselänne yli, menettävät kosteutensa jo siellä ja maahamme saapuessaan ovat vähäsateisia. Toisin on sensijaan niiden tuulien laita, jotka kiertävät Atlantilta Keski-Euroopan yli maahamme. Maasto on siellä verrattain alavaa, joten merituulet matkallaan menettävät vain osan kosteudestaan. Suomeen saapuessaan etelästä tuleva ilma jäähtyy osaksi maamme pohjoisen aseman vaikutuksesta osaksi sen johdosta, että kohdattessaan esteitä kostea ilma kohoaa. Kun maassamme ei ole mitään huomattavaa

tavia vuoristoja, on sateiden jakaantuminen suhteellisen tasaista. Kuitenkin on meillä havaittavissa korkeussuhteiden vaikutus sademääriin. Sadetta aiheuttavien tuulien saapuessa etelästä päin muodostuu Etelä-Suomi runsas-sateisemmaksi kuin Pohjois-Suomi.

Erittäin selväksi käy valtameren vaikutus maamme sateisiin näkymiin talvella, jolloin Pohjois-Atlantin matalapaine yleensä on voimakkaimmillaan. Tällöin maan ollessa lumen peittämä ja ilman lämpötilan ollessa alhaisin koko Itä-Euroopassa on haihtuminen mantereella vähäistä. Sitävastoin Itämerellä tapahtuu talvella runsaammin haihtumista kuin maalla. Talvisateitten merellisestä alkuperästä johtuen etelärannikolla sataa talvisin enemmän kuin sisämaassa.

Vielä keväälläkin olosuhteet muistuttavat suuresti talven olosuhteita, mutta kesällä tilanne oleellisesti muuttuu. Kesällä haihtuminen on maalla lämpötilan nopean kohoamisen ansiosta suhteellisen runsasta ja huomattava osa sateista saa alkunsa maalta tapahtuneesta haihtumisesta. Tämän maalla tapahtuneen haihtumisen osuus suurenee siirryttäessä rannikolta sisämaahan päin. Kesällä myöskin ilmanpaine on suhteellisen tasaisesti jakaantunut, joten ei enää ole olemassa samassa määrin kuin talvella sitä tekijää, joka aiheuttaa voimakkaita ilmavirtauksia Atlantilta maahamme. Kesällä sateitten jakaantuminen onkin toisenlaista kuin talvella. Tällöin sisämaassa sataa enemmän kuin rannikolla.

Venäjän mantereen vaikutus ilmastoomme käy ilmi suomalaisesta sananlaskusta: "idästä kesä, idästä talvi, idästä ikuiset ilmat". Täsmällisemmin tämä olisi lausuttava: kaakosta kesä, koillisesta talvi. Mitä tulee nimenomaan kesän tuloon maahamme, niin Euroopan mannerosat lämpenevät pikemmin kuin kylmien merien rannikkoalueet. Tästä on seurauksena, että keväällä alkaa liikkua ns. kesäntekijämatalapaineita etelästä päin Fennoskandiaan. Nämä aikaansaavat jossain määrin sateita, mutta ennen kaikkea ne tuovat mantereella lämmennyttä ilmaa, joka usein saapuu meille kaakosta päin. Syksyllä taas Venäjän mantere kylmenee pikemmin kuin rannikkoalueet ja tuulen kääntyessä tällöin itään ja koilliseen maahamme saapuu kylmempää ilmaa. Alhaisimmat lämpötilat, ns. tulipalopakkaset, meillä havaitaankin itäisten korkeapaineiden yhteydessä.

Venäjän ilmasto on harvinaisen yhtenäistä, tuskin missään maapallolla samansuuruisilla alueilla on yhtä yhtenäistä ilmastoa. Erikoisesti talvella tästä aiheutuva sääsuhteiden tasaisuus on omiaan meillä ehkäisemään äkillisiä sään muutoksia. Toisaalta maamme on sääsuhteitten välialue, jossa ilmenee mantereellisten ja merellisten säätekijöiden merkityksen vaihtelua. Silloin kun lounaisten ja läntisten matalapaineiden vaikutuspiiri ulottuu maahamme, ilmasto täällä on merellinen, talvet ovat lauhvoja ja kesät viileitä. Silloin taas, kun itäisten säätekijöiden vaikutus ulottuu maahamme, ilmasto on mantereellinen, kesät ovat lämpimiä mutta talvet kylmiä. Näiden kesken on havaittavissa voimasuhteiden aaltoilua puoleen ja toiseen, mikä aiheuttaa esimerkiksi sadesuhteissa jaksollisuutta.

3.34 Haihdunnan muodot ja vaihtelut

Haihtumisessa vesi muuttuu kiinteästä tai nestemäisestä olomuodosta kaasuksi, vesihöyryksi. Haihtumiseen tarvitaan energiaa, jonka suuruus riippuu veden olomuodosta. Molekyylit voivat siirtyä myös kaasutilasta rajapinnan läpi nestemäiseen tai kiinteään olotilaan ja muuttumattomissa oloissa valitsee tasapainotilanne, jossa kaasutilaan siirtyy yhtä paljon molekyylejä kuin kaasutilasta poistuu. Tasapainotilassa ilma on vesihöyryn kyllästämä ja jatkuva haihtuminen on mahdollista ainoastaan, jos nestepinnan yläpuolella olevan ilman sisältämät vesimolekyylit jatkuvasti kulkeutuvat pois.

Valuma-alueelta tapahtuvan haihdunnan muodot voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- haihdunta veden pinnasta
- haihdunta maan pinnasta
- haihdunta kasvien ilmaraoista (transpiraatio)
- kasvien pinnoille pidäytyneen sadannan eli interseption haihdunta
- haihdunta lumen ja jään pinnasta.

Veden pinnasta tapahtuva haihdunta riippuu pääasiallisesti ilmastollisista tekijöistä kuten tulosäteilystä, lämpötilasta, ilman kosteudesta ja tuulen nopeudesta sekä lisäksi veden lämpövarastosta.

Muut haihdunnan muodot riippuvat lisäksi haihdunnalle alttiin veden määrästä sekä kasvillisuuden ja maanpinnan laadusta. Maa-alueen kokonais-haihdunnasta käytetään nimitystä evapotranspiraatio, joka sisältää maanpinnasta, kasvien ilmaraoista ja kasvien pinnoilta tapahtuvan haihdunnan.

Potentiaalinen evapotranspiraatio, jonka suomenkielisenä vastineena voidaan käyttää ilmastollista haihduttamiskykyä, tarkoittaa suurehkon maa-alueen kokonaisuutena olosuhteissa, jolloin haihtumiselle altista vettä on riittävästi ja maanpinta on kauttaaltaan vihreän matalan ruohokasvillisuuden peitossa. Tällöin haihdunta riippuu periaatteessa vain ilmastollisista tekijöistä.

Potentiaalinen evapotranspiraatio on havainnollinen ja sinänsä käyttökel-poinen käsite, koska se ilmaisee sellaisenaan suurehkon alueen maksimi-haihdunnan. Haihdunnan todellista määrää sanotaan aktuaaliseksi (effektiiviseksi) evapotranspiraatioksi.

Maa-alueelta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavat hyvin monet eri tekijät. Ne voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

1. Ilmakehän tilasta riippuva haihduttamiskyky
2. Haihtumiselle alttiin veden läsnäolo
3. Haihduttavan pinnan laatu

Ensimmäinen näistä liittyy juuri aikaisemmin mainittuun PET:n käsitteeseen. Tähän ns. ilmastolliseen haihduttamiskykyyn vaikuttavat mm. haihtumiseen käytettävissä olevan energian määrä ja ilmakehän kyky vastaanottaa haihtumisesta syntyvää vesihöyryä. Viimeksimainittu on riippuvainen vuorostaan mm. vedenpinnassa olevan kyllästyspaineen ja ilmassa vallitsevan

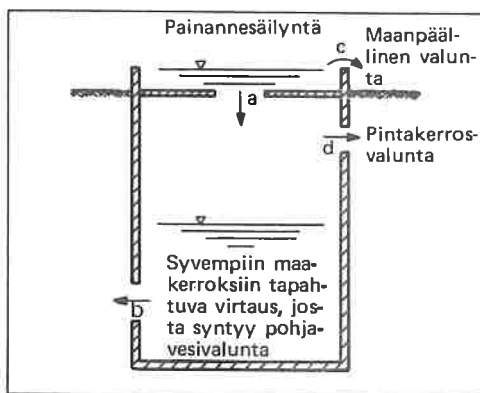
vesihöyryn paineen välisestä erosta eli ns. kyllästysvajauksesta. Se on riippuvainen sekä lämpötilasta että ilman absoluuttisesta kosteudesta. Kuvassa 3.8 esitettiin kaavamaisesti koko maapallon vuosihaihdunta. Selvästi on havaittavissa, kuinka trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla on haihdunta, etenkin PET, paljon suurempi kuin muualla. Sen määrä vähenee oleellisesti 30° leveyspiirien jälkeen samalla kun lämpötila laskee ja suhteellinen kosteus alkaa lisääntyä. Sitävastoin todellinen haihdunta näyttää pienenevän suhteellisesti eniten päiväntasaajan molemmiin puolin. Toisin sanoen siellä tulee voimakas haihdunta itseään rajoittavaksi tekijäksi haihtumiselle alttiin vesivaraston vähentymisen vuoksi.

Suomen olosuhteissa vähäinen kosteus rajoittaa maa-alueelta tapahtuvaa haihduntaa kesäisin pitkien poutajaksojen aikana ja pääosa haihdunnasta on kasvien ilmaraoista tapahtuvaa. Runsassateisena aikana huomattava osa haihdunnasta on kasveihin pidättyneen sadannan haihduntaa ja maanpinnasta tapahtuvaa haihduntaa. Keskimäärin kesäaikainen haihdunta kasvaa sadannan lisääntyessä.

Suomen oloissa todellinen haihdunta on kesäaikana keskimäärin 70 % potentiaalisesta evapotranspiraatiosta (PET). Keväisin se jää huomattavasti PET:ta pienemmäksi, koska energiaa kuluu maaperän sulattamiseen ja lämmittämiseen. Vastaavasti syksyllä haihdunta voi nousta PET:ta suuremmaksi.

3.35 Valunnan muodot ja vaihtelut

Valunta on vesirakentajan kannalta veden kiertokulun tärkein komponentti, johon vesirakenteiden mitoitukset perustuvat samoin kuin vesistöissä ja maaperässä käytettävissä olevan vesimäärän ennakointi. Valunnan eri muotoja on kaavamaisesti esitetty kuvassa 3.36.



Kuva 3.36. Valunnan muodot.

Maanpinnalle tulevasta sadannasta osa pidättyy puihin ja aluskasvillisuuteen (interseptio) ja haihtuu takaisin, osa imeytyy maahan ja osa kerättyy lam-mikoiksi (painannesäilyntä). Kun painanteet täyttyvät, alkaa vesi valua pitkin maanpintaa (maanpäällinen valunta). Maahan imeytynyt vesi lisää ensin pintakerroksen kosteutta, mutta jos sade jatkuu riittävän kauan, alkaa tapahtua valuntaa myös maan pintakerroksessa. Osa imeytyneestä vedestä muodostaa pohjavettä, joka aikanaan valuu vesiuomiin (pohjavesivalunta). Talvella pysyvän lumipeitteen aikana vesiuomiin tuleva valunta on pohja-vesivaluntaa. Lumen sulassa maanpäällisen valunnan osuus kokonaisvalun-nasta on huomattavasti suurempi kuin kesällä.

Vuoden aikana tuleva valunta voidaan jakaa neljään osaan:

- kevätvalunta eli lumensulamisvalunta,
- kesävalunta,
- syysvalunta,
- talvivalunta.

Kevätvalunta aiheutuu lumipeitteen sulamisesta ja lumen sulamisaikaisesta sadannasta. Se on keskimäärin 100...200 mm eli noin 80 % lumen vesiarvon maksimista ja 30...50 % vuosivalunnasta. Lumen sulamisajan sadanta, joka on keskimäärin 30...40 mm, saattaa lisätä poikkeuksellisinä vuosina kevät-valuntaa merkittävästi.

Kesävalunnalla tarkoitetaan lumen sulamisen päättymisen ja syyskuun alun välisen ajan valuntaa. Kesävalunta on tavallisesti pientä, koska haihdunta on sadantaa suurempi ja maa pystyy imemään suhteellisen suuria yksittäisiä sateita. Niinpä keskikesällä verrattain yleiset 20...30 mm:n ukkossateet eivät juuri valuntaa aiheuta. Etelä-Suomessa valuu toukokuun sadannasta keski-määrin 10 %, kesä- ja heinäkuun sadannasta 1...3 % sekä elokuun sadan-nasta 10 %. Yhteensä on kesävalunnan suuruus keskimäärin 10...40 mm.

Syysvalunnalla tarkoitetaan syyskuusta pysyvän lumipeitteen tuloon mennen-sä syntyvää valuntaa. Syysvalunnan suuruus vaihtelee sadesuhteista riippu-en. Etelä-Suomessa valuu syyskuun sadannasta keskimäärin 20 %, lokakuun sadannasta 30 % ja marraskuun sadannasta yli 50 %. Syysvalunta on Etelä-Suomessa keskimäärin 50...100 mm, mutta saattaa poikkeuksellisinä vuosina ylittää 100 mm tai jäädä alle 10 mm. Maan pohjois- ja keskiosissa syysvalunta jää pienemmäksi, koska pysyvä lumipeite tulee aikaisemmin.

Talvivalunnalla tarkoitetaan pysyvän lumipeitteen aikana syntyvää valuntaa. Se on pääosin pohjavesivaluntaa ja keskimäärin määrältään vähäistä. Ete-läisellä ja lounaisella rannikkoalueella sattuvat suojasääät saattavat aiheuttaa kuitenkin runsastakin valuntaa. Talvivalunnan suuruus on keskimäärin 50 mm.

Valunnan vaihtelut riippuvat ratkaisevasti siitä, kuinka runsaasti varastoitu-mismahdollisuuksia sadantana tulevalle vedelle valuma-alueella on ja kuinka

kauan varastot voivat vettä pidättää. Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti valuma-alueen ominaisuuksien vaikutusta valuntaan.

Kaikki ne alueen ominaisuudet, jotka lisäävät sademääriä, lisäävät myös vuosivaluntaa. Tässä suhteessa on erikoisesti huomattava korkeusaseman vaikutus. Samoin myös kaikki ne tekijät, jotka vähentävät haihtumista, ovat omiaan lisäämään vuosivaluntaa. Näin ollen vuosivaluntaa pienentäviä tekijöitä ovat laajat tuulille alttiit aukeat, missä vettä on haihtumiseen saata-
vissa, kuten järvet ja suot. Sensijaan esimerkiksi kuivatustyöt lisäävät vuosivaluntaa, koska niiden johdosta pohjavedenpinta alentuu. Mäkisyys estää tuulen haihduttavaa vaikutusta ja rinnemailla myös pohjavesi on syvempää kuin tasangoilla. Sellaiset maalajit, kuten moreenimaat, missä pohjavesi painuu syvemmälle, pienentävät haihtumista ja lisäävät vuosivaluntaa. Metsässä runsas puusto pienentää valuntaa.

Ylivaluman suuruus on riippuvainen alueelle tulevien vesimäärien ohella mm. seuraavista valuma-alueen ominaisuuksista: järvisyys, pinta-ala, muoto, kaltevuus- ja korkeussuhteet, maaperän läpäisevyys ja kasvipeite. Järvisyys pienentää ylivalumaa ratkaisevasti. Valuma-alueen pinta-alan suuretessa ylivaluma yleensä pienenee. Valuma-alueen muoto vaikuttaa yleensä siten, että pitkillä ja kapeilla alueilla ylivaluma on pienempi kuin esimerkiksi nelion tai ympyränmuotoisilla alueilla. Alueen ollessa leveän viuhkan muotoinen ylivaluma on suurimmillaan, koska silloin valuma-alueen eri puolilta sadannasta tai sulannasta peräisin olevat vedet kerääntyvät mahdollisimman samanaikaisesti valuma-alueen luusuaan.

Korkeuden ja kaltevuuden suureneminen merkitsee yleensä suurempaa ylivalumaa. Suomessa kaltevuussuhteiden vaikutusta ei yleensä lumen sulamisesta aiheutuissa ylivaluman arvoissa ole havaittavissa, koska mäkimaastossa lumen sulaminen eri suuntiin viettävillä rinteillä tapahtuu eriaikaisesti. Tämä pienentää tulvahuippua. Sen sijaan kesäsateiden aiheuttamissa tulvissa olosuhteet ovat toisenlaiset.

Valuma-alueen maalajit vaikuttavat imeytymiseen ja varastoitumiseen ja sitä kautta valuntasuhteisiin. Maaperän läpäisevyys vaikuttaa ylivalumaan samaan tapaan kuin järvisyys. Hiekka- ja soraharjuja sisältävillä alueilla ovat ylivalumat tästä syystä suhteellisen pieniä.

Metsät pienentävät yleensä ylivalumia. Tämä johtuu mm. siitä, että metsässä pohjavesi on alempana kuin aukeilla, joten maahan voi varastoitua runsaammin vettä. Kesällä interseptiolla on valumaa pienentävä vaikutus. Keväällä lumen sulaminen tapahtuu metsissä myöhemmin kuin pelloilla, ja siten tulvat aukeilta ovat valuneet pois, ennenkuin metsäalueen ylivaluma sattuu. Kun metsäalueilla on useimmiten aukean ja puukasvillisuuden vaihtelua, on tämäkin omiaan pienentämään koko valuma-alueen ylivalumaa.

Peltoalueilla ylivaluma-arvot ovat likimäärin 1,5—2,0 kertaa niin suuria kuin maaston suhteen muutoin samanlaisilla metsäalueilla.

Suot pienentävät yleensä ylivalumaa. Soiden ojituksen vaikutuksesta ylivalumaan on erilaisia käsityksiä eikä yleispätevää sääntöä toistaiseksi ole esitetty.

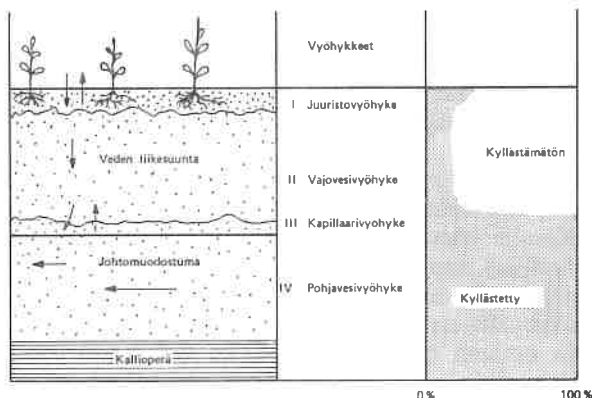
Yleensä sellaiset tekijät, jotka suurentavat ylivalumaa ja aiheuttavat vesien nopean ja samanaikaisen valumisen valuma-alueelta, pienentävät alivalumaa. Järvisyyden ja valuma-alueen alan kasvu lisää alivaluman suuruutta selvästi, samoin läpäisevien maalajien määrän kasvu.

3.36 Veden varastoituminen maaperään

3.361 Maavesien vyöhykkeet ja maavesien sitoutuminen

Maaperässä tapahtuvaa veden varastoitumista tarkasteltaessa jaetaan maaperä vertikaalisuunnassa neljään toiminnallisesti erilaiseen vyöhykkeeseen: juuristovyöhyke, vajovesivyöhyke, kapillaarivyöhyke ja pohjavesivyöhyke.

Pintakerroksen eli juuristovyöhykkeen vedenpitävyyskyvyn ylittävä osa sadannasta vajoaa alaspäin välivyöhykkeeseen eli vajovesivyöhykkeeseen, joka on pintakerroksen tavoin vedellä kyllästämätön. Tämän kerroksen alla on kapillaarivyöhyke, jossa maa on veden pintajännityksen vaikutuksesta vedellä lähes kyllästetty. Alimpana maaperän vesien vyöhykkeenä on vedellä täysin kyllästetty pohjavesivyöhyke (kuva 3.37). Näiden vyöhykkeiden rajat vaihtelevat ja ääritapauksessa pohjavesi yltää maanpintaan. Lisäksi erilaisia kerroksia sisältävässä maaperässä saattaa esiintyä useita vedellä kyllästettyjä tasoja. Esimerkiksi vettä johtavien kerrosten välissä saattaa olla läpäisemättömiä savilinssejä, joiden päälle muodostuu vedellä kyllästynyt kerros, jossa olevaa vettä kutsutaan orsivedeksi.



Kuva 3.37. Maaperän kosteusvyöhykkeet.

Kapillaarivesivyöhykkeen korkeus riippuu maalajin kapillaarisesta nousukorkeudesta, joka hienoilla maalajeilla voi olla teoreettisesti useita kymmeniä metrejä. Kapillaarisen veden vaikutus maaperän pintakerroksen kosteussuhteisiin riippuu toisaalta kapillaarisesta nousunopeudesta, joka hidastuu raekoon pienessä. Esimerkiksi hiekassa saavutetaan suurin nousukorkeus muutamassa vuorokaudessa, hietamaissa vasta muutaman viikon kuluttua ja hienojakoisimmissa maissa vielä paljon pitemmän ajan kuluttua. Tästä syystä hienojakoisissa maissa kosteussuhteille merkityksellinen nousukorkeus on likimäärin sama kuin hiekkamaissa.

Maaperän vedet luokitellaan tavallisesti sen mukaisesti, minkä voimien vaikutuksesta vesi on maahan sitoutunut. Voidaan puhua erikseen huokosvesistä ja hiukkasvesistä. Näistä jälkimmäiset ovat niin kiinteästi maahiukkasiin kuuluvia, että ne jätetään aina käytännössä tarkastelun ulkopuolelle. Huokosvedet jaetaan sitoutuneisiin ja vapaisiin vesiin. Vapaa vesi liikkuu painovoiman vaikutuksesta. Se voi olla maanpinnalla ilmivetenä, lyhytaikaisesti sateiden jälkeen pintakerroksesta alaspäin hitaasti liikkuvana vajovetenä tai pohjavesivyöhykkeessä kallio- tai maaperän huokostilan täyttävänä pohjavetenä. Lisäksi tilapäisesti pidähtyneet ontelovesi ja orsivesi ovat luonteeltaan vapaita vesiä.

Sidonmaisvesiä ovat maaperän vesihöyry, vaippavesi ja kapillaarivesi. Maahiukkasten ympärille on sähkömagneettisten voimien vaikutuksesta sitoutunut vaippavettä. Tämä adsorptiovoimien sitoma vesikerros voi olla muutamien kymmenien vesimolekyylien vahvuinen. Sidos heikkenee siirryttäessä kauemmaksi maahiukkasten pinnalta. Adsorptoitunut vaippavesi ei liiku gravitaatiovoiman vaikutuksesta, vaikka se saattaa liikkua paksummasta vaipasta ohuempaan. Juuristovyöhykkeen ja vajovesivyöhykkeen vedestä suurin osa on vaippavettä. Mitä hienorakeisempi maalaji on, sitä enemmän siinä on adsorptiovettä, myös pohjavesivyöhykkeessä. Esimerkiksi savimaassa lähes kaikki vesi on sitoutunutta, joten varsinaista pohjavettä on vain hyvin vähän. Näennäisesti kuivassakin maassa on jossain määrin vettä ns. hygroskooppisena kosteutena. Tämä vesi on erittäin tiukasti maahiukkasiin sitoutunutta ja on täysin kasvien saavuttamattomissa.

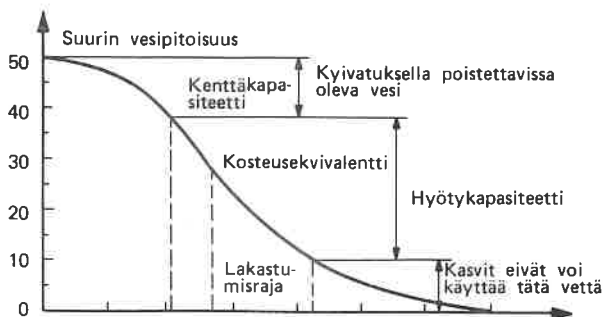
Kapillaarivyöhykkeessä olevasta vedestä vain osa on kapillaarivettä. Se on sitoutunut maarakenteeseen veden pintajännityksen vaikutuksesta. Lähellä pohjavedenpintaa suurin osa huokosista on kapillaariveden täyttämää, mutta ylemmissä vyöhykkeissä vain rakeiden liittymäkohtiin on muodostunut vesikalvoja. Nämä ns. huokoskulmavesi ja riippuva kapillaarivesi erotetaankin toisinaan omiksi alaryhmiksi.

Pohjavesi muodostuu maahan imeytyneestä sade- tai sulamisvedestä. Pohjavesi on jatkuvassa, hitaassa liikkeessä, jonka suunnan ja nopeuden määräävät pohjaveden pinnan kaltevuus ja maaperän vedenläpäisevyys. Pohjaveden korkeus vaihtelee sadannan ja haihdunnan vaihteluja seuraten. Pohjaveden määrän vaihteluja eri maalajeissa ei kovinkaan hyvin tunneta.

3.362 Maaperän vesien merkitys kasveille

Kasvien vedenottoon on ratkaiseva merkitys, millä voimilla vesi on sitoutunut maaperään.

Maaveden jännityksellä tarkoitetaan niitä voimia, jotka pidättävät veden maahiukkasten ympärille. Maaveden jännitys ilmaistaan paineen yksiköillä esim. ilmakehinä ja vesipatsaan korkeutena tai ns. pF-luvulla. pF-luku on senttimetreissä ilmaistun vesipatsaan korkeuden kymmenjärjestelmän logaritmi (kuva 3.38). Esimerkiksi pF-luku 4 tarkoittaa, että vesi on sitoutunut maahan voimalla, jonka voittaminen vaatii 10 ilmakehän painetta vastaavan imun. Se vastaa noin 10 metriä (10^4 cm) korkean vesipatsaan aiheuttamaa painetta.



Kuva 3.38. pF-luvun ja vesipitoisuuden vuorosuhte.

Maaveden jännityksen ja maan vesipitoisuuden väliset vuorosuhteet vaihtelevat eri maalajeissa. Savi- ja turvemaassa suurin osa vedestä on voimakkaasti sidottu, kun taas hiekkamaassa tiukasti sidottua vettä on vähän.

Kasvien kasvun kannalta tärkeitä tunnusomaisia kosteusarvoja ovat kenttäkapasiteetti ja lakastumisraja. Kenttäkapasiteetti vastaa maan vesipitoisuutta, sen jälkeen kun se ensin on ollut täysin vedellä kyllästettyä ja sitten ainoastaan vapaa vesi on kuivatuksen yhteydessä poistunut. Lakastumisraja tarkoittaa pienintä vesipitoisuutta, jossa kasvit pystyvät ottamaan juurillaan vettä maasta pysyäkseen lakastumatta. Kenttäkapasiteettia vastaava pF on peltoviljelyssä 1,5...2,0 ja lakastumisrajalla pF on 4,0...4,5.

Näiden kahden vesipitoisuuden erotusta kutsutaan hyötykapasiteetiksi, jota vastaava vesimäärä juuristokerroksen syvyys huomioonottaen on teoreettisesti kasvien käytettävissä. Kuitenkin maaveden jännityksen lisääntyessä kasvien vedenotto vaikeutuu jo ennen lakastumisrajaa. Erityisesti hienorakeisemmissa maalajeissa tapahtuu näin. Ylimalkaan voidaan sanoa parhaimman hyötykapasiteetin olevan hiesulla ja sen vähenevän maalajin raekoon

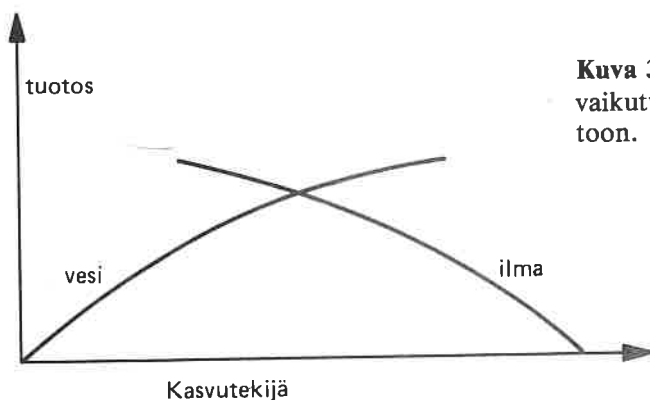
suurentuessa tai pienentyessä. Myös maan rakenteella eli struktuurilla on huomattava vaikutus hyötykapasiteettiin. Orgaanisen aineen lisääminen parantaa usein maan rakennetta ja siten hyötykapasiteettia.

Mitä suurempi on maan hyötykapasiteetti, sitä paremmin maa pystyy varastoimaan vettä ja sitä paremmin kasvit kestävät poutakausia ja haihtuminen on sitä vähemmän riippuvainen sateiden tasaisuudesta.

Veden tehtävänä maaperässä on kuljettaa kasveihin ravinteita ja pitää yllä kasvien nestetasapainoa. Juuristo ei voi kuitenkaan kehittyä seisovaan pohjaveteen, koska juuriston ja bakteeritoiminnan hapensaanti ja toiminnalle haitallisten eritteiden poistuminen estyvät. Kasvualustan runsas liikkuva vesi ei sensijaan ole haitallista. Maaperässä voi tullakin samalla alueella kyseen sekä kuivatus että kastelu. Ne eivät ole toisiaan poissulkevia toimenpiteitä, vaan niiden molempien avulla voidaan päästä optimaalisimpiin kosteussuhteisiin.

Kasvutekijöiden yleisen lain mukaan on tärkeätä pyrkiä optimiin huokosissa olevan vesi ja ilmamäärän suhteen. Kuvassa 3.39 on esitetty kasvutekijän suhteellisen vaikutuksen kulku, jossa käyrä käsittää nousevan ja laskevan osan. Tällainen kasvutekijä on mm. vesi. Tätä tekijää ei ole mahdollista mielivaltaisesti suurentaa ilman, ettei samalla vaikuttaisi toiseen kasvun kannalta tärkeään tekijään, maassa olevan ilman happeen. Viimeksi mainittu on vuorostaan riippuvainen maan ilmatilasta, jonka summa vesitilan kanssa on yleensä vakio ja yhtä suuri kuin maan huokoisuus. Käyrän nouseva osa kuvastaa maan lisääntyvän vesipitoisuuden vaikutusta, kun maan happipitoisuus on riittävä. Laskevassa osassa maassa oleva vesi syrjäyttää ilmaa siinä määrin, että maan happipitoisuuden jatkuva väheneminen on haitallista kasville. Lopuksi kasvusto voi kokonaan tukehtua hapen puutteeseen.

Maaperän vesitalouteen vaikuttavista toimenpiteistä kuivatus on vesipitoisuutta vähentävä ja happipitoisuutta lisäävä. Kastelun yleinen vaikutus on luonnollisesti päinvastainen.



Kuva 3.39. Kasvutekijöiden vaikutus biologiseen tuotantoon.

- Airaksinen, J.** 1975. Pohjaveden muodostuminen ja esiintyminen. Insko 125—75 (julkaisematon).
- Chorley, R.J.** 1971. Water, Earth and Man. Methuen & Co, London.
- Falkenmark, M.** 1974. Vatten. Några fakta kring vattenproblemen i världen. Esselte Herzogs, Nacka.
- Gürer, J.** 1975. Hydrometeorological and water balance studies in Finland. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Tieteellisiä julkaisuja 49. Otaniemi.
- Hooli, J.** 1971. Säätekijöiden vaikutuksesta viljelykasvien satoihin ja vesitalouteen. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Tieteellisiä julkaisuja 35. Otaniemi.
- Helimäki, I. & Lemmelä, R.** 1977. Mistä vettä kaikille? Uusi Suomi 23.3.77.
- Hydrologinen Vuosikirja 16.** 1962. Vesihallitus, Helsinki.
- Hydrologinen Vuosikirja 1969—1970.** 1972. Vesihallitus, Helsinki.
- Hydrologinen Vuosikirja 1972—73.** 1976. Vesihallitus, Helsinki.
- Kaitera, P.** 1946. Maatalouden vesirakennus, vihko 1. TKK, moniste no 40, Helsinki.
- Kaitera, P.** 1971. Estimation of the maximum and minimum discharge in Finland. Aqua Fennica 1971.
- Kaitera, P. & Teräsvirta, H.** 1972. Snow evaporation in South and North Finland, 1969/1970 and 1970/1971. Aqua Fennica 1972.
- Korhonen, V.V.** 1958. Lumi ja jääsuhteet. Oma Maa. WSOY, Helsinki.
- Lindh, G. & Falkenmark, M.** 1972. Hydrologi. En inledning till vattenresursläran. Studentlitteratur, Lund.
- Maa- ja pohjavesisanasto.** 1976. Vesihallitus, Helsinki.
- Mattsson, J.O.** 1970. Meteorologi. AB CWK Gleerup Bokförlag, Lund.
- Mustonen, S.** 1968. Hydrologia. Maa- ja vesirakennus, RIL, Vammala.
- Mustonen, S.** 1973. Hydrologia. Vesirakennus, RIL 92. Helsinki.

- Overman, M.** 1970. Vatten. En bok om jordens vattentillgångar. Raben & Sjögren, Verona.
- Simojoki, H.** 1966. Suomen vesitaloudesta. Hydrologisen toimiston tiedonantoja XXIV. Helsinki.
- Solantie, R.** 1975. Haihdunnasta Suomessa. Geofysiikan päivät Oulussa 26.—27.5.1975.
- Venho, S.N.** 1971. Meteorologia. WSOY, Porvoo.
- Wundt, W.** 1953. Gewässerkunde. Springer-Verlag, Berlin.
- Wäre, M.** 1961. Sateiden rankkuus touko—lokakuussa lähinnä Vihdissä vuosina 1939—1958 (1960) suoritettujen havaintojen perusteella. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 9.2, Helsinki.

4. VESIVAROJEN LAATU JA AINETASE

4.1 Vesivarojen laatu tutkimuskohteena

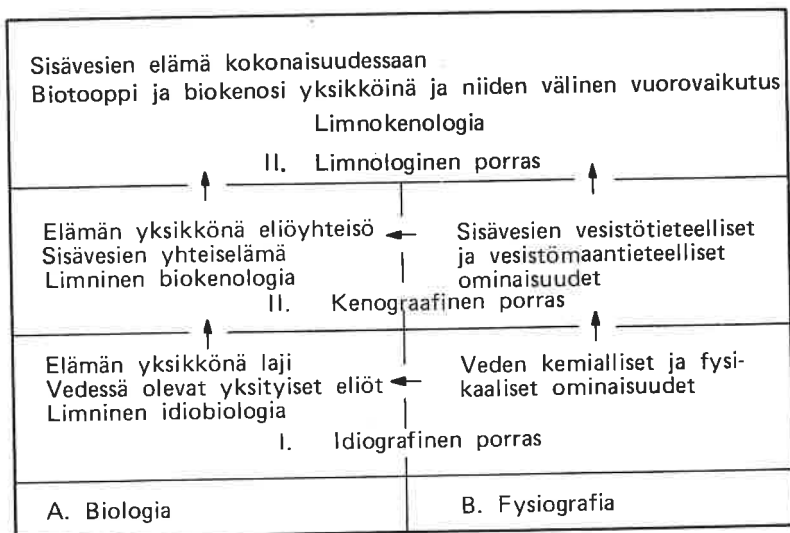
Veden laadulla tarkoitetaan niitä muuttuvia vesinesteen mitattavia ominaisuuksia, joilla vesinestettä kuvaillaan erilaisia tarkoituksia silmälläpitäen. Laatumäärittelyillä selvitetään lähinnä veteen liuenneiden tai homogeenisesti sekoittuneiden aineiden pitoisuuksia ja vedessä tapahtuvia biotoimintoja. Toisin sanoen laatu on käytännössä eräitä mittalukuja. Nämä mittaukset jaetaan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin määrittelyksiin.

Vesivarojen laatu ja tila ovat alaltaan laajoja käsitteitä, sisältäen veden laadun ohella myös muut vesivaroja kuvaavat omaisuudet, kuten esimerkiksi virtaamavaihtelut, kulkukelpoisuuden, kalaston ja makrokasvit.

Vesivarojen laatututkimus on osa hydrologiaa. Erityisesti silloin, kun tutkimuskohteena ovat sisävesistöt, nimitetään tätä hydrologian osa-aluetta limnologiksi. Limnologiaan samoin kuin hydrologiaan sisältyy sekä biologinen että fysiografinen osa. Koska teoreettisella puolella lähtökohdat ovat osaksi geofysiikassa ja osaksi biotieteissä, puhutaan usein hydrologiasta vain silloin, kun painotus on fysiografisella puolella, ja limnologiasta tästä erillisenä silloin, kun painotus on vesistön eliöstön ja elinympäristön vaikutuksen kokonaistarkastelussa. Käsitteiden määrittelyä havainnollistavat kuvat 4.1 ja 4.2. Sovelletulla puolella kuuluvat eräiltä osin veden laatukysymykset ja vesiekosysteemin toimintatarkastelut tavanomaisen käytännön mukaan yleiskäsitteen, hydrologia, alle.

Tutkimus			Tutkimuskohteet					
			Vesi fysikaalisena ilmiönä (H ₂ O-kiilat)	Vesistöt laajemmassa mielessä				
				Vesistöt ahtaammassa mielessä				
				Lumi- ja jäätiköt	Meri (Oseonologia, ta-lantologia)	Sisävedet (limnologia)		
						Piljo-vedet	Juok-sevat vedet	Selso-vat vedet
Fysiografia	Vesistö-tiede (hydro-grafia)	Vesikemia (hydrokemia)	+	+	+	+	+	+
		Vesifysiikka (hydrofy-siikka)	+	+	+	+	+	+
	Vesistö-maantie-de (hydro-geografia)	Ilmatiede (Meteorolo-gia) osittain		+	+	+	+	+
		Maastonmit-taus (topo-grafia) osit-tain		+	+	+	+	+
		Geologia osittain		+	+	+	+	+
Biologia		Vesibiologia (hydrobio-logia)		+	+	+	+	+

Kuva 4.1. Hydrologian jaottelu.



Kuva 4.2. Limnologian rakenne.

Veden laatuun kohdistuvassa tutkimustoiminnassa voidaan erottaa erilaisia suuntautumisita, kuten hydrologiassa yleensäkin (vrt. kohta 3.1). Teknisesti sovelletussa laatututkimuksessa ovat keskeisinä kysymyksinä vesivarojen laadullinen käyttökelpoisuus ja kuinka laatua voidaan muuttaa. Lähtökoh-
tana tällöinkin on niiden tekijöiden kartoittaminen, jotka määräävät veden laadun.

Veden laatuun vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

- vesinesteen pysyvät ominaisuudet (ainevakiot),
- vakiona pysyvät tai säännönmukaisesti vaihtelevat ympäristötekijät ja
- tapauskohtaisesti muuttuvat ympäristötekijät.

Näihin ympäristötekijöihin kuuluvat erityisesti ilmastolliset tekijät ja vesis-
töjen ainekuormitus.

Vesimolekyyli — H_2O — on kahden vety- ja yhden happiatomin kovalent-
tinen sidos. Molekyylin rakenteesta johtuen vedellä on monia epätavallisia
ominaisuuksia.

Vesi on ainoa aine, jota esiintyy runsaasti luonnossa kolmessa olomuodossa:
kiinteänä, nesteinä ja kaasuna. Veden tiheys on suurimmillaan $+4^{\circ}C$:ssa.
Jäätymässä sen tiheys alenee arvosta $1,000 \text{ kg/dm}^3$ arvoon $0,917 \text{ kg/dm}^3$.
Yleensä lämpötilan kohotessa aineen tiheys jatkuvasti alenee ja kiinteän
aineen tiheys taas on suurempi kuin nestemäisen aineen. Vedellä on poik-
keuksellisen korkea kiehumis- ja sulamispiste verrattuna vastaavanlaisiin
vety-yhdisteisiin. Vedellä on huomattavan suuri ominaislämpö ($1,0 \text{ cal/g}$),

sulamislämpö (79,7 cal/g) ja höyrystymislämpö (539,6 cal/g). Näillä seikoilla on luonnon lämpötaloudessa erityisen suuri merkitys.

Edelleen vesi on hyvä liuotin. Noin puolet kaikista tunnetuista aineista on tavattu liuenneina luonnonvesiin. Vesi ei ole aktiivinen liuotin siinä mielessä, että se itse muuttuisi niiden aineiden vaikutuksesta, joita se liuottaa. Luonnon tislauksprosessissa vesi puhdistuu, vaikkakaan täysin puhdasta vettä ei luonnossa tavata.

Vedellä on molekyylirakenteesta johtuva epätavallisen suuri dipolimomentti. Tämä selittää veden kyvyn liuottaa erilaisia aineita ja etenkin aineita, joiden molekyylit yleisesti tai pääosaltaan ovat ionisidoksia. Vesimolekyyli on huomattavan pysyväinen ja vain hyvin vähäinen osa hajoaa ioneiksi eli dissosioituu.

Veden keskeisiä fysikaalisia ominaisuuksia on esitetty taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1 Veden fysikaalisia ominaisuuksia eri lämpötiloissa ja normaali-ilmanpaineessa

Oto- muoto	Lämpö- tila °C	Tiheys kg/m ³	Omi- nais- paine N/m ²	Vesihöyryn- paine		Viskositeetti		Pinta- jännitys (vesi- ilma) τ N/M	Kyllästet- tyyn ve- teen liu- ennut happi- määrä mg/l
				absol. kN/m ²	mm Hg- pat- sasta	Dynaa- minen η Ns/m ²	Kine- maattinen ν m ² /s		
Jää	—20 —10 0	920,2 918,6 916,7	9024,1 9008,4 8989,8						
Vesi	0 4 10 20 30 40 50 60 80 100	999,8 1000,0 999,6 998,2 995,6 992,2 988,0 988,2 971,8 958,3	9804,7 9806,7 9802,7 9789,0 9763,5 9730,2 9689,0 9641,9 9530,1 9397,7	0,61 0,81 1,23 2,33 4,25 7,38 12,34 19,92 47,36 101,32	4,6 6,1 9,2 17,5 31,8 55,3 93 149 355 760	1,78 · 10 ⁻³ 1,50 · 10 ⁻³ 1,30 · 10 ⁻³ 1,00 · 10 ⁻³ 8,02 · 10 ⁻⁴ 6,52 · 10 ⁻⁴ 5,44 · 10 ⁻⁴ 4,70 · 10 ⁻⁴ 3,56 · 10 ⁻⁴ 2,82 · 10 ⁻⁴	1,78 · 10 ⁻⁶ 1,50 · 10 ⁻⁶ 1,30 · 10 ⁻⁶ 1,00 · 10 ⁻⁶ 8,06 · 10 ⁻⁷ 6,57 · 10 ⁻⁷ 5,50 · 10 ⁻⁷ 4,78 · 10 ⁻⁷ 3,66 · 10 ⁻⁷ 2,94 · 10 ⁻⁷	0,0754 0,0749 0,0740 0,0726 0,0711 0,0695 0,0680 0,0662 0,0626 0,0584	14,1 12,7 10,9 8,8 7,3 6,3 5,5 4,6 2,6 —
Vesi- höyry	100 200 300	0,598 0,467 0,384	5,864 4,580 3,766			1,27 · 10 ⁻⁵ 1,67 · 10 ⁻⁵ 2,03 · 10 ⁻⁵	2,12 · 10 ⁻⁵ 3,53 · 10 ⁻⁵ 5,29 · 10 ⁻⁵		

Aineiden liukeneminen veteen riippuu mm. lämpötilasta, paineesta, muiden liuenneiden aineiden määrästä ja ko. aineen ominaisuuksista. Liukenemisessä ja vedessä tapahtuvien reaktioiden tasapainoehtojen teoreettisessa tarkastelussa voidaan käyttää massavaikutuslakia ja termodynaamisia tasapainovakioita. Luonnossa liukenemiskelpoisten aineiden määrät, biologiset prosessit ja muut tekijät aiheuttavat, että pitoisuudet vaihtelevat koko ajan. Teoreettiset perusteet auttavat syy-yhteyksien ymmärtämisessä, mutta todelliset pitoisuudet on määritettävä analyysien avulla.

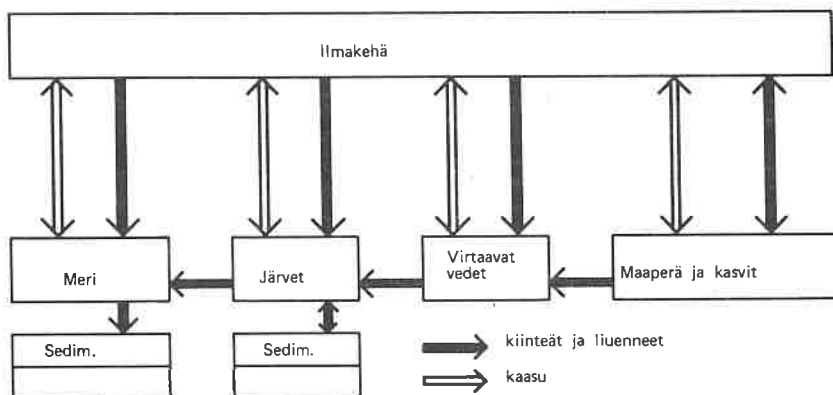
4.2 Vesistöjen ainekuormitus

4.21 Aineiden kiertosysteemi

Vesivarojen laatua määrävien aineiden yleisen kiertokulun tarkastelun lähtökohtana voidaan pitää itse veden kiertokulkua. Sadevesi liuottaa maaperästä aineita, valunnan mukana nämä sekä kolloidisina että suspensioina olevat aineet kulkeutuvat edelleen vesiuomiin, järvioltaisiin ja mereen. Haihtumisprosessissa vesi puhdistuu ja prosessi voi jatkua. Tämän ohella tapahtuu hienojakoisten aineiden merkittävää ilmassa kulkeutumista. Jo veden haihtumisen yhteydessä joutuu myös muita aineita ilmakehään, mutta pääasiallisesti ilmakehän epäpuhtaudet ovat joko tuulen maaperästä irrottamia hiukkasia tai elinkeino- ja yhdyskuntatoiminnoissa suoraan ilmaan laskettuja jätteaineita.

Globaalisesti aineiden keskimääräistä kiertoa tarkastellen ei voidakaan puhua jatkuvasta kiertosysteemistä kuten vedellä. Kierto on epäjatkuvaa, jossa maa-alueilta kulkeutuvat aineet jäävät järvioltaisiin ja uomiin. Tällaisen maaperää koskevan eroosion suuruusluokka on esitetty edellä kuvassa 2.6. Esitetty yleistarkastelu antaisi aiheutta olettaa, että maa-alueet köyhtyisivät erityisesti huuhtoutumiskelpoisten aineiden osalta ja vastaavasti merissä ja myös järvioltaissa ainespitoisuudet nousisivat huomattavan korkeiksi. Tasapainoehtoihin vaikuttavat kuitenkin lisäksi luonnossa rapautuminen, biologiset prosessit ja sedimentoituminen siten, että kysymys on huomattavasti monitahoisempi.

Aineiden kiertokulussa muodostavat oman erityisen ryhmänsä ne ilmakehän kaasut, jotka liukenevat veteen ja ovat myös mukana biologisessa toiminnassa. Typen, hapen ja hiilidioksidin kiertokululla on keskeinen merkitys veden laatuun. Aineiden kiertokulun pääpiirteitä esittää kuva 4.3.



Kuva 4.3. Aineiden kiertokulun pääpiirteet.

4.22 Kuormituslähteet

Vesistöön kulkeutuvia ainemääriä tutkittaessa ainelähteet jaetaan tavallisesti hajalähteisiin ja pistemäisiin lähteisiin. Edellisiin luetaan suoraan ilmasta tapahtuva laskeuma ja luonnollisten valumavesien mukana tulevat aineet. Jälkimmäisiin luetaan vesistöön viemäröinnin kautta johdettavat jätevedet. Aineiden kulkeutumista vesistöihin aiheuttavat toiminnot jaotellaan luonnontoinnin ja ihmisen toiminnaksi. Tietyn alueen taustakuormituksella tarkoitetaan sitä ainemäärää, mikä tältä alueelta kulkeutuisi vesistöön ilman ihmisen sillä alueella suorittamaa jatkuvaa kuormittavaa toimintaa. Taustakuormitukseen vaikuttavat eniten ilmasto, erityisesti sadanta ja sadannan määrällinen ja ajallinen jakautuminen, maalaji, viettosuhteet ja kasvillisuus.

Ihmisen vaikutus voidaan jakaa pääosiin: teollisuus, asutus, maatalous ja metsätalous. Käytännön syistä asutuskeskukset yleensä käsitellään erillään haja-asutuksesta ja yhdyskuntien kuormitukseen tulee tällöin myös osa teollisuuden kuormituksesta. Eri kuormituslähteiden osuus vesistöjemme ainekuormittajina käy ilmi taulukosta 4.2.

Taulukko 4.2 Kokonaiskuormituksen jakautuminen kuormittajan mukaan v. 1972 Suomessa

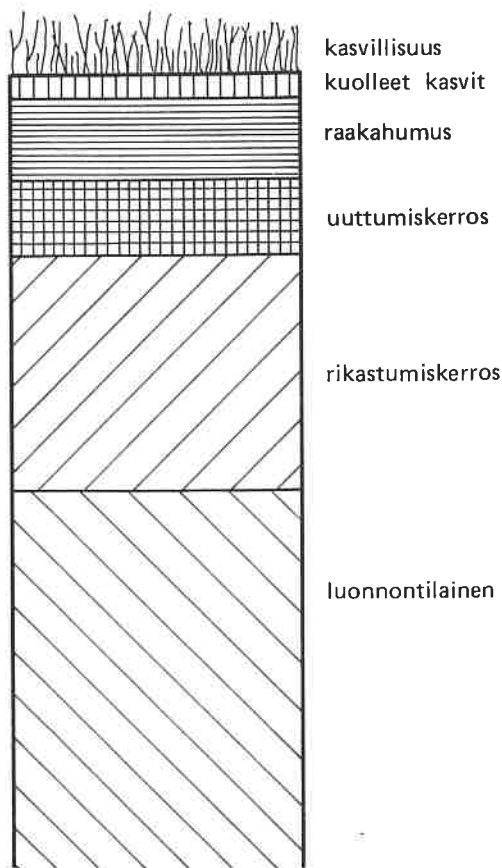
Kuormituslähde	BHK ₇ t/a	%	Fosfori t/a	%	Typpi t/a	%
yhdyskunnat	46 000	6	2 100	22	10 000	7
metsäteollisuus	485 000	65	780	8	5 000	4
muu teollisuus	37 000	5	700	8	4 000	3
hajakuormitus	180 000	24	5 800	62	120 000	86
kok.kuormitus	748 000	100	9 300	100	139 000	100
luonnon osuus	epämääräinen		3 500	38	80 000	58

4.23 Huuhtoutuminen maaperästä

Sade ja sulamisvesi irroittavat maan pintakerroksista sedimenttiä, joka kulkeutuu pintavalunnan mukana puroihin ja edelleen järviin ja mereen. Sateena tulleen veden kemialliset ominaisuudetkin muuttuvat maaperässä; vesistöihin valuvat vedet toisaalta suodattuvat, toisaalta liuottavat lisäaineita maaperässä. Valumavesien mukana kulkeutuviin ainemääriin vaikuttavat erityisesti vesimäärät, valuma-alueen koko, maaperän mineraalikoostumus ja humuksen määrä, maanpinnan kaltevuus, maaperän ja vesiuomien hydrauliset ominaisuudet, maankäyttö sekä ilmasto.

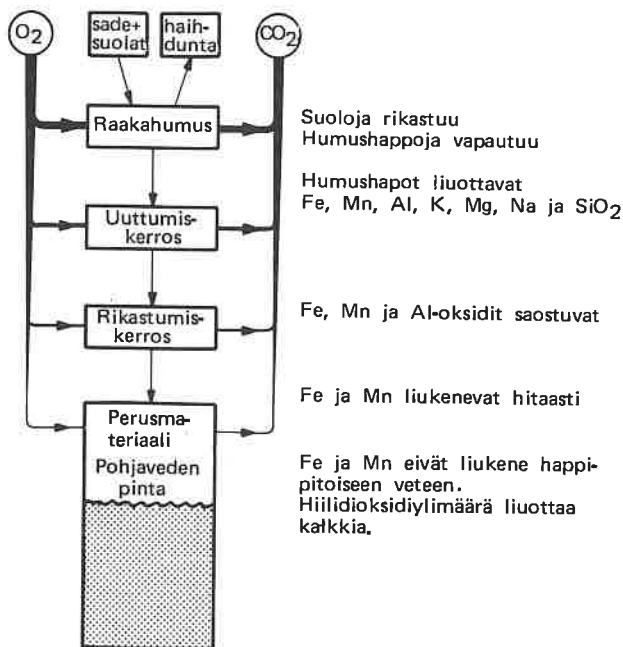
Maaperässä tapahtuva aineiden rikastuminen ja liukeneminen sekä kemialliset reaktiot ovat oleellinen osatapahtuma aineiden kierrossa luonnossa ja

aineiden kulkeutumisessa vesistöön. Suomessa maan pintakerrokseen muodostuu humidisille ilmastoalueille tyypillinen podsolimaannos, kuva 4.4.

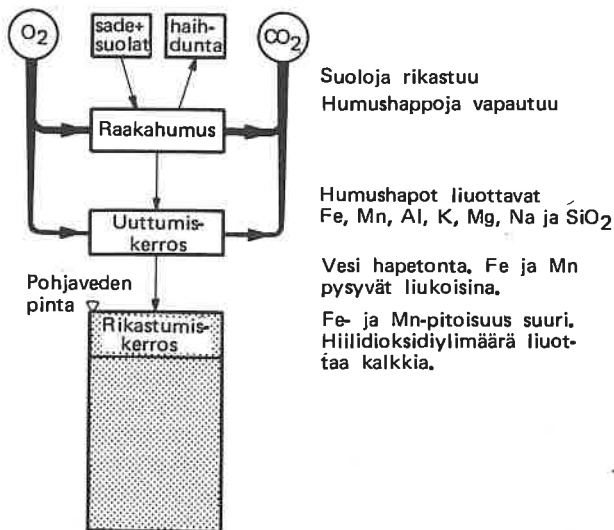


Kuva 4.4. Podsolimaannos.

Podsolimaannoksen humuskerrokseen pidättyy suuri osa sateen mukana tulleista suoloista. Orgaanisen aineksen hajotessa muodostuneet humushapot edistävät uuttumiskerroksessa mm. raudan, mangaanin, alumiinin, kaliumin, magnesiumin, natriumin ja piihappojen liukenemistä. Uuttumiskerroksen alapuolella rikastumiskerroksessa tapahtuu rauta-, mangaani- ja alumiinimoksidien sekä fosfaattien saostumista. Rikastumiskerrokseen voi iskos-tua kova, lähes vettäläpäisemätön antura. Rikastumiskerroksen alapuolella maaperä on luonnontilainen eikä siinä tapahdu merkittävää mineraalien rapautumista. Kuvissa 4.5 ja 4.6 on esitetty podsolimaannoksessa tapahtuvia pohjaveden laatuun vaikuttavia prosesseja.



Kuva 4.5. Pohjaveden laadun muodostuminen, kun pohjavesi on rikastumiskerroksen alapuolella.

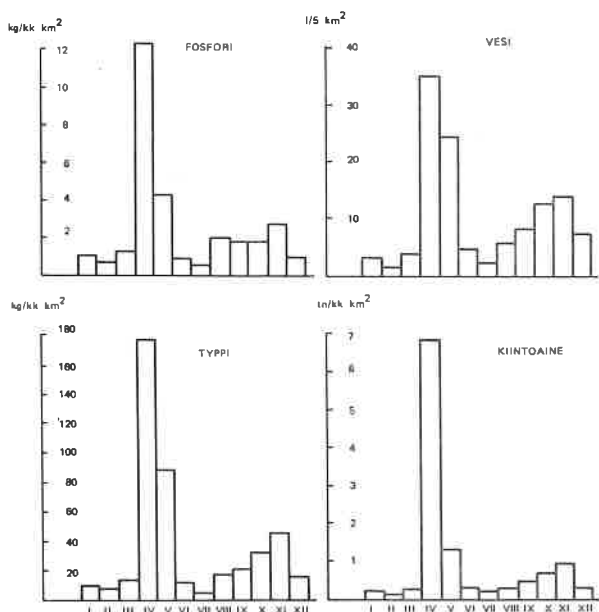


Kuva 4.6. Pohjaveden laadun muodostuminen, kun pohjavesi on rikastumiskerroksen yläpuolella.

Luonnonvesien fosfori on peräisin viime kädessä kokonaisuudessaan fosforipitoisista kivilajeista. Rapautumisen aiheuttama välitön taustakuormitus on Suomen ilmasto-oloissa suhteellisen vähäistä. Ruotsissa lasketaan rapautumisesta vesistöön johtuvien fosforisuolojen vuotuiseksi määräksi 3...9 kg/km²a. Peltoalueilta vesistöön joutuvan fosforin määrä riippuu luontaisen taustakuorman ohella mm. lannoituksesta ja muokkauksen aiheuttamasta eroosion lisääntymisestä. Peltoeroosion aiheuttaman vuotuisen fosforihuuhtoutuman suuruudeksi on arvioitu Ruotsissa 10...20 kg/km²a. Suomessa on todettu, että noin 40 % fosforivalunnasta tapahtuu kevättulvan yhteydessä ja että n. 75 % on sitoutunut suspendoituneeseen ainekseen. Pieniin maa-hiukkasiin sitoutunut fosfori on vesistön ravinnetasapainon kannalta merkityksetöntä, jos se tässä muodossa sedimentoituu eikä jää perustuotannon käyttöön.

Typeä on runsaasti ilmakehässä luontaisena ilmakehän kaasuna sekä epäpuhtauksina. Ilmalaskeumana ja sateen mukana ravinnetyypeä tulee merkittäviä määriä maaperään ja suoraan vesistöihin. Typpisuolat eivät sanottavasti pysty sitoutumaan humukseen tai kivennäismaalajeihin, vaan liikkuvat maaveden virtauksen mukana liuenneina.

Heikosta pidättymisestä johtuen lannoitus vaikuttaa selvästi typen huuhtoutuman arvoihin. Pääosa tästä tyypestä tulee epäorgaanisessa muodossa vesistöön. Samoin kuin fosforilla, myös typen huuhtoutumisella on selvä yhteys hydrologisiin tapahtumiin, joskin eroosion suhteellinen merkitys on pienempi. Suomessa on arvioitu vuotuisesta typpivalumasta tapahtuvan koko maata koskien n. 35 % kevättulvan yhteydessä. Kuvassa 4.7 on esitetty



Kuva 4.7. Kuukausiainevalumat eräissä Etelä-Pohjanmaan joissa.

tutkimustulos valumasta ja ainevalumasta kuukausittain Etelä-Pohjanmaalla.

Sateen rankkuus ja alasputoavan sadepisaran liike-energia ovat määrääviä tekijöitä vesieroosiassa. Liike-energian avulla pisara irrottaa maahiukkasen maaperästä ja lähettää sen kulkeutumaan kohti vesistöjä. Eroosion suuruus vaihtelee hyvin paljon maapallon eri osissa. Alueilla, joissa esiintyy rankkoja sateita ja maaperä on syöpyvää, voi eroosion suuruus olla useita tuhansia tonneja vuodessa neliökilometriä kohden. Suomessa ovat saderankkuudet niin pieniä, että huuhtoutuminen on vähäistä; keskiarvo jää alle 10 t/km²v.

4.3 Aineiden ja energian kierto vesistössä

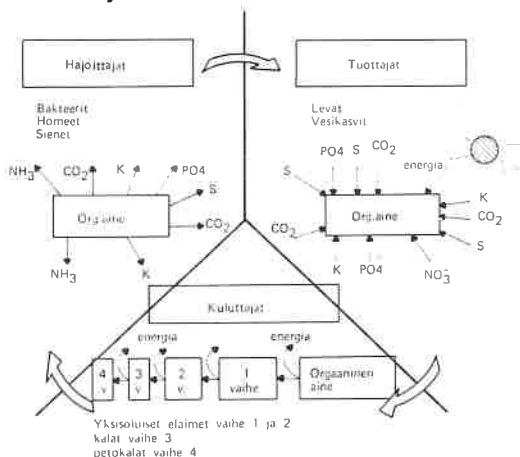
4.31 Biologinen toimintaperiaate

Vedessä tapahtuvassa aineiden kiertokulussa on biologinen toiminta keskeisessä asemassa. Biologinen toiminta muodostaa ja hajottaa orgaanisia yhdisteitä. Toimintaa säätelevät kasvun minimitekijät sekä yksilöiden ja lajien välinen kilpailu ja erityisvaatimukset kasvuresurssien suhteen.

Toiminta voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen:

1. Perustuotanto (levien säteilyenergian sidonta)
2. Kulutus (eläinplankton, pohjaeläimet, kalat)
3. Hajotus (bakteerit ja sienet)

Tuottajat muodostavat auringon energian avulla epäorgaanisista aineista orgaanisia yhdisteitä. Nämä orgaaniset yhdisteet ovat primaarisena ravintona alemmille kuluttajaorganismeille, jotka puolestaan ovat ravintoketjussa seuraavien korkeampien kuluttajien ravintona. Näistä biologisista toimintoista muodostuu detritusta, mikä koostuu kuolleesta solumateriaalista ja eritteistä. Hajottavat vapauttavat detritukseen sisältyneet aineet tuottajien käyttöön mineralisaation avulla. Tällöin ravintoketju sulkeutuu. Ravinteiden kierto vesiekosysteemeissä on esitetty kuvassa 4.8.

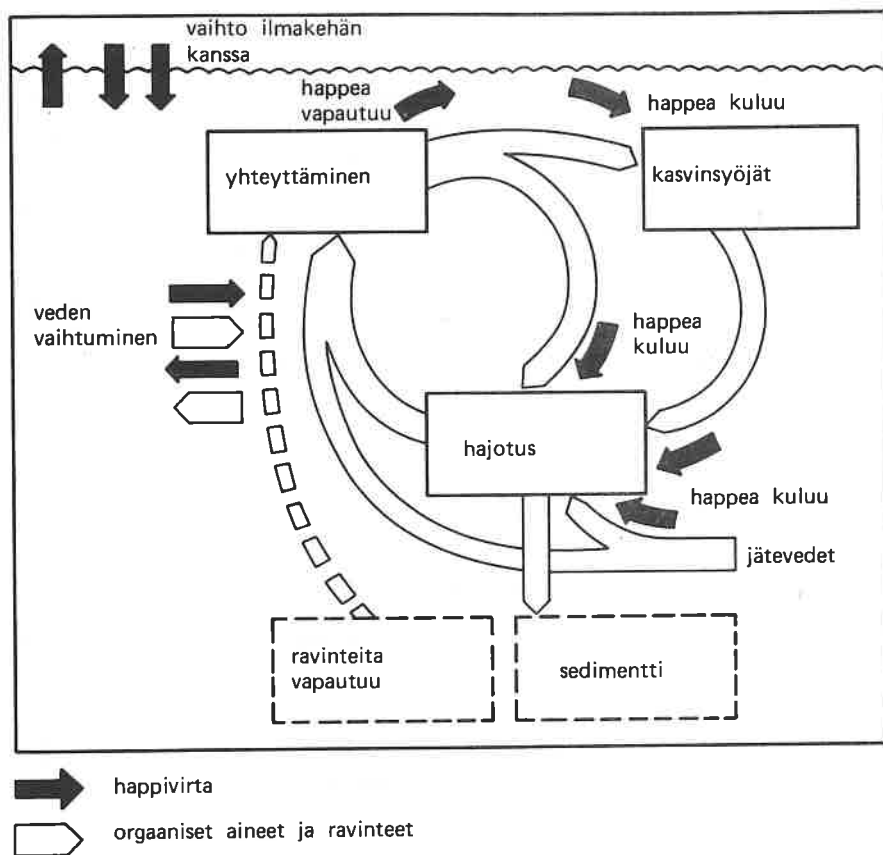


Kuva 4.8. Ekosysteemi.

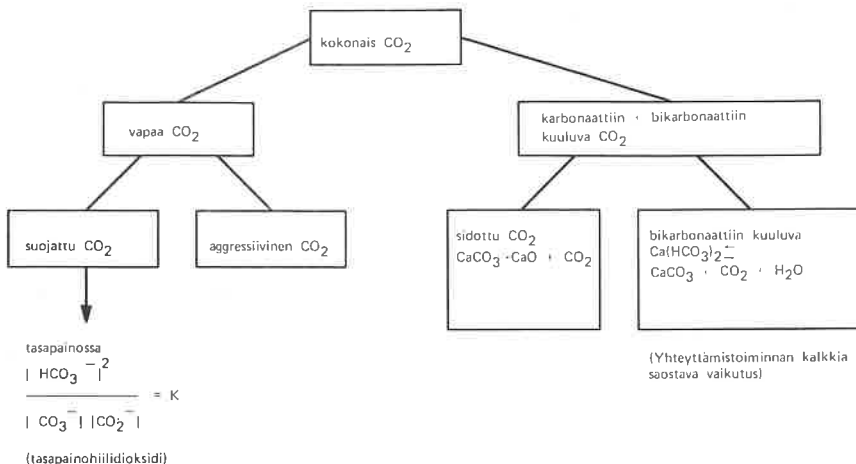
4.32 Pääravinteiden kierto

Vesistön veden laadulle tärkeimpiä ovat hapen, hiilidioksidin, fosforin ja typen kiertokulku, koska ne ovat kasvuedellytyksiä käytännössä pääasiallisesti määrääviä aineita. Kasvun minimitekijänä voi olla myös esimerkiksi lämpötila, säteilyenergia tai jokin hivenaine.

Kuvassa 4.9 on esitetty hapen kiertokulun pääpiirteet. Hapen kiertokulku on läheisessä yhteydessä hiilidioksidin kiertoon, koska kyseessä on vuorottainen sitoutuminen orgaaniseen aineeseen ja siitä vapautuminen. Hiilidioksidin kiertoon liittyy kiinteästi veden pH:n vaihtelut. Veden happamuus ja happipitoisuus ovat samalla itse tärkeitä biologista toimintaa ja kemiallisia reaktioita sääteleviä tekijöitä. Hiilidioksidin esiintymismuodot on esitetty kuvassa 4.10.

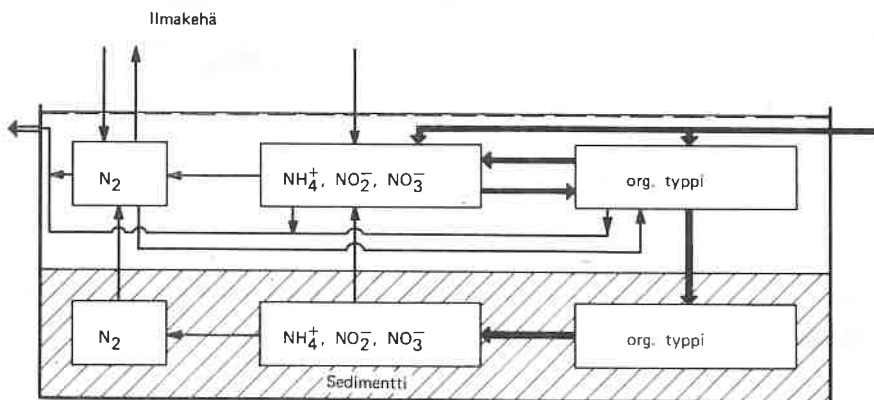


Kuva 4.9. Hapen kierto vesistössä.



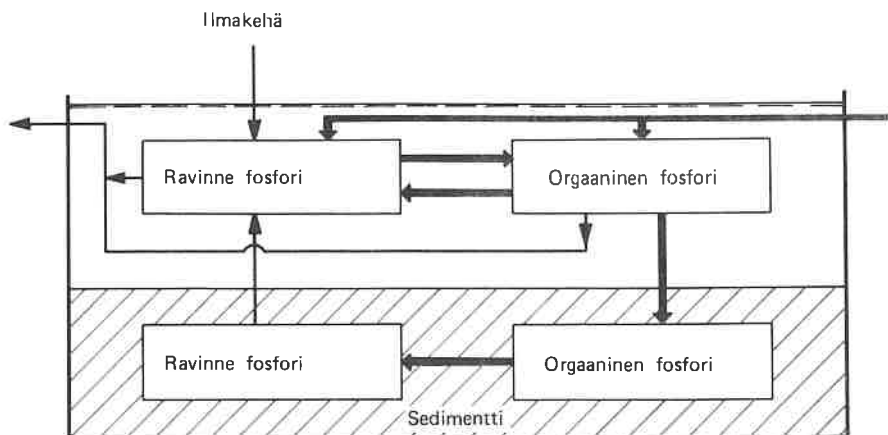
Kuva 4.10. Hiilidioksidin ilmenemismuodot.

Vesistöissä tapahtuvan typen kiertokulun pääpiirteet on esitetty kuvassa 4.11. Kiertokulun kannalta oleellisia olomuotoeroja ovat: liuennut kaasumainen tyyppi N_2 , orgaanisissa yhdisteissä eri muodoissa oleva tyyppi ja epäorgaanisina ravinnesuoloina oleva tyyppi. Ravinnesuolojen muuttuminen orgaaniseen muotoon ja vapautuminen tyyppikaasuksi on riippuvainen biotoiminnoista ja hapen määrästä. Typen kierron osalta voidaan todeta, että pääosa tuestä yleensä tulee valuma-alueelta orgaanisessa muodossa ja ravinnesuoloina. Vaihtoa ilmakehän kaasumaisen typen kanssa ei määrällisesti tunneta. Yleensä kaasumaisen typen sidonta on yhteydessä kasvien ja bakteerien yhteistoimintaan, joskin eräät sinilevät pystyvät sitomaan tyyppiä myös suoraan.



Kuva 4.11. Typen kierto vesistössä.

Tavallisin minimitekijä aineitten osalta on fosfori. Jonkin verran fosforia tulee myös ilmakehästä, mutta pääosa tulee valuma-alueelta huuhtoutumalla ja jätevesissä. Kuvassa 4.12 on esitetty fosforin kierto. Pääravinnteiden lisäksi kiertokulussa on mukana useita muita aineita. Orgaanisen aineen tyypillinen koostumus on esitetty taulukossa 4.3.



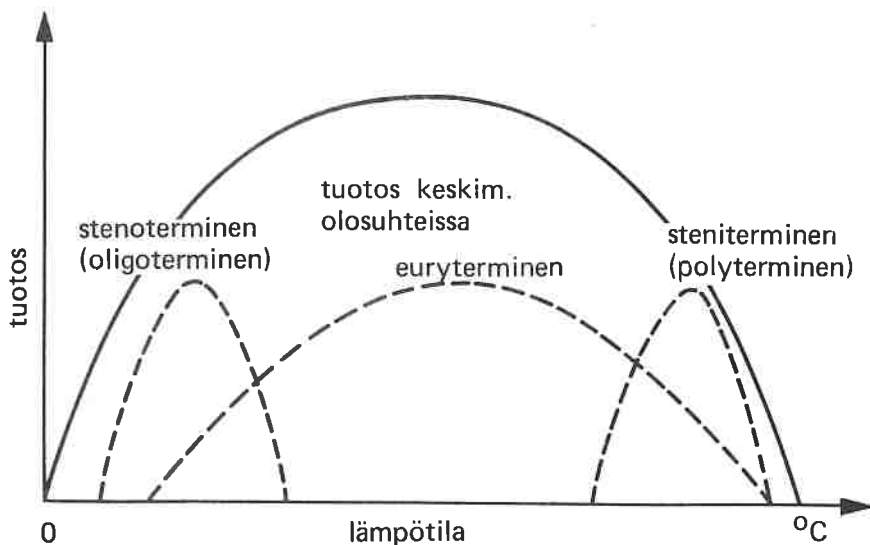
Kuva 4.12. Fosforin kierto vesistössä.

Taulukko 4.3. Levien alkuainepitoisuus prosentteina kuiva-aineksestä.

Alkuaine	%
C	49,51—70,17
O	17,40—33,20
H	6,57—10,20
N	1,39—10,98
P	1,35— 2,76
S	0,42— 0,77
Mg	0,26— 1,51
K	0,04— 1,44
Fe	0,02— 3,45
Mn	0,02— 2,60
Ka	0,06— 0,40
St	0,0004— 0,051
Cu	0,0008— 0,034
Zn	0,0004— 0,009
Si	1,00—50,00

4.33 Järven energiatase

Auringon säteilyenergia varastoituu järveen pääasiassa kahdella tapaa: lämpöenergiaksi ja biomassaksi. Veden lämpö on tärkeä biologista toimintaa säätelevä ympäristötekijä. Biologisen toiminnan intensiteetin riippuvuutta lämpötilasta esittää kaavamaisesti kuva 4.13.



Kuva 4.13. Lämpötilan vaikutus biologiseen tuotantoon.

Auringon säteilyenergiaa pystyvät suoraan sitomaan lähinnä vain viherkasvit rakentaessaan orgaanista ainetta. Tämän yhteyttämistapahtuman, fotosynteesin, periaate on esitetty kaavassa (4.1).



Ainemäärät on ilmoitettu gramma-atomeina.

Yhtä vapautunutta happigrammaa kohti muodostuu fotosynteesissä 0,93 g hiilihydraattia, mikä on kasvisoluissa soluaineiden perusmateriaali. Myös eräät bakteerit pystyvät sitomaan energiaa likimain samalla tavoin kuin kasvit, mutta nämä energiamäärät ovat vähäisiä.

Fotosynteesissä muodostuva perustuotanto on koko muun elollisen toiminnan energian lähde. Veden saamasta säteilyenergiasta Suomen olosuhteissa vain 0,05...0,1 % sitoutuu perustuotannossa biomassaan. Jokainen seuraava tuotantoketjun vaihe käyttää elintoiminnassaan hyväkseen tätä energiaa. Energian käytön hyötysuhde on verrattain heikko. Kasvinsyöjillä se on 10...

30 % ja lihansyöjillä yleensä alle 10 %. Suomen järvissä vuotuinen kalatuotos vaihtelee välillä 10...100 kg/ha, ollen keskimäärin n. 20 kg/ha.

Tuotantotoiminnassa sitoutunut kemiallinen energia on määrältään mitätön järven energian kierron kokonaistarkastelussa.

Se seikka, että veden tiheys on suurimmillaan lämpötilassa $+4^{\circ}\text{C}$, ts. selvästi veden jäätymispisteen yläpuolella, vaikuttaa ratkaisevasti järven lämpöominaisuuksiin.

Järven veteen tulee lämpöä lyhyt- ja pitkäaaltoisena säteilynä, ilmakehästä johtumalla, vesihöyryn tiivistyessä järven pintaan, pohjasedimenteistä johtumalla ja sisääntulevien virtausten mukaan.

Lämpöä taas poistuu lämpösäteilynä, veden haihtuessa, ilmakehään ja pohjasedimentteihin johtumalla sekä poisvirtaavissa vesissä.

Suomen järvien veden vuotuinen lämmönvaihto laskettuna maksimi- ja minimilämpömäärien erotuksena on keskimäärin noin $10\,000\text{ cal/cm}^2$. Sedimentin ja jään yhteenlaskettu lämmönvaihto on samaa suuruusluokkaa. Sedimentteihin kesän aikana varastoituneet lämpömäärät siirtyvät talvella veteen. Matalissa järvissä sedimentin lämmönvaihto on miltei yhtä suurta kuin veden lämmönvaihto.

4.4 Vesistö toimintasysteeminä

4.41 Virtaavat vedet

Virtaavissa vesissä tapahtuvista laatua määräävistä fysikaalisista prosesseista tärkeimpiä ovat sedimentoituminen ja eroosio, pyörteisyyden aiheuttama sekoittuminen sekä hapen liukeneminen veteen.

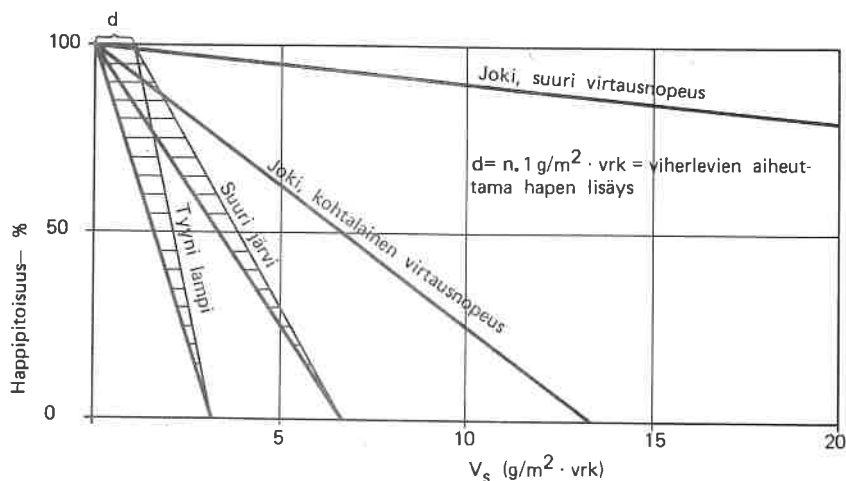
Vedessä olevan aineen määrä ja ominaisuudet, hydrologiset olosuhteet ja uoman hydrauliset ominaisuudet määräävät uomassa tapahtuvaa sedimentaatio-eroosioprosessia. Yleisenä piirteenä on, että pienten virtaamien aikana sedimentoitunut aines lähtee liikkeelle tulva-aikoina veden virtausnopeuden kasvaessa.

Avouomissa virtaus on käytännöllisesti katsoen aina pyörteistä. Pyörteisyydestä puolestaan johtuu, että konsentraatioeroja tasoittava sekoittuminen on tehokasta, tästä syystä vesimassa on suhteellisen homogeenista koko poikkeileikkauksessa.

Luonnonvesiä varten on varsinaisesti kaksi happilähdettä: suora liukeneminen ilmasta ja viherlevien tuottaman hapen liukeneminen veteen. Virtaaviin vesiin tapahtuu hapen liukenemista pääasiassa suoraan ilmasta. Hapen liu-

kenemiseen vaikuttavat mm. vedessä olevan hapen määrä, lämpötila ja virtauksen pyörteisyyt.

Fysikaalisten ilmiöiden lisäksi virtaavissa vesissä tapahtuu veden laadun kemiallista ja biologista muuttumista. Näissä prosesseissa hapella on usein ratkaisevan tärkeä osuus. Nämä tapahtumat ovat perusteiltaan samanlaisia virtaavissa ja seisovissa vesissä. Vaikka perusteet ovatkin samat, on eri prosessien suhteellinen vaikutus veden laatuun täysin erilainen järvioltaissa ja virtaavissa vesissä. Hapen osalta tilannetta esittää kuva 4.14.



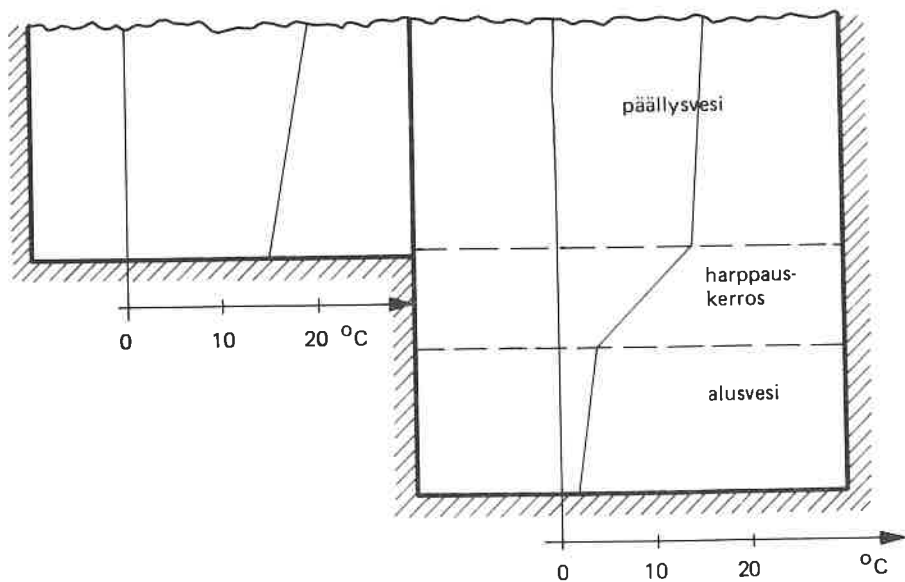
Kuva 4.14. Hapen tulo vesistöön ilmasta ja viherlevistä.

4.42 Järvioltaat

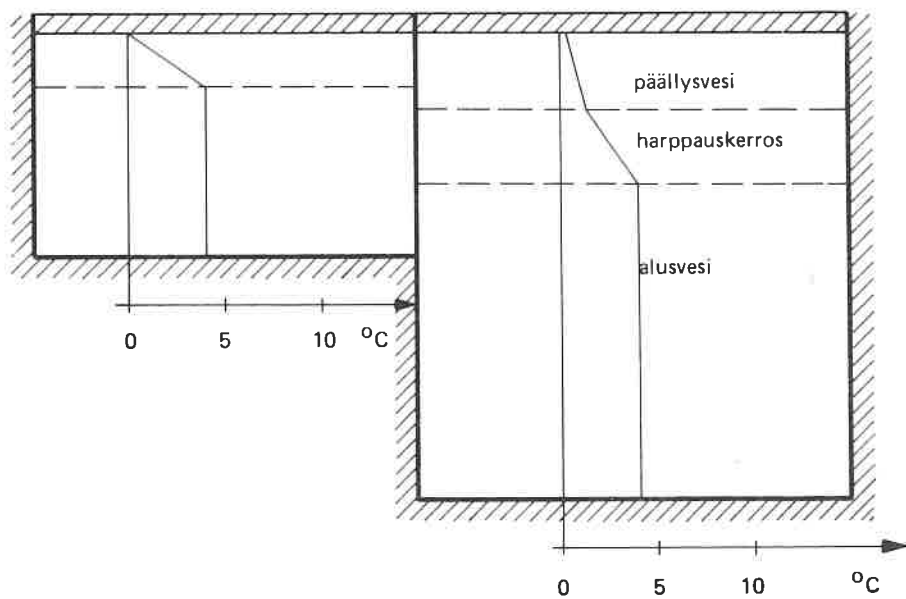
Järvioltaissa veden laatu muodostuu monien tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Biologista toimintaa ja veden laatua määräävät ainekuormituksen ohella erityisesti lämpöolot ja virtaukset.

Veden tiheysominaisuuksista johtuen useimmissa järvissä voidaan erottaa lämpötilan perusteella kolme erilaista perustilannetta:

1. Kesällä suora kerrostuneisuus, jolloin lämpimin vesi on ylinnä (kuva 4.15).
2. Talvella käänteinen kerrostuneisuus, jolloin kylmin vesi on ylinnä (kuva 4.16).
3. Syksyllä ja keväällä järvi on kerrostumaton, jolloin vesi on kauttaaltaan tasalämpöistä.



Kuva 4.15. Suora kerrostuneisuus.



Kuva 4.16. Käänteinen kerrostuneisuus.

Mikäli järvi on riittävän syvä, kehittyy siihen kesällä kolme selvää kerrosta: epilimnion eli päällysvesi, metalimnion eli välivesi (harppauskerros) ja hypolimnion eli alusvesi. Päällysvesi on pääasiassa tuulen aiheuttamien virtausten takia tasalämpöistä. Päällysveden paksuus riippuu ilmastollisista tekijöistä, järven ominaisuuksista ja ympäristön topografiasta. Suomen järvien päällysvesi on pienissä järvissä keskimäärin 5...10 m ja suurissa järvissä noin 20 m.

Harppauskerroksen ylärajana on totuttu pitämään syvyyttä, josta alkaen lämpötilanlasku on metriä kohden vähintään 1°C. Vastaavasti alarajaksi määritellään syvyys, josta alkaen lämpötila laskee asteen tai vähemmän. Harppauskerros eristää veden vaihdon suhteen päällys- ja alusveden toisistaan. Päällysvedessä tapahtuvat turbulentsiset virtaukset sekoittavat vesimassan homogeeniseksi. Harppauskerros painuu kesän kuluessa syvemmälle. Alusveden lämpötila on lähes kaikissa syvyyksissä vakio. Alusveden sekoittumista aiheuttavat kerrostuneisuuden aikana lähinnä seisovien aaltojen indusoimat virtaukset.

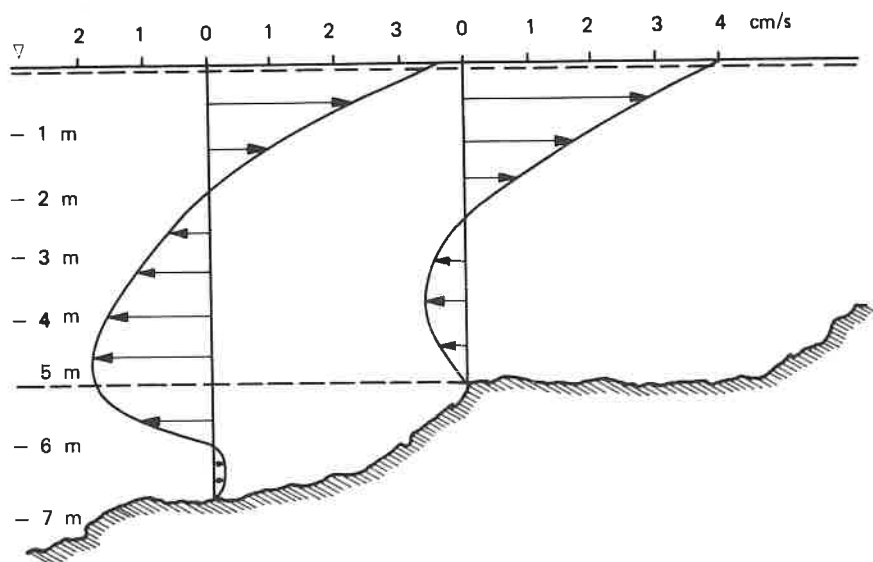
Järvissä virtauksia aiheuttavat ja säätelevät tekijät voidaan ryhmitellä seuraavasti:

1. Suoraan vaikuttavat ulkoiset tekijät
 - tuuli ja ympäristön topografia
 - ilmanpaineen muutokset
 - jokivirtaus
 - pintaveden lämpötilaan vaikuttavat ulkoiset tekijät
2. Epäsuoraan vaikuttavat ulkoiset tekijät
 - tuulen aiheuttamasta paine-erosta johtuvat virtaukset
 - tuulen tyyntyessä tai muuttaessa suuntaa syntyvät ns. seichesvirtaukset
 - maapallon pyörimisliike
3. Järvikohtaiset tekijät
 - kerrostuneisuus
 - viskositeetti
 - altaan muoto, koko ja sijainti
 - sedimentin lämpövarasto

Avoveden aikana tuuli on yleensä merkittävin virtauksia aiheuttava tekijä. Tuuli vaikuttaa vesimassaan kolmella tavalla

1. Kehittää virtauksia
2. Aiheuttaa pinnan kallistumista
3. Aiheuttaa aaltoliikkeen veden pinnassa

Esimerkki tuulen aiheuttaman virtauksen nopeusprofiileista on esitetty kuvassa 4.17).

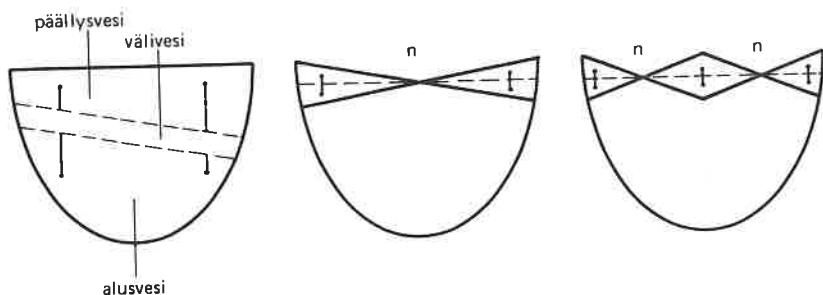


Kuva 4.17. Tuulen aiheuttama virtaus.

Tuulen nopeuden ja veden pintavirtauksen nopeuden välinen suhde riippuu paikallisista tekijöistä. Järvissä pintavirtausnopeudet ovat enintään suuruusluokkaa 0,1 m/s.

Pintavirtaus pyrkii Coriolisvoiman vaikutuksesta kääntymään oikealle; tämä ilmiö on selvästi havaittavissa etenkin suurissa järvissä.

Jos kerrostuneisuus on riittävän stabiili, kohdistuu tuulen välitön vaikutus ainoastaan päällysveteen. Sensijaan tuulen tyyntyessä tai muuttaessa suuntaa vapautuu sen aikaansaama potentiaalienergia ja aiheuttaa myös alusvedessä huomattavia vesimassojen liikkeitä (kuva 4.18).



Kuva 4.18. Seiches.

Seiches-ilmiön on havaittu aiheuttavan päänlyysvedessä suuruusluokkaa 0,5 m/s olevia virtausnopeuksia. Alusvedessä vastaavat nopeudet ovat n. 0,1 m/s.

Aaltoilutilanne jaetaan veden syvyyden mukaan kolmeen ryhmään. Kun veden syvyys h on yli puolet aallonpituudesta L ($h > 0,5 L$), ei pohja vaikuta aaltoiluun ja yksityisen partikkelin liikettä voidaan pitää likimäärin ympyränä. Veden liikkeet tämän syvyydston alapuolelle ovat vähäisiä. Väliuhykkeessä, $0,5 L < h < 0,04 L$, muuttuvat partikkelien radat ellipseiksi ja aallonkorkeus kasvaa. Kun $h < 0,04 L$, aalto murtuu. Samalla vesimassojen liike muuttuu suljetusta eteneväksi. Virtausnopeudet voivat tällöin olla suuruusluokkaa 1 m/s.

Lämpötilan muutokset aiheuttavat virtauksia. Pystysuuntaisia konvektiovirtauksia syntyy esim. pintaveden jäähtyessä ulossäteilyn johdosta.

Syksyllä päänlyysveden lämpötila laskee ja kerrostuneisuus purkautuu. Tapahuu täyskierto, jolloin lämpötila koko vesimassassa on sama. Lämpötilan alitettua $+4^{\circ}\text{C}$ voi käänteinen kerrostuminen alkaa muodostua. Tuulisina aikoina koko vesimassan lämpötila voi laskea huomattavasti alemmaksi, ennenkuin järvi jäätyy ja varsinainen käänteinen kerrostuminen alkaa kehittyä.

Talvella syntyy syvännettä kohti suuntautuvia pohjan suuntaisia tiheysvirtauksia sedimentin luovuttaessa kesän aikana muodostunutta lämpövarastoon. Tämän virtauksen suuruus ja merkitys syväreiden happitaloudelle on toistaiseksi varsin vähän tunnettu.

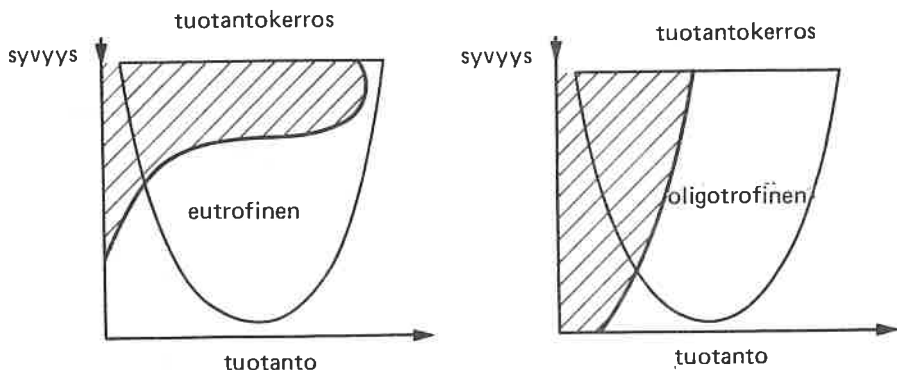
Jokivirtauksella on merkittävin vaikutus järven virtauskenttään jääpeitteen aikana. Saapuessaan järveen jokivirtaus hakeutuu tiheydensä edellyttämälle korkeustasolle. Järveen tulevan jokivirtauksen vaikutus virtauskenttään riippuu suuressa määrin joen ja purkuveden dimensioista sekä jokivirtauksen impulsista.

Käänteinen kerrostuneisuus päättyy keuäällä jään sulaessa. Alkaa keuättäyskierto, jonka jälkeen vesien lämmitessä suora kerrostuneisuus alkaa kehittyä.

Biologiseen toimintaan virtaukset vaikuttavat siten, että ravinteet pyrkivät jakaantumaan tasan koko vesimassaan. Harppauskerros eristää ravinteiden ja aineiden kierron suhteen päänlyys- ja alusveden toisistaan. Alusveteen vajonnut aines jää sinne seuraavaan täyskiertoon asti tai sedimentoituu pohjaan. Samoin ilmakaheen happi pääsee kulkeutumaan alusveteen vain täyskiertojen yhteydessä.

Järven tuotanto-hajotustoiminnassa voidaan päänlyysvesi usein rinnastaa tuotantokerrokseen ja alusvesi hajotuskerrokseen. Tuotantotoiminta riippuu

kuitenkin siitä, kuinka säteily pääsee tunkeutumaan veteen ja kirkasvetisessä järvestä on koko vesimassa kerrostuneisuudesta riippumatta tuotantokerrosta, kuva 4.19. Vastaavasti hajotustoimintaa tapahtuu koko vesimassassa, joskin hajotuksen osuus elotoiminnoissa kasvaa alaspäin mennessä.

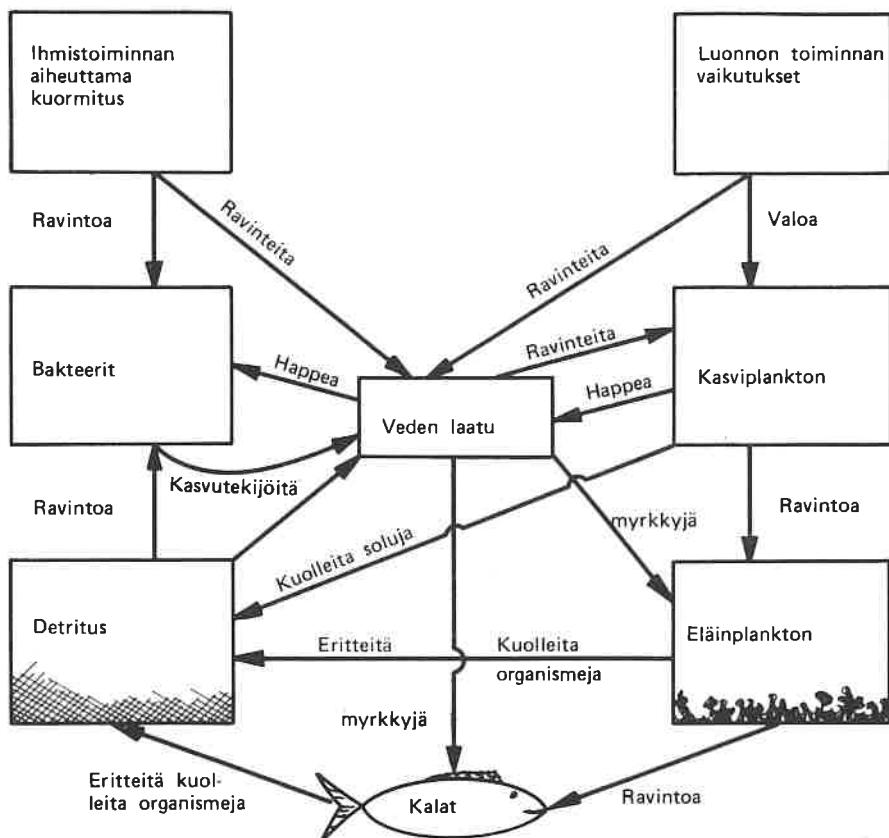


Kuva 4.19. Tuotantokerros erityyppisissä järvissä.

Jos järven luontainen ravinnekuormitus tai jätekuormitus on runsasta, tästä seuraa voimakas tuotantotoiminta kesäaikana. Jos järvi on kerrostunut, kuluttaa orgaanisen aineksen hajotustoiminta pahimmassa tapauksessa alusvedestä hapen kokonaan tai siinä määrin, että ravinteita liukenee pohjasedimenteistä takaisin alusveteen. Hapen väheneminen alusvedestä, varsinkin talviaikana, on sinänsä jo luonnon toimintaan normaalisti kuuluva ilmiö. Erityisesti pienialaiset syvänteet voivat tulla joka vuosi hapettomiksi, mutta sen merkitys riippuu suhteesta järven alaan ja vesimassaan. Jos järveä kuormitetaan voimakkaasti hajoavalla orgaanisella materiaalilla, se voi kuluttaa hapen myös päällysvedestä.

Ravinteita silmälläpitäen järvet luokitellaan kahteen perusr ryhmään, runsasravinteiset eli eutrofiset ja vähäravinteiset eli oligotrofiset. Ruskeavetisiä humuspitoisia järviä sanotaan dystrofisiksi. Näitä on Suomen järvistä n. 60 %.

Järvialtaan toimintaa käsitellään eräiltä osin yksityiskohtaisemmin luvussa 5 toimintaa kuvaavien kokonaismallien yhteydessä. Veden laadun määräytyminen ja vaihtelut on prosessi, jossa vaikuttavat useat samanaikaiset ja keskinäisiä riippuvuussuhteita omaavat tekijät. Useinkaan ei voida sanoa veden laadun muodostumisesta muuta kuin mahdollisesti vaikuttavat tekijät. Kuvassa 4.20 on esitetty kaavamaisesti ekosysteemin toiminnan vaikutus veden laatuun.



Kuva 4.20. Vesistön veden laadun muodostuminen.

4.5 Suomen vesistöt

4.51 Vesistöjen synty ja geologinen kehitys

Maapallon vesistöjen syntyyn on vaikuttanut kolme päätekijää: tektoniset liikkeet, vulkaaninen toiminta sekä veden ja jään aiheuttama eroosio. Mannerlaattojen kohoamiset, vajoamiset ja siirrokset ovat aiheuttaneet esim. seuraavien järvien synnyn: Kuollut meri, Baikäljärvi, Tanganjika ja Inarinjärvi. Vulkaanista alkuperää on Suomessa Lappajärvi.

Mannerjää syvensi vanhoja murtumalinjoja ja jään toiminnan vaikutuksesta syntyi Suomen nykyinen pienpiirteisesti vaihteleva korkokuva. Jäätikön kulkusuunnan kanssa yhdensuuntaiset halkeamat tyhjenivät irtaimista aineksista ja poikkisuuntaan kulkevat halkeamat täyttyivät niillä. Jäätikön raivaamat kallioperän syvänteet muodostavat suurimman osan järvioltaistamme.

Toinen järvioltaiden muoto on salpausjärvi. Suomen salpausjärvet ovat syntyneet enimmäkseen siten, että mannerjäätikön sulamisen pysähtymisvaiheen aikana sen reunan eteen kasautui suistomaita ja reunamoreeneja, joista muodostui pitkittäis- ja poikittaisharjuja ja moreeniselänteitä. Näiden taakse syntyi kaltevallekin pohjalle järvioltaita.

Vesistöjen syntyminen tapahtui vasta jääkautta seuranneiden merivaiheiden jälkeen. Vanhimmat Suomen järvistä ovat Lapissa ja pitkin itärajaa kulkevassa katkonaisessa kaistaleessa sekä vähäisillä alueilla Sisä-Suomessa. Nämä alueet olivat merenpinnan yläpuolella jään sulamisen jälkeen. Nykyisin Lappi on vähäjärvinen. Vanhat järvet ovat purkautuneet tyhjiksi ja järvi-vesistöt muuttuneet joistoiksi.

Erityisen suotuisat olosuhteet järvien syntymiselle oli jääkauden jälkeisinä aikoina Keski-Suomessa. Alueen reunat kohoavat maljamaisesti ylöspäin. Pienoiskuva sen sijaan on vaihteleva ja rikkonainen.

Järvet ovat jään perääntymissuunnan mukaisesti valtaosaltaan luoteis-kaakkoissuuntaisia. Rannat ovat mutkittelevia ja saaria on runsaasti. Järvien pohjamuodot seuraavat yleensä näkyvissä olevan korkokuvan vaihtelevaa muodostoa. Järvi-Suomen vesialueet ovat suurimmaksi osaksi jääkauden jälkeisten alkujärvien jäänteitä. Ne syntyivät merenlahtien kuroutuessa itsenäisiksi vesialueiksi maankuoren kohoamisen seurauksena.

Sisävesistömme ovat käyneet läpi monta muodonmuutosta. Aluksi vedet laskivat luoteeseen, Pohjanlahteen. Järvioluetta etelässä reunustava harju-kynnys toimi vedenjakajana. Silloisen järviolueen eteläosassa, vesistöjen latvoilla oli lukuisia pikkujärviä. Suuret järvet olivat pohjoisessa.

Nykyisin suurin osa Sisä-Suomen vesistä laskee Suomenlahteen. Laskusuunnan muutoksen syynä on ollut maan kohoamisen erilainen nopeus Suomen eri osissa. Suomenselällä maa kohosi keskimäärin kaksi kertaa niin nopeasti kuin Salpausselän tienoilla. Suomenselälle syntyi uusi patokynnys. Vesi nou-

si Järvi-Suomen etelä- ja kaakkois-osissa. Eteläiset suurjärvet laajenivat ja peittivät alleen pikkujärvet. Vedestä tyhjenevään pohjoisosaan muodostui nyt pienten, itsenäisten järvien alue. Veden korkeuden kohotessa etelässä ja sen kuluttavan toiminnan lisääntyessä n. v. 400 e.Kr. vedet puhkaisivat uuden purkautumistien etelään Vuolenkosken alavalla paikalla. Uusi purkautumisuoama oli nykyinen Kymijoki. Vastaavasti Saimaa puhkaisi laskuoman Imatran kautta.

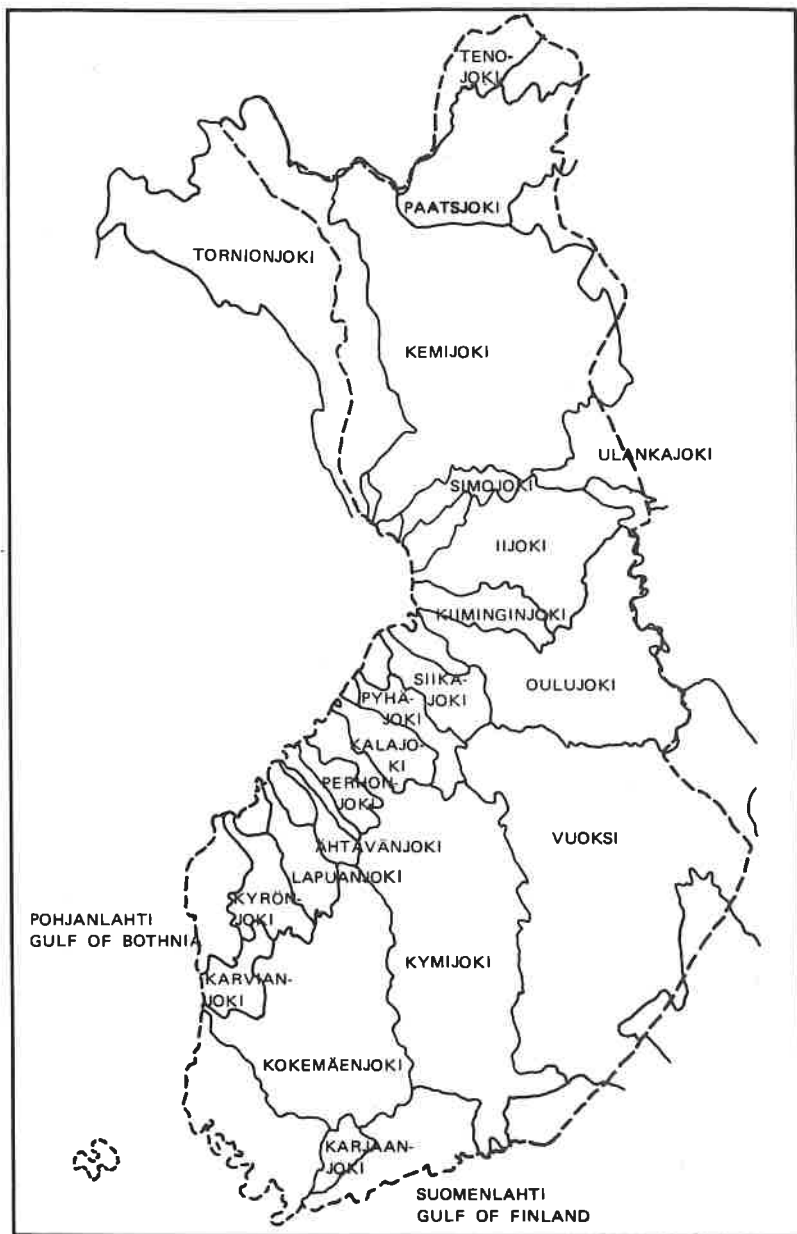
Järviemme pääosan laskusuunnan muuttanut maan kohoaminen ei vieläkään ole loppunut. Maa nousee voimakkaimmin Pohjanlahden pohjoisosassa ja kohoamisen määrä pienenee etelää kohti. Tämä aiheuttaa nykyisissä järvisämme muutoksia. Vesi pakenee niiltä alueilta, joilla maan kohoaminen on voimakkainta ja valtaa lisäalaa järvien vastakkaiselta, heikommin kohoavalta rannalta. Näin tapahtuu esimerkiksi Oulujärven siirtyminen hitaasti kaakkoon, Vesijärven ja Vanajaveden etelään päin. Veden kuluttava voima aiheuttaa myös muutoksia vesistöissä. Kynnysten yli virtaavat joet kuluttavat hitaasti alustansa ja yläpuolisten järvien pinta laskee.

Maankohoamisesta johtuva merkittävin odotettavissa oleva muutos on Perämeren makeutuminen ja muuttuminen sisäjärveksi.

Järvet mataloituvat myös muista syistä. Järveen laskevien purojen ja jokien virtaava vesi kuljettaa maata mukanaan. Virtauksen hiljentyessä liete laskeutuu pohjaan. Matalassa rantavedessä vesikasvisto alkaa vähitellen vallata alaa ja huonosti lahoavat kasvijätteet jouduttavat täyttymistä. Metsien raivaaminen pelloksi on lisännyt eroosiota ja nopeuttanut järvien umpeenkasvua.

Ihmisen toiminta on myös välittömästi vaikuttanut Suomen vesistöjen muuttumiseen. Viljelymaan lisäämisen tai viljely- ja metsämaiden kuivatuksen takia järviä on kokonaan kuivattu tai niiden vesipintaa laskettu. Vesialueita lisääviä ihmisen toimenpiteitä ovat tekojärvien ja voimalaitosten yläpuolisten patoaltaiden rakentaminen.

Nykyiset Suomen vesistöt (tärkeimmät) on esitetty kuvassa 4.21.



Kuva 4.21. Tärkeimmät vesistöalueet.

4.52 Vesistöjen veden laatu ja käyttökelpoisuus

Suomen sisävesien veden laadun luonteenomaisia piirteitä ovat pieni liuenneiden suolojen pitoisuus ja suuri humuksen määrä. Lisäksi vedet ovat yleensä happamia ja niissä on luontaisesti vähän kasvinravinteita. Tätä osoittavat seuraavat valtakunnallisten havaintopaikkojen analyysitulosten keskiarvot: Väri 85 mg Pt/l, KHT 14 mg O₂/l, pH 6,5, sähkönjohtokyky alle 50 µS/cm, kovuus 0,5° dH, haihdutusjäännös 15–100 mg/l, kokonaissfosfori noin 0,01 mg P/l ja kokonaistyyppi noin 0,2 mg N/l. Alueelliset poikkeavuudet näistä keskiarvoista ovat kuitenkin yleisiä.

Taulukko 4.4. Veden laatuluokkien rajat:

Ominaisuus	Yksikkö	Luokkien vähimmäisvaatimukset			
		1	2	3	4
Fekaaliset streptokokit	kpl/100 ml	25	25	250	
Väri	mg Pt/l	20	70—90	100—130	200
KHT	KMnO ₄ mg/l	20	70—90	100—130	150—200
BHT ₇	mg O ₂ /l	1	2	5	15
O ₂	kyll. %	90—105	70—110	50—120	30—125
Myrkyt		ei saa ylittää voimassa olevia hallinnollisia määräyksiä			
Öljyt		ei lainkaan		ei toistuvasti näkyvää pintakalvoa	
Pinnalla kelluvat aineet		ei lainkaan		vähäisiä määriä	
Ligniini*)	mg/l NaLS	1	2	5	
Rauta*)	mg/l	0,2	1	5	
Mangaani*)	mg/l	0,05	0,1	0,5	
Veden kukinta		ei	harvoin	toistuvasti	

Mikäli vesialueella esiintyy toistuvasti öljyä, vaahtoavia aineita, pinnalla kelluvia jäte-aineita tai seuraavat pitoisuudet ylittävät myrkyllisiä aineita, kuuluu vesialue aina luokkiin 4 tai 5, vaikkeivät muut ominaisuudet sitä edellyttäisikään.

	Aine	Yksikkö	Pitoisuus	
	Arseeni	mg/l As	0,05	
	Elohopea	mg/l Hg	0,005	
	Fenolit	mg/l	0,005	
	Kadmium	mg/l Cd	0,01	
	Kupari	mg/l Cu	0,5	
	Lyijy	mg/l Pb	0,1	
	Syanidit	mg/l CN	0,01	
	Anioniaktiiviset aineet	mg/l	1	

*)Huomioidaan vain silloin, kun arvioidaan veden soveltuvuutta yhdyskunnan vesilaitoksen raakavedeksi.

Ennen teollistumisen ja voimaperäisen maatalouden aikakautta pääosa Suomen järvistä oli niukkatuottoisia. On ilmeistä, että säteilyenergian suhteellisen vähyden ohella on erityisesti vesistöihin huuhtoutuvien ravinteiden niukkuus rajoittanut tuotantoa voimakkaasti. Eri ravinteista on fosfori ollut epäilemättä tärkein perustuotannon minimitekijä. Järvivesistöihin vuosittain kohdistuneen fosforikuormituksen voidaan arvioida olleen suuruusluokaltaan 0,05—0,07 g P/m². Nämä ovat tyypillisiä erittäin niukkatuottoisten järvien kuormitusarvoja.

Tärkeimpänä veden laatua heikentävänä tekijänä on ollut vesistöjen humuspitoisuus. Lukuunottamatta pieniä latvavesiä se heikentää vesien käyttökelpoisuutta suhteellisen vähän, ellei vesistöä käytetä esimerkiksi asutuksen vedenhankinnan raakavesilähteenä. Humus muodostaa kuitenkin vesien peruskuorman, joka lisää niiden pilaantumisherkkyyttä. Vaikeimmin on arvioitavissa rannikkoalueiden vesistöjen luonnontila, sillä maaperä on näillä alueilla luontaisesti ravinnerikkaampaa kuin muualla Suomessa. Tämän vuoksi vesistöt ovat saattaneet olla runsastuottoisia jo ennen maatalouden voimaperäistymistä ja peltoalan voimakasta lisääntymistä. Tätä olettamusta tukevat eräät alueen järvistä tehdyt sedimenttitutkimukset.

Taulukko 4.5. Laatu luokkien soveltuvuus (x) eri käyttötarkoituksiin.

Käyttötarkoitus	Laatuluokat				
	1 erinomainen	2 hyvä	3 tydyttävä	4 välttävä	5 erittäin huono
Vedenhankinta:					
Yhdyskunnat ja elintarviketeollisuus					
— ilman kemiallista tms. puhdist.	x				
— kemiallinen puhdistus	x	x			
— — — — — tehostettu laadun tarkkailu	x	x	x		
Maatalous					
— karjatalousvesi	x	x		(x) ¹⁾	(x) ¹⁾
— kasteluvesi	x	x	x		
Puunjalostusteollisuus					
— prosessivesi	x	x	x		
— jäähdytysvesi	x	x	x	x	
Kalastus:					
Arvokalojen kasvat.	x	x			
Ammattikalastus (seisovat pyydykset)	x	x			
Virkistyskäyttö:					
Virkistyskalastus	x	x	x ²⁾		
Uinti, vesihiihto	x	x	x		
Veneily, laivaliikenne	x	x	x	x	(x) ³⁾
1) sopiva viljapeltojen, heinänurmien tms. kasteluun					
2) sopiva, ellei alueella ole liikkeellä epidemioita					
3) sopiva kauttakulkuliikenteeseen					

Vesihallinnossa on laadittu lähinnä vesien käytön alueellista suunnittelua palveleva käyttökelpoisuusluokitus, jossa vedet on jaettu viiteen luokkaan. Laatuluokkien rajat on esitetty taulukossa 4.4 ja laatuluokkien soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin taulukossa 4.5.

Suomen järvien kokonaispinta-alasta on noin 3 % eli noin 1 100 km² arvioitu kuuluvan käyttökelpoisuudeltaan välttävään (IV) tai huonoon (V) luokkaan. Nämä vesialueet ovat voimakkaasti likaantuneita. Lievemmin likaantuneiden vesialueiden yhteinen pinta-ala on noin 6 100 km² eli 19 % järvien kokonaispinta-alasta. Tähän lukuun sisältyy myös suuri joukko sellaisia vesistöjä, joihin ei merkittävästi johdeta jätevesiä, vaan joiden laatu on valuma-alueen luonnollisien ominaisuuksien vuoksi heikohko. Loput järvistä kuuluvat erinomaiseen (I) tai hyvään (II) luokkaan. Niiden yhteinen pinta-ala on noin 25 700 km².

KIRJALLISUUTTA

- Ahl, T. & Odén, S. 1975. Närsaltkällor - en översikt. Eutrofiering. Nordforsk miljövårdsekretariatet, publikation 1975:1, Helsinki.
- Airaksinen, J.V. & Karttunen, E. & Niinivaara, K. 1975. Ravinteet vesistön rehevöittäjänä. YVY-projekti EH3, Helsinki.
- Bengtsson, L. 1973. Modellstudier av cirkulationsprocesser i sjöar. Institutionen för vattenbyggnad, Tekniska Högskolan i Lund, Bulletin Series A nr 22, Lund.
- Chen, C.W. 1970. Concepts and Utilities of Ecologic Model. Journal of the Sanitary Engineering Division, Vol 96 No. SA5.
- Hosia, L. & Tuononen, E. 1976. Aineiden kulkeutuminen vesistöön. Vesitalous 3/1976.
- Hushållning med mark och vatten. 1971. Statens offentliga utredningar 1971:75, Stockholm.
- Jaatinen, S. 1971. Water resources in Finland. Aqua Fennica 1971.
- Järnefelt, H. 1958. Vesiemme luonnontalous. WSOY, Porvoo.
- Kaijalainen, E. 1972. Aineiden huuhtoutumisesta jokivesiin Etelä-Pohjanmaalla. Diplomityö Oulun yliopistossa, Oulu.

Laaksonen, R. 1970. Vesistöjen veden laatu. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 17, Helsinki.

Lindh, G. & Falkenmark, M. 1972. Hydrologi. En inledning till vattenresursläran. Studentlitteratur, Lund.

Määttä, R. 1976. Vesiensuojelun kemian ja biologian perusteet. Otakustantamo, Espoo.

Seppänen, H. 1976. Epäpuhtauksien kulkeutuminen vesiekosysteemissä. INSKO 111-76 V. Helsinki.

Särkkä, M. 1975. Översikt av olika källor till närsaltutsläpp. Eutrofiering. Nordforsk miljövårdsekrerariatet publikation 1975:1, Helsinki.

Vallin, S. & Jansa, V. & Fischerström, C. & Bergström, H. 1941. Betänkande angående vattenförorening II. Tekniska och biologiska utredningar. Stockholm.

Vesiensuojelun periaatteiden soveltamisesta. 1976. Vesihallitus, Helsinki.

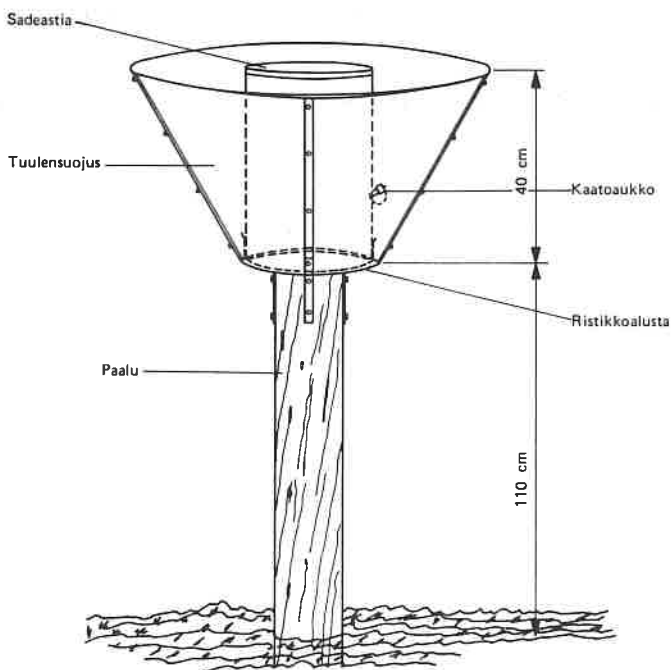
5. HAVAINNOT JA AINEISTON KÄSITTELY

5.1 Havainnointi

5.11 Sade- ja lumihavainnot

Normaaleihin säähavaintoihin kuuluvat ilman lämpötilahavainnot, ilman kosteushavainnot, tuulihavainnot, sadehavainnot, lumensyvyyshavainnot, pilvisyyshavainnot ja maanpinnan laadun havainnointi. Tässä yhteydessä käsitellään tarkemmin ainoastaan sade- ja lumihavaintoja.

Suomessa käytetty standardisademittari on esitetty kuvassa 5.1.



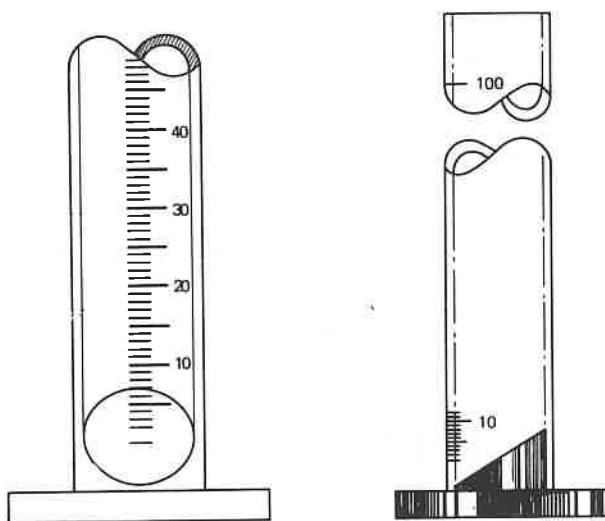
Kuva 5.1. Sademittari.

Sademittari koostuu keräysastiasta, jonka pinta-ala on 500 cm^2 ja jossa on suppilomainen välipohja haihdunnan estämiseksi. Lisäksi se on varustettu Nipherin tuulensuojuksella tuulen pyörteiden aiheuttamien mittavirheiden pienentämiseksi. Sademittari on kiinnitetty pylvääseen yläpinnan ollessa 1,5 metrin korkeudella maanpinnasta.

WMO:n suosittelemat standardit keräyspinta-aloille ovat 200, 500 ja 1000 cm². Muita tärkeitä vaatimuksia ovat mm. seuraavat:

1. Keräysastian reunan tulee olla terävä, kulma noin 30°...45°, jotta se estäisi pisaroiden pärskymistä ja että reuna erottaisi mittaustastian ulkopuolelle jääneen sateen. Erityisesti märkää lunta kerääntyy helpostiastian reunalle.
2. Keräysastian pinta-alan tulee pysyä vakiona; virherajat vain 0,5 %.
3. Keräysastian tulisi estää sateen räiskymisen pois astiasta. Tämän vuoksi vertikaaliseen tulee ulottua riittävän syvään ja suppilon kaltevuus tehdä riittävän jyrkäksi.

Keräysastiaan kerääntyneen sateen mittaamiseen käytetään mittalasia, jonka pohja mittatarkkuuden lisäämiseksi on tehty kaltevaksi (kuva 5.2). Suhteelliset virheet ovat luonnollisesti suurimpia pienillä sademäärillä. Lukemataarkkuus on 0,1...0,2 mm.



Kuva 5.2. Mittalasi.

Standardimittauksia suoritetaan jatkuvasti n. 150 havaintopisteessä eri puolilla Suomea. Lisäksi maassamme suoritetaan havaintoja noin 20 piirtävällä sademittarilla. Ne rekisteröivät sadantaa jatkuvasti, ja niiden avulla saadaan selville sateen intensiteetti eli rankkuus. Suomessa käytetään ns. uimuri-lappoperiaatteella toimivia piirtäviä mittareita, joiden keräyspinta-ala on 200 tai 500 cm².

Sademittarit mittaavat yleensä vain sateen pystysuoran komponentin, ja vaakasuora komponentti jää mittaamatta. Etenkin vuoristossa voi vaaka-

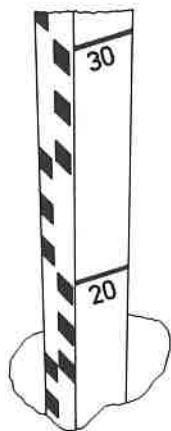
suoraan tulevan sadannan osuus olla huomattava, jopa yli puolet kokonais-sadannasta, kuten esimerkiksi monin paikoin Norjassa. Tätä sanotaan ns. tuulivirheeksi. Se aiheutuu pääasiassa ilmapvirtauksen turbulenssista. Maasamme vesisateen osalta tuulivirhe lienee 4...6 %, mutta lumisateen osalta jopa 10...50 % mittauspaikan tuulen suojaisuudesta riippuen. Keskimääräinen tuulivirhe lienee vuoden talvipuoliskolla noin 20 %. Muina virhelähteinä ovat veden tarttuminen mittausastian pintaan ja haihtuminen eli ns. kostutusvirhe. Tämä virhe on noin 0,1...0,2 mm sadetapausta kohti, eli keskimäärin yhteensä noin 20 mm vuoden kesäpuoliskon aikana. Yhteensä mitatut virheet pienentävät mitattua vuosisadantaa keskimäärin noin 15 %:lla. Suomessa julkaistaan sadetilastot korjaamattomina.

Lumimäärä mitataan vallitsevan lumenpinnan korkeutena maanpinnasta. Lumiolosuhteista voidaan tehdä seuraavia havaintoja:

- lumen syvyys (lumipeitteen syvyys),
- lumen tiheys,
- lumen vesiarvo,
- lumen lämpötila,
- lumen pinnasta tapahtuva haihdunta.

Lumisadetta voidaan mitata säiliötyyppisillä mittareilla kuten vesisadettakin, jolloin lumi sulatetaan vedeksi. Tuulen aiheuttama virhe muodostuu suureksi kuten edellä on jo mainittu.

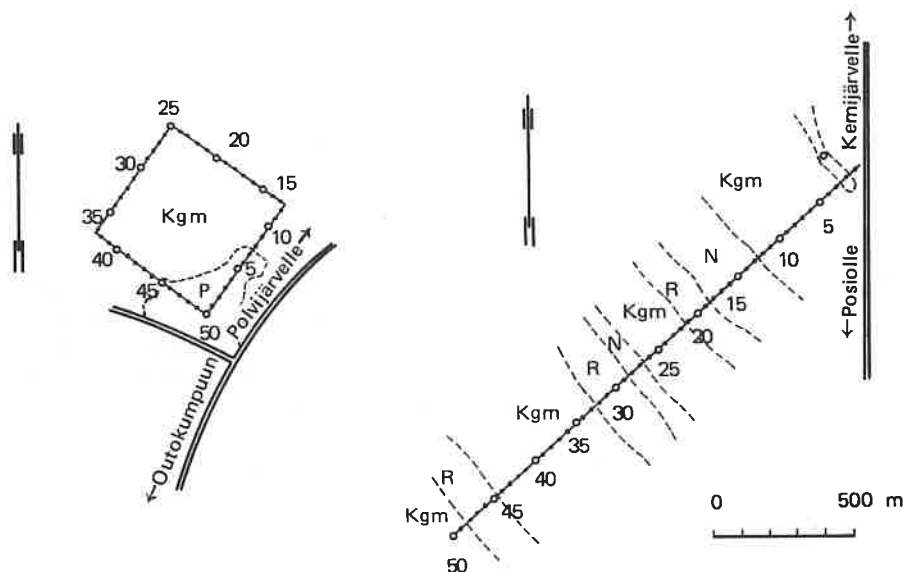
Tavallisimmin lumisateiden vaikutus vesivarastoihin selvitetäänkin lumen syvyyden ja lumen tiheyden avulla ns. lumilinjamittauksena. Lumilinjalla suoritetaan lumen syvyyden mittauksia kiinteiden maahan lyötyjen lumikeppien avulla. Lumikeppi on valkoiseksi maalattu ja cm-asteikolla varustettu ja on kinostumisen estämiseksi poikkileikkaukseltaan pieni (kuva 5.3). Mittauksissa voidaan toisinaan tyytyä harvoihinkin havaintopisteisiin, mutta aluearvojen määrittämisessä on ehdottomasti käytettävä linjamittausta.



Kuva 5.3. Lumikeppi.

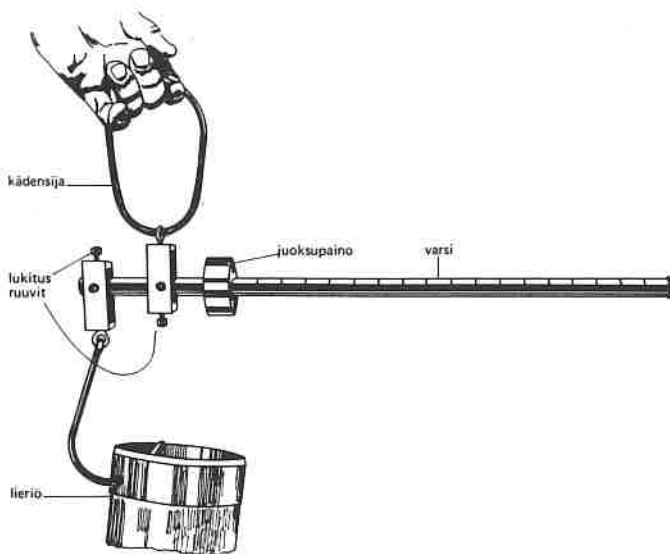
Lumilinjain pituus vaihtelee tehtävän laadun mukaan välillä 150...2000 m. 2000 m:n linjalla lumikeppien etäisyys on 40 m. Linja sijoitetaan maastoon siten, että se mahdollisimman hyvin edustaa ko. alueen luonnonoloja. Kun pisteiden etäisyydet pidetään täsmälleen suunnitellun mittaisina, saadaan otantaperiaatteen mukaisesti oikea kuva alueen lumisuhteista.

Kuvassa 5.4 on esimerkki lumilinjain sijoittamisesta maastoon. Se on pyritty sijoittamaan maastoon siten, että se mahdollisimman hyvin vastaa valuma-alueen maastotyyppi-, puusto-, kaltevuus- ym. suhteita. Jos valuma-alue on pienikuvioinen ja -muotoinen, järjestetään linja usein neliömuotoiseksi havaintojen helpottamiseksi. Suurikuvioisessa maastossa linja sijoitetaan tavallisesti kulkemaan suoraan poikki edustavien maastokuvioiden. Linjamittaus suoritetaan säännöllisin väliajoin, keväällä sulamisen aikana tiheimmin. Mittausten väli on normaalisti 2...4 viikkoa.



Kuva 5.4. Lumilinjain sijoittaminen maastoon.

Lumen tiheys määritetään useimmiten ottamalla tarkoitukseen valmistetulla laitteella tilavuudeltaan määrätynsuuruinen luminäyte ja punnitsemalla se. Tällainen laite käsittää metallisen tai muovisen sylinterin, kauhan tai jonkun muun laitteen, jolla näyte leikataan sylinteriin. Lisäksi on punnitsemista varten jousi- tai vastapainovaaka. Kuvassa 5.5 on esitetty Suomessa käytetty lumipuntari, jossa on 50 cm korkea lumenottolieriö poikkileikkauspinta-alaltaan 100 cm².



Kuva 5.5. Lumipuntari.

Punnitseminen suoritetaan vastapainovaa'alla. Puntarin asteikolta saadaan suoraan lumipilarin vesi-arvo mm:nä ja lieriön sivun merkityltä asteikolta mitatun lumipilarin korkeus. Jos lunta on enemmän kuin 50 cm, mittaus on suoritettava useammassa osassa.

Lumen tiheys määritetään lumilinjalla usein 200 m:n välein, koska lumen tiheys vaihtelee vähemmän kuin lumen syvyys. Viiden tiheysmittauksen keskiarvo on ollut noin 2...5 % ja ottaen huomioon lumen syvyydessä tehdyt todennäköiset virheet, lumen vesi-arvo voidaan määrätä likipitään 5 %:n tarkkuudella. Aluearvoissa virhe nousee noin 10 %:iin.

Kehitteillä on mittausmenetelmiä, joilla voitaisiin myös vaikeakulkuisissa olosuhteissa saada luotettavia havaintoja sadannasta. Tällaisia ovat mm. sadetutkat.

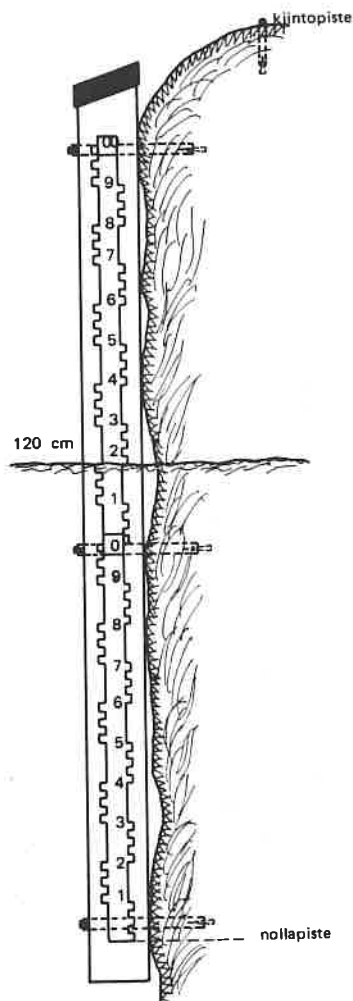
5.12 Vedenkorkeuden määrittäminen

Vedenkorkeus on keskeinen hydrologinen suure. Vedenkorkeuden mittaamisen tarkoituksena on:

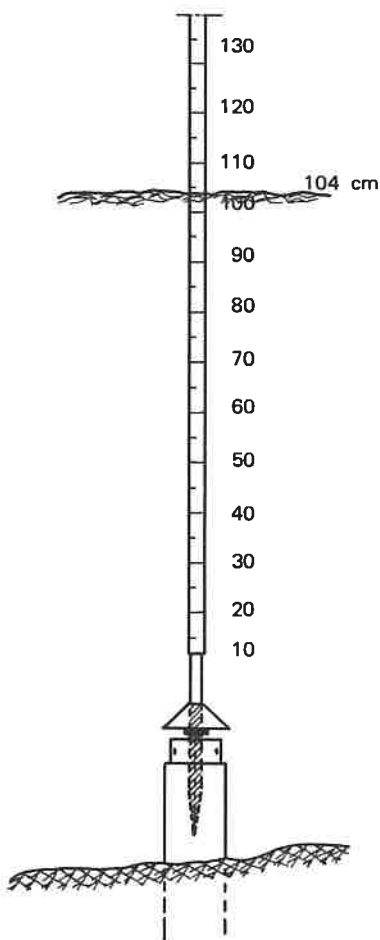
1. virtaamien määrittäminen
2. paikallisten vedenkorkeusvaihteluiden selvittäminen.

Vedenkorkeuden vaihtelua mitataan tavallisilla vesiasteikoilla, piirtävillä vesiasteikoilla ja kaukoasteikoilla.

Vesiasteikko (kuva 5.6) on 100 cm:n pituisista osista rakennettu 1 tai 2 cm:n jaolla ja desimetrinumeroin varustettu teräksestä, valuraudasta tai alumiinista valmistettu asteikko. Asteikko kiinnitetään puuparrulla esim. sillan maatukeen tai rantakallioon. Asteikko on pystytettävä tarpeen mukaan siten, että asteikon alapää tulee matalimman odotettavissa olevan aliveden alapuolelle ja yläpää korkeimman yliveden yläpuolelle. Asteikon 0-taso sidotaan kiintopisteeseen. Ellei tukevaa kiinnityspaikkaa asteikolle ole käytettävissä, on asteikko korvattava jään vaikutuksen alapuolelle jäävällä pohjapaalulla (kuva 5.7). Mittaus suoritetaan havainnoimalla vesisyvyyttä.

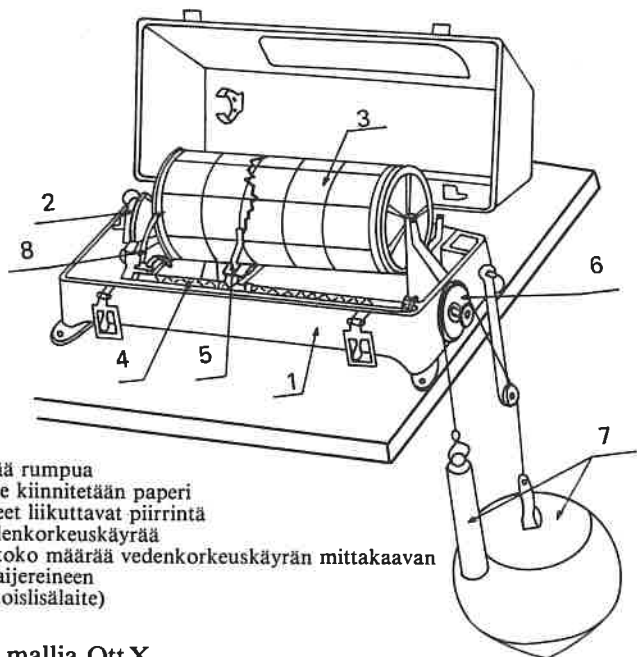


Kuva 5.6. Vesiasteikko.



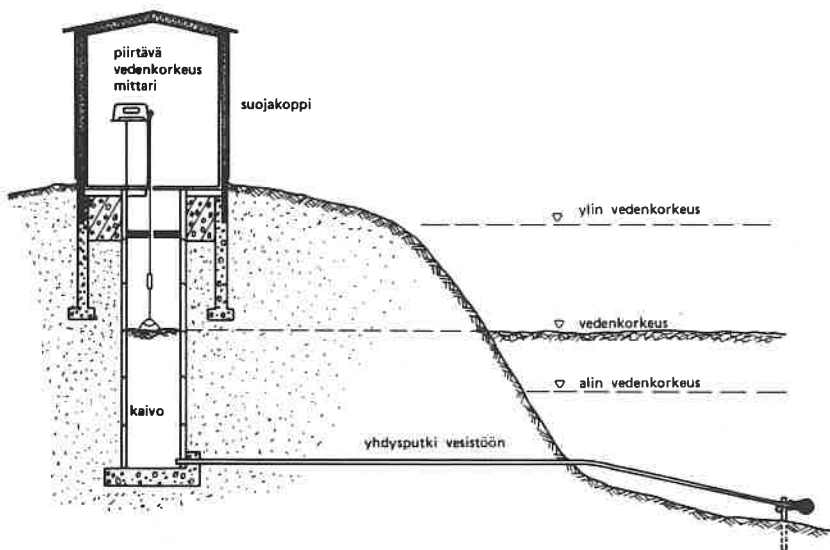
Kuva 5.7. Pohjapaalu.

Piirtävään vesiasteikkoon eli limnigrafiin (kuva 5.8) kuuluu kellokoneiston pyörittämä rumpu, jonka ympärillä olevalle paperille uimurin avulla vedenpinnan yhteydessä oleva kynä piirtää vedenkorkeutta esittävää viivaa, tavallisimmin suhteessa 1:5. Veden jäätymisen estäminen vaatii suojarakenteita (kuva 5.9). Piirtävän vesiasteikon rinnalla on aina oltava tavallinen asteikko, josta voidaan tarkistaa vedenkorkeuskäyrän taso.



1. Kojeen koppa
2. Kellolaite, joka pyörittää rumpua
3. Rumpu, jonka ympärille kiinnitetään paperi
4. Kierrekara, jonka kiertet liikuttavat piirintä
5. Piirrin, joka piirtää vedenkorkeuskäyrää
6. Uimurin kehrä, jonka koko määrää vedenkorkeuskäyrän mittakaavan
7. Uimuri ja vastapaino vajereineen
8. Perusviivan piirrin (erikoislisälaite)

Kuva 5.8. Limnigrafi mallia Ott X.

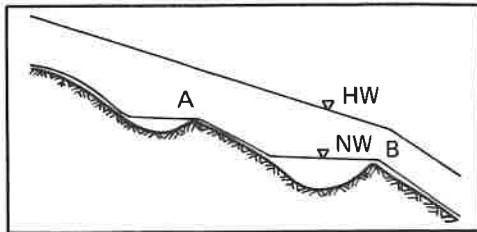


Kuva 5.9. Limnigrafín asennus.

Kaukoasteikkoja, jotka ovat yleensä sähkökäyttöisiä, on monta tyyppiä. Niissä on laite, joka muuntaa uimurin avulla mitattavan vedenkorkeuden vaihtelun sähkövirran jännitteen tai virranvoimakkuuden vaihteluiksi. Vaihtelut siirretään joko johdinta pitkin tai radioaaltojen avulla sopivaan valvontapaikkaan, jossa esim. piirturi ilmaisee vedenkorkeuden.

Lisäksi voivat asteikkojen ja uimurin ohella tulla kyseeseen myös vedenkorkeusmuutosten aiheuttamiin painevaihteluihin perustuvat vedenkorkeuden mittarit.

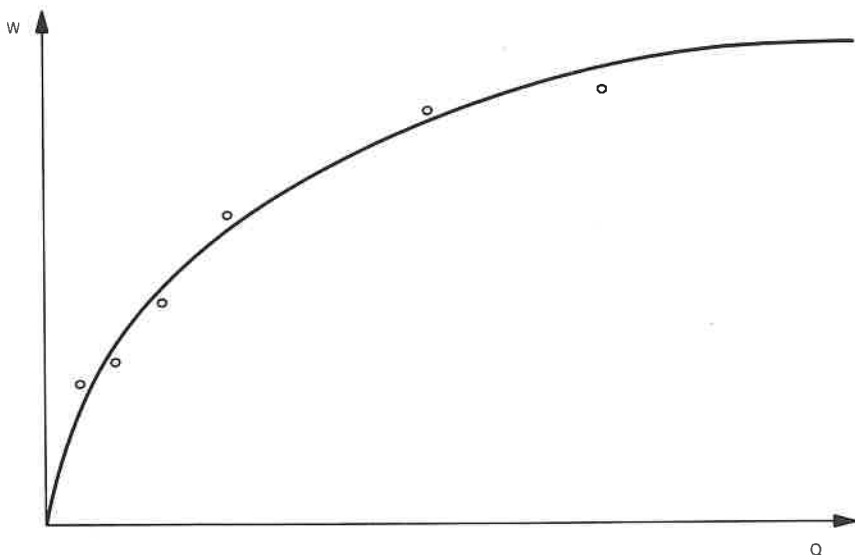
Vesiasteikon paikan määrää järvestä edullisin kiinnitys- ja havaitsemispaikka. Kun virtaavassa vesistössä suoritetaan vedenkorkeushavaintoja, joiden avulla vesistön virtaama halutaan määrittää, on asteikon paikka valittava siten, että vedenkorkeus asteikon kohdalla määrittää yksikäsitteisesti virtaaman. Tämä edellyttää, että välittömästi asteikon alapuolella virtaus muuttuu kiitovirtaukseksi, jolloin alapuolinen vesistön osa ei vaikuta asteikon vedenkorkeuteen. Kuvassa 5.10 määrää poikkileikkaus B asteikon kohdalla vedenkorkeuden sekä yli- että aliveden aikana. Poikkileikkaus A on määräävä ainoastaan aliveden aikana. Määräävän poikkileikkauksen tulee olla syöpy-mätön, jotta virtaamamittauksilla määritetty purkautumiskäyrä ei muuttuisi. Jos vesistössä ei ole tällaista koskipaikkaa, tarvitaan virtaaman määrittämiseksi kahdella asteikolla suoritettut vedenkorkeushavainnot. Asteikkojen tulee silloin sijaita siten, että vedenkorkeus alemmalla asteikolla on yleensä joitakin desimetrejä pienempi kuin ylemmällä.



Kuva 5.10. Vesiasteikon paikan valinta. Sopivin paikka suvanto B:n yläpuolella.

5.13 Virtaaman määrittäminen

Virtaamamittausten pääasiallinen tarkoitus luonnonuomissa on vedenkorkeuden ja virtaaman välisen vuorosuhteen purkautumiskäyrän (virtaamakäyrän) muodon määrittäminen (kuva 5.11). Purkautumiskäyrän avulla voidaan sitten selvittää vedenkorkeushavainnoista virtaaman suuruus.



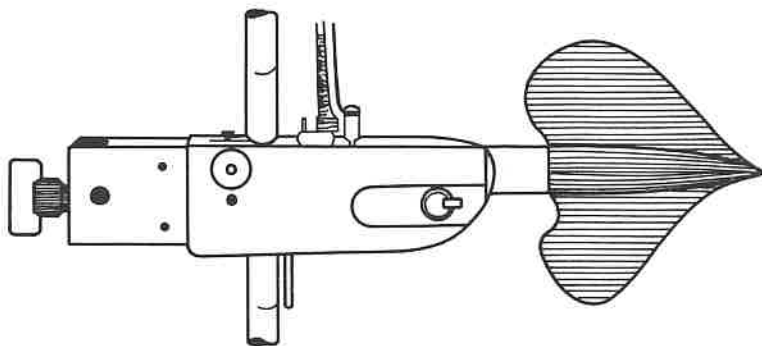
Kuva 5.11. Virtaamakäyrä.

Virtaaman mittausmenetelmät voidaan jakaa esimerkiksi taulukon 5.1 mukaisesti.

Taulukko 5.1. Virtaaman mittausmenetelmien ryhmittely.

Toimintaperiaate	Mittaustapa tai -väline
I Suorat menetelmät	Astiamittaus Kaatoastia
II Hydrometriset menetelmät	Siivikko Pitotputki Uimuri
III Mitattavan systeemin kulkeutuminen uomassa (massasiirtymä)	Mittaverho Suolaliuos Väriaineet Radioaktiiviset aineet
IV Virtauksen energiavaihteluihin perustuvat menetelmät	Mittapadot (voimalaitokset) Venturi-mittari

Tässä yhteydessä käsitellään tarkemmin vain siivikkomittausta, joka on yleisimmin käytetty menetelmä virtaavassa luonnonuomassa. Siivikko on esitetty kuvassa 5.12.



Kuva 5.12. Siivikko.

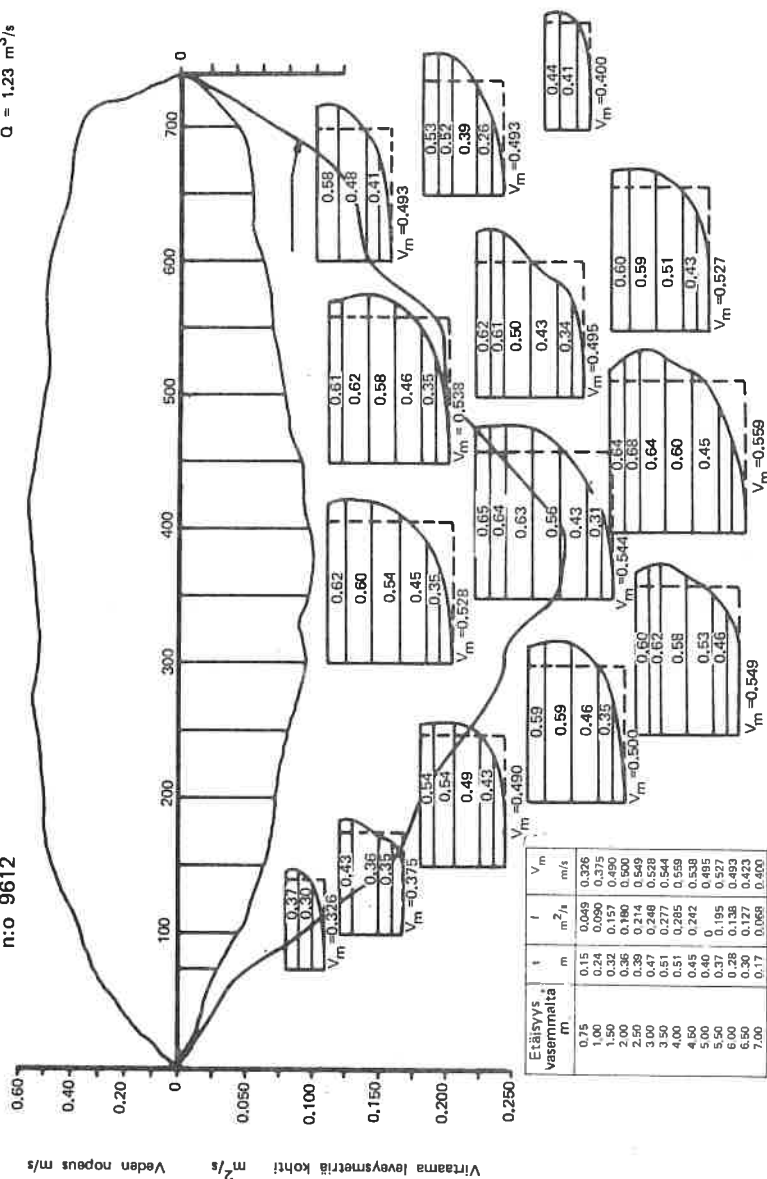
Siivikkomittaus suoritetaan suorassa ja poikkileikkaukseltaan säännöllisessä uoman kohdassa. Siivikkomittaus soveltuu nopeusalueelle 0,05...2 m/s. Sopivin mittauspaikka on virtaussuuntaa vastaan kohtisuorassa oleva silta. Mittaus voidaan suorittaa myös paikalleen ankkuroidusta veneestä käsin. Virtaavan veden johdosta joutuu siivikon siipi kiertämään akselinsa ympäri. Veden virtausnopeus määrää siiven kierrosnopeuden. Kierros- ja virtausnopeuden yhteyttä kuvaava kalibrintikäyrä on määrättävä kokeellisesti laboratorio-olosuhteissa.

Siivikkomittauksen suorittamisessa on ensiksi mitattava uoman poikkileikkaus erittäin tarkasti joko vaaitsemalla tai luotaamalla vedenpinnan alapuolinen osa vedenpinnasta. Jos virtaamamittaus palvelee purkautumiskäyrän määrittämistä, on lisäksi selvitettävä vedenkorkeus käytetyssä korkeustasossa.

Poikkileikkauksen perusteella valitaan mittauspystysuorat, joissa siivikkomittaukset suoritetaan. Mittauspystysuoria tulee olla uoman muodosta ja leveydestä riippuen 5...20. Kullakin pystysuoralla suoritetaan veden virtausnopeuden mittauksia siivikolla läheltä pohjaa ja pintaa sekä 1...4 välipisteessä.

Tulosten perusteella määritetään vedennopeus kussakin pisteessä ja piirretään jokaista pystysuoraa vastaava nopeuskuvio. Nopeuskuvioiden aloja vastaavat janat piirretään perussuoralta lähtien mittauspystysuorien kohdalle. Janojen päätepisteet yhdistetään uoman muotoa myötäilevällä viivalla. Syntyneen kuvion ala edustaa mitattua virtaamaa. Jos uoman poikkileikkauksen mittakaava on 1 : m, nopeuskuvion alan mittakaava 1 : n ja virtaamakuvion ala = A, on virtaama $Q = m \cdot n \cdot A$ (kuva 5.13).

$$F = 2.440 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.23 \text{ m}^3/\text{s}$$


97

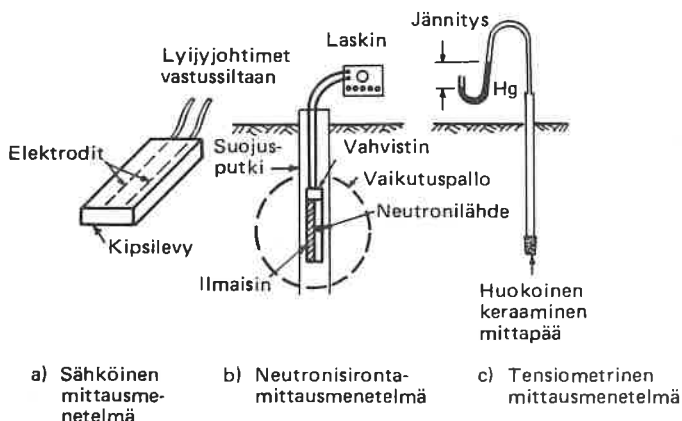
5.14 Maaperän vesi- ja routahavainnot

Maankosteuden määrittämisessä on kysymys yhtäältä vesipitoisuuden ja toisaalta maaveden irroittamiseksi tarvittavan energian suuruuden mittaamisesta. Menetelmillä voidaan tähdätä jomman kumman ominaisuuden määrittämiseen, mutta koska on olemassa tietty maalajikohtainen suhde kosteuspitoisuuden ja maavesien energiasidonnaisuuden välillä, voidaan toisen suuruus määrittää toisen suuruutta koskevien mittausten avulla.

Mittausmenetelmät voidaan ryhmitellä esimerkiksi välittömiin ja välillisiin menetelmiin.

Välittömissä menetelmissä määrittäminen tapahtuu ottamalla näyte maaperästä; poistamalla vesi näytteestä joko fysikaalisesti tai kemiallisesti ja mittaamalla veden määrä. Yleisesti käytössä olevassa ns. gravimetrisessä menetelmässä näyte kuivataan 105°C :n lämpötilassa. Gravimetrinen menetelmä on yksinkertainen, mutta suhteellisen työläs.

Välillisissä menetelmissä ei mitata suoraan vesipitoisuutta, vaan jotain muuta maan kosteussuhteita ilmentävää ominaisuutta. Välillisiä menetelmiä ovat mm. sähköiseen vastukseen ja kapasitanssiin, maaveden jännitykseen (tensiometrit) ja radioaktiiviseen säteilyyn perustuvat menetelmät (kuva 5.14). Välillisten menetelmien käyttö edellyttää yleensä, että havaitun ominaisuuden ja maankosteuden välinen yhteys on pistekohtaisesti määrätty suorittamalla riittävä määrä samanaikaisia välittömiä mittauksia (vrt. vedenkorkeuden ja virtaaman mittaus).

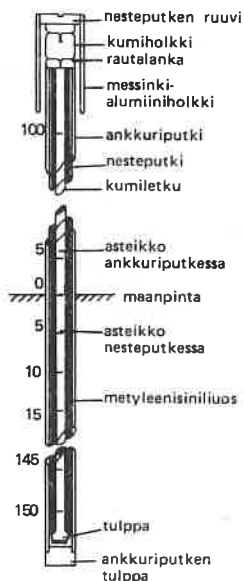


Kuva 5.14. Maankosteuden mittaamiseen käytettyjä menetelmiä.

Nykyään maankosteuden mittaus tapahtuu yleisimmin ns. neutronimittarilla. Neutronimittausta varten maahan on lyötävä putki, johon mittarin sondi lasketaan. Sondissa on radioaktiivinen säteilijä, joka lähettää ympäristöönsä nopeita neutroneja. Neutronit menettävät runsaasti nopeuttaan, kun ne törmäävät vetyatomeihin ja hidastuneiden neutronien määrä mitataan sondissa olevalla ilmaisijalla. Kun suurin osa maassa olevista vetyatomeista on maavedessä, vallitsee mittarin impulssilukeman ja maankosteuden välillä tietty yhteys ja kun ko. yhteys tunnetaan, voidaan maan sisältämä vesimäärä saada selville.

Routakerroksen paksuutta on aiemmin mitattu routaraudalla tai -piikillä. Routarauta on noin 15 mm paksu teräväkärkinen terästanko, johon on jyrsitty 5 mm leveä ja 6 mm syvä ura. Routarauta painetaan tai lyödään maahan routakerroksen läpi ja kiertämällä rautaa maanäyte leikkautuu uraan, josta suoraan voidaan nähdä jäätyneen maakerroksen paksuus. Routapiikillä voidaan mitata vain pieniä roudansyvyysiksi. Piikki painetaan maahan ja pienentyneestä vastuksesta voidaan tunnistaa jäätyneen kerroksen alaraja.

Nykyään routamittaus tehdään yleensä metyleenisiniputkea käyttäen (kuva 5.15). Tämä mittautapa perustuu siihen, että tislattuun veteen liuotettu metyleenisini muuttuu maahan asennetussa routaputkessa väriltömäksi veden jäätyessä. Routakerroksen ylä- ja alaraja voidaan lukea nostamalla putki maasta ja katsomalla värin muutoskohdat.



Kuva 5.15. Routamittari.

Pohjaveden korkeuden vaihtelujen seuraamiseen käytetään pohjavesiputkia. Ko. putket ovat yleensä rautaputkia, joiden alapää on rei'itetty.

Pohjaveden virtausnopeutta ja virtaussuuntia selvitetään joko havainnoimalla pohjaveden korkeutta useasta pisteestä tai käyttämällä merkkiaineita, joina tulevat kyseeseen erilaiset suolat, väriaineet ja radioaktiiviset isotoopit.

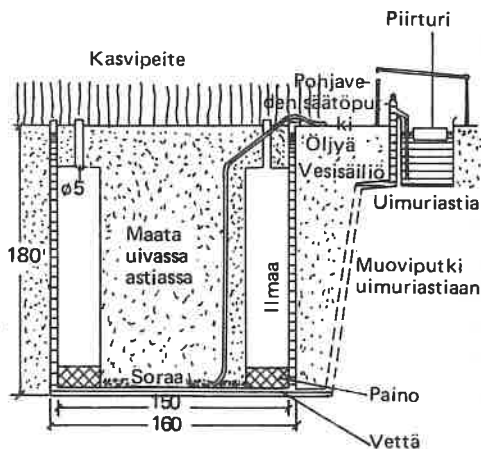
Pohjavesiesiintymän antoisuuden luotettava arviointi edellyttää yleensä koepumppauksen suorittamista. Koepumppauspaikkaan lyödään yksi tai useampia koepumppausputkia ja pohjavesialueelle riittävä määrä pohjavedenkorkeuden havaintoputkia. Pumppaus tulisi ajoittaa ajankohtaan, jolloin pohjaveden muodostuminen on vähäisintä. Yleensä suositeltavinta olisi suorittaa koepumppaus joko kevättalvella tai keskikesällä. Johtopäätökset esiintymän antoisuudesta tehdään pumputun vesimäärän ja havaintoputkissa todettujen vedenkorkeusvaihtelujen perusteella.

5.15 Haihdunnan määrittäminen

Vesistöalueelta tapahtuvaa vuosihaihduntaa voidaan luotettavimmin mitata havainnoimalla sadantaa ja valuntaa ja laskemalla näiden erotus. Kun havaintosarjat ovat useiden vuosien mittaisia, ei varastoitumisen vaikutusta tarvitse ottaa huomioon.

Haihdunnassa esiintyvien vaihtelujen selvittämiseksi mittauksia suoritetaan lysimetrejä ja haihtumisastioita käyttäen.

Lysimetrit (kuva 5.16) ovat maalla täytettyjä astioita, joiden läpi suodautuneen sadeveden määrä voidaan mitata ja joissa tapahtuvat kosteuden muutokset voidaan tavalla tai toisella määrätä.

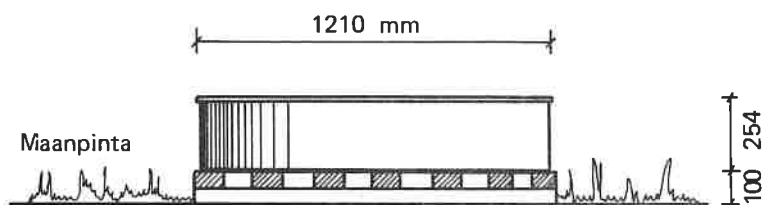


Kuva 5.16. Lysimetri.

Lysimetrin pinta-alan tulisi olla useita neliömetrejä, syvyyden 1...2 metriä ja lysimetrin pinnan ympäristönsä kaltainen.

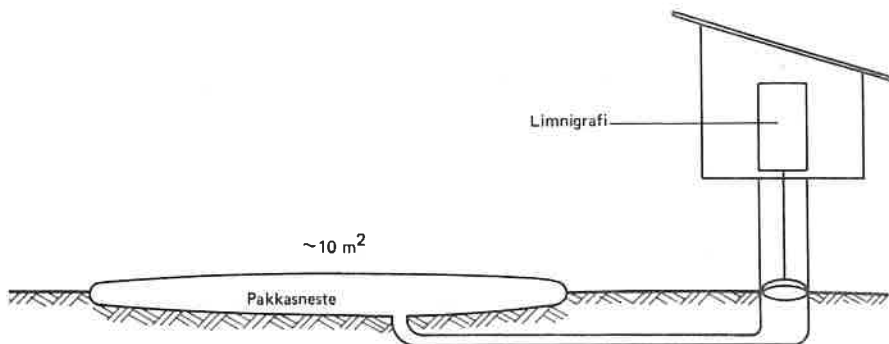
Järvistä tapahtuvan haihdunnan määrittämiseen on vesitasemenetelmä verrattain käyttökelpoinen, mikäli järvi on valuma-alueeseensa nähden suurehko. Edellytyksenä on lisäksi, etteivät pohjavesivirtaukset järveen ja järvestä ole merkittäviä.

Toisena järvihaihdunnan mittaamistapana tulevat kyseeseen joko ankkuroidulle lautalle tai maalle asetetut haihtumisastiat, joista maalle asetetut antavat järvihaihdunnasta ainoastaan karkeahkoja likiarvoja. Yleisin Suomessa käytetty astia on ns. Class A -haihtumisastia (kuva 5.17). Class A-astiasta saadut arvot eivät kuvaa suoraan todellista haihduntaa, vaan ne on kerrottava tietyillä kertoimilla. Kesäaikana kerroin on keskimäärin 0.7. Haihdunta-astioista saatujen arvojen perusteella voidaan tehdä likimääräisiä arvioita myös potentiaalisen evapotranspiraation suuruudesta.



Kuva 5.17. Class A haihtumisastia.

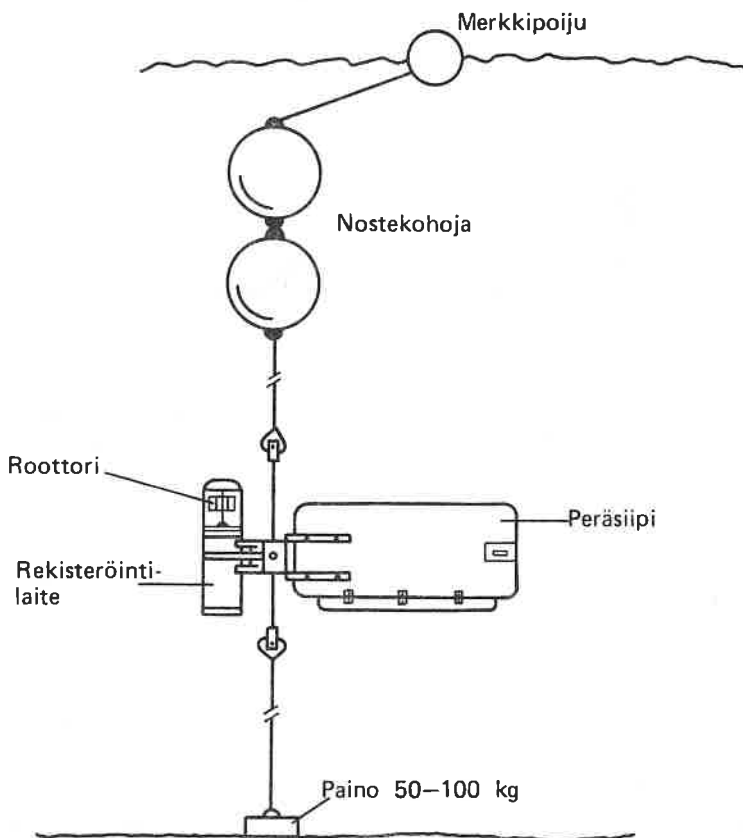
Lumen pinnasta tapahtuvan haihdunnan määrittämiseksi on Suomessa käytetty mm. lumityynyä (kuva 5.18) ja erilaisia haihtumisastioita.



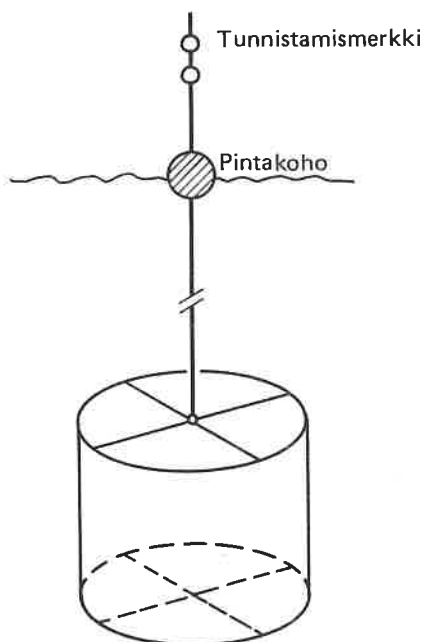
Kuva 5.18. Lumityyny.

5.16 Järvivirtausten havainnointi

Jatkuvasti virtauksia rekisteröivät mittarit koostuvat tavallisesti potkurista tai roottorista, joka mittaa virtauksen nopeuden ja peräsiivestä, joka osoittaa virtauksen suunnan. Lisäksi mittareihin kuuluu kello ja kompassi sekä tiedonkeruujärjestelmä, joka on esimerkiksi magneettinauha tai filmi. Pie-nimmät mitattavissa olevat nopeudet ovat yleensä 2...3 cm/s. Jatkuvatoimisen mittarin asennus vesistöön suoritetaan kuvan 5.19 osoittamalla tavalla. Hetkellisen virtaustilanteen selville saamiseksi voidaan käyttää esimerkiksi uimuria (kuva 5.20).



Kuva 5.19. Jatkuvatoiminen virtausmittari.



Kuva 5.20. Uimuri.

Uimuri on kankaasta tai muovista valmistettu lieriö, joka upotetaan painon avulla haluttuun syvyyteen. Lieriö riippuu pintapoijun varassa, jonka liikettä voidaan rekisteröidä joko ankkuroidusta veneestä arvioimalla kompassin ja kellon avulla suuntaa ja nopeutta tai seuraamalla poijun rannalta käsin. Tällöin poijujen aseman määrittämiseen käytetään esimerkiksi teodoliitteja. Myös tutkan käyttö voi tulla kyseeseen.

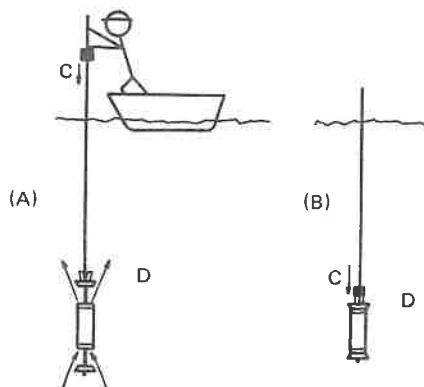
Käyttökelpoisen mahdollisuuden virtausten seurantaan tarjoavat merkkiaineet. Merkkiaineina voidaan käyttää erilaisia suoloja, väriaineita (mm. rodamiini) ja radioaktiivisia aineita.

5.17 Veden laadun havainnointi

Veden laatua kuvataan fysikaalisilla, kemiallisilla ja biologisilla vedenlaatu-parametreilla. Ne määritetään joko suoraan kentällä tai yleisimmin analysoimalla laboratoriossa kentällä otettuja vesinäytteitä.

Vesinäytteiden otto edellyttää sopivaa näytteenottovälineistöä. Yleisin näytteenottolaite on ns. Ruttner -noudin (kuva 5.21). Ruttner-noudin muodostuu kovamuoviputkesta, jonka päät sulkeutuvat tiiviillä kansilla laitteen oman

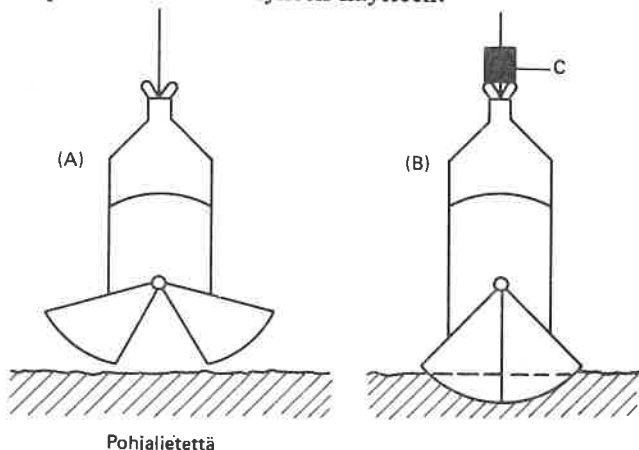
painon vaikutuksesta. Noutimen sisällä on lämpömittari ja pohjassa suljettava letku, josta näyte juoksutetaan näytepulloon.



Kuva 5.21. Ruttner-noudin.

Putkinoutimia käytetään pystysuorien yhtenäisten profiilinäytteiden ottoon. Putkinoutimet, joista yleisimmät ovat 1 m ($\phi 10$ cm) ja 2 m ($\phi 4$ cm) pituisia, ovat yksinkertaisilla jousiläpillä päistään suljettavia kovamuoviputkia.

Sedimenttien ottamiseen käytetyistä välineistä yleisin on yksinkertainen painoilla varustettu putki, joka lasketaan pystysuoraan lietteeseen. Pohjaeläimistön tutkimisessa käytetään Ekman -noudinta (kuva 5.22), joka ottaa sedimentin pintaosista häiriintyneen näytteen.



Kuva 5.22. Ekman-noudin.

Vesinäytteistä tehtävistä analyyseistä tavanomaisimmat käyvät ilmi kuvassa 5.23 esitetyistä analyyasilomakkeesta.

Vesipiri	01 Hev	Havaintopaikka		Lempansån 3	
Pvm	17/ 10 1977 - Klo 13.00				
Koordinaatit	2 - 668222 - 50716	Kokonaissyvyys	001 0 m	Virtaama	m ³ /s
Vesistöalue	22.00 Siuntionjoki	Näkösyvyys	008 dm	Vedenkorkeus	
Kunta	428 Iohjan mlk	Ilman lämpötila	10 °C	Näytteet otti	V-mk, lp
Tutkimuslaitos	50 TKK/Vesitalab.	Pilvisyys	8 /8	Analysoidut	ak, am, mr, hs
Asteikkonumero		Tuuli	1 m/s 09 O°		
Tutkimus	Siuntionjoen	Jää	00 dm	Tarkisti	
vesistön yhteistarkkailu		Lumi	00 dm		
Lab. n:o		ATK	ATK	ATK	ATK
(Alku)syvyys			0005 0.5		
Loppusyvyys					
t°C	00.1 °C	040	072 7.2		
O ₂	00.1 mg/l	017	093 9.3		
O ₂	001. % kyll.	018	079 79		
CO ₂	0.1 x 10 ³ mg/l	019			
Sameus, Hach	01 x 10 ³ FTU	076	122 12		
Kiintoaine	0.1 x 10 ³ mg/l	028	101 10		
γ ₂₅	0.1 x 10 ³ m S/m	084	261 26		
Alkaliniteetti	0.01 mval/l	002			
pH	001	051	072 7.2		
Väri	01. x 10 ³ mgPt/l	085	900 90		
Scan H KHT	0.1 x 10 ³ mg/l O ₂	026	161 16		
BHT	0.1 x 10 ³ mg/l	008	400 4		
Kok N	01. x 10 ³ µgN/l	036	362 3600		
NO ₃ -N	01. x 10 ³ µgN/l	048			
NH ₄ -N	01. x 10 ³ µgN/l	004			
Kok P	01. x 10 ³ µgP/l	032	201 200		
Cl	0.1 x 10 ³ mg/l	030	221 22		
Fe	01. x 10 ³ µg/l	053	232 2300		
Mn	01. x 10 ³ µg/l	041			
Lignosulfonaatti	0.1 x 10 ³ mgNaLS/l	045			
Enterokokit	01. x 10 ³ kpl/100 ml	068	162 1600		
Kolimuot.	°C 01. x 10 ³ kpl/100 ml				
Sulfaatti	0.1 x 10 ³ mg/l	058			
Kromi	01. x 10 ³ µg/l	034			

Kuva 5.23. Analyysituloslomake.

5.2 Tilastollisia käsittelytekniikkoja

5.21 Käsittelyn päämäärät

Vesistöhavaintojen teko ei luonnollisesti ole itsetarkoitus, vaan kerätyllä havaintoaineistolla pyritään osaltaan tarkentamaan ihmisen käsitystä ympäristöstään. Havaintojen määrän kasvaessa ihmisen kyky tehdä relevantteja johtopäätelmiä pelkästään mittauksista tarkastelemalla vähenee nopeasti ja tästä syystä on kehitetty eri tilanteisiin soveltuvia aineiston käsittelytekniikkoja, joita käyttäen ratkaistavien ongelmien kannalta oleelliset seikat saadaan esiin. Käsittelyn tuloksena on todellisuutta kuvaava malli, johon ongelman ratkaisu voidaan perustaa. Käsittelyllä voidaan tähdätä yleispäteviin malleihin tai käsittelyn tarkoituksena on luoda malleja, jotka soveltuvat käytettäväksi ainoastaan sillä alueella, jolta havaintoaineistoa on olemassa.

Sekä havainnoinnin että havaintojen käsittelyn käynnistäjänä on yleensä vesitekninen ongelma, jota ratkaistaessa on vastattava, kuinka paljon ja minkä laatuista vettä on kulloinkin. Havainnoinnin ja havaintojen käsittelyn toisena lähtökohtana voi luonnollisesti olla myös puhdas tieteellinen mielenkiinto, jolloin pyrkimyksenä on selvittää, miten tai mistä syystä jokin tapahtuma sattuu.

Mallien päätehtävät voidaan kiteyttää seuraavasti: Ensiksikin malleilla pyritään selittämään ja kuvaamaan ilmiöitä, toiseksi niillä ennustetaan ilmiöiden käyttäytymistä tulevaisuudessa ja kolmanneksi, niiden avulla koetetaan polarisoida ajatukset ja ideat sellaisiksi, että oleelliset kysymykset ja ongelmat saataisiin esiin ja ratkaistuiksi.

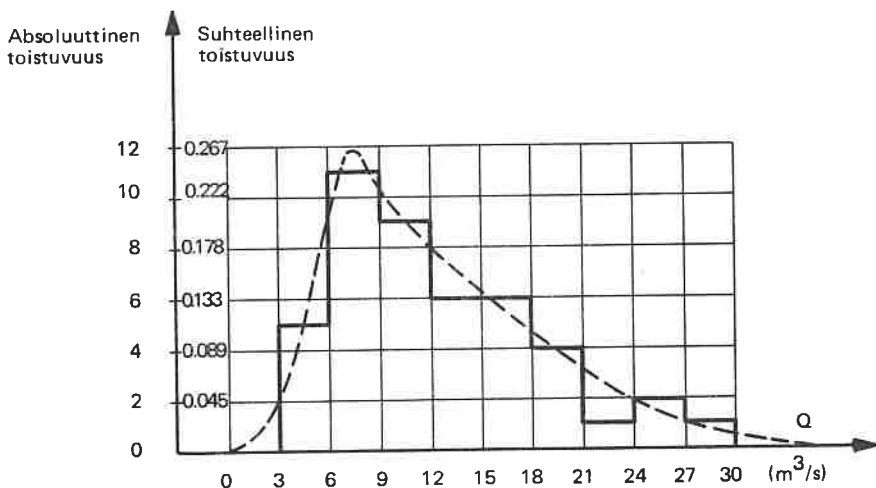
Hydrologiset ongelmat ovat tyypiltään sellaisia, että niiden ratkaisuihin tilastollisilla käsittelytekniikoilla on merkittävä osuus. Seuraavassa käsitellään lyhyesti eräitä yleisimpiä käsittelytapoja.

5.22 Todennäköisyys ja tilastolliset jakaumat

Useille hydrologisille suureille on luonteenomaista satunnaisuus ja ennalta-arvaamattomuus. Esimerkiksi tulevan syyskauden sadanta, vedenkorkeuden maksimiarvo tulevana vuonna tai jäiden lähtöpäivämäärä tulevana keväänä ovat suureita, joista ennalta voidaan esittää vain arvioita. Toisaalta tällaisista ilmiöistä on kertynyt tietoja aikaisemmilta vuosilta hyvinkin runsaasti, ja näiden tietojen valossa edellä esitetyt suureet ovat ainakin jollakin tarkkuudella ennustettavissa. Tulevien tapahtumien ennustamiseen ilmiöstä aikaisemmin saatujen havaintojen nojalla soveltuvat todennäköisyyslaskenta ja tilastolliset menetelmät erittäin hyvin.

Tällaisia ennalta-arvaamattomia numeroarvoisia ilmiöitä kuvataan todennäköisyyslaskennassa satunnaissuureilla. Satunnaissuureen ominaisuudet ilmoittaa satunnaissuureen tiheysfunktio (eli frekvenssifunktio), joka karkeasti ottaen ilmoittaa, millä todennäköisyydellä satunnaissuure kunkin arvonsa saa.

Hydrologisissa vuosikirjoissa esitetään mm. virtaamien kuukausikeskiarvot. Esimerkiksi eräältä virtaamamittauspaikalta on käytettävissä tiedot 45 havaintovuodelta. Kun tarkastellaan toukokuun virtaamia, havaitaan, että pienin virtaama-arvo on $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ja suurin $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Luokitellaan virtaama-aineisto jakamalla kuukausikeskiarvot kymmeneen tasaväliseen luokkaan siten, että ensimmäiseen kuuluvat virtaamat välillä $0...3 \text{ m}^3/\text{s}$, toiseen virtaamat välillä $3...6 \text{ m}^3/\text{s}$ ja viimeiseen virtaamat välillä $27...30 \text{ m}^3/\text{s}$. 45 vuoden arvoista lasketaan, kuinka monta kappaletta toukokuun keskivirtaamia sattuu kuhunkin väliin. Tuloksena saadaan kuvassa 5.24 esitetty histogrammi (porraskuvio). Histogrammista nähdään esimerkiksi, että 11 kertaa 45 vuoden aikana toukokuun keskivirtaama on ollut välillä $6...9 \text{ m}^3/\text{s}$. Yleensä näin saadun "absoluuttisen toistuvuuden" asemesta käytetään "suhteellista toistuvuutta", joka saadaan jakamalla luokan sisältämien havaintojen lukumäärä havaintojen kokonaislukumäärällä.



Kuva 5.24. Virtaaman toistuvuus (tiheysfunktio).

$$f(6 \leq Q < 9) = 11/45 = 0.244 \quad (5.1)$$

Jos annetaan Q :n vaihdella välillä $[-\infty, \infty]$, havaintovuosien lähestyvä ääretöntä ja luokan leveyden nollaa, muuttuu histogrammi tiheysfunktioiksi.

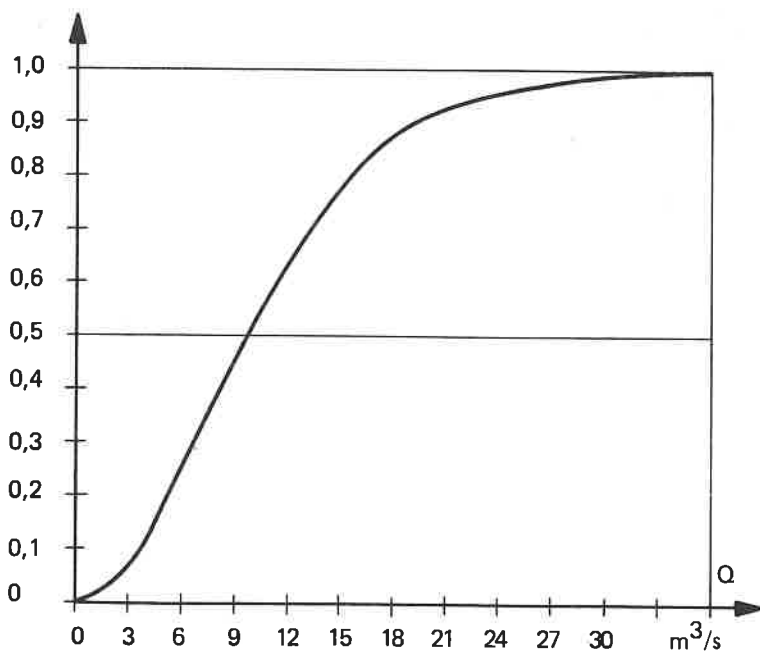
Edellä mainittiin, että tiheysfunktio ilmoittaa karkeasti ottaen, millä todennäköisyydellä satunnaissuure kunkin arvonsa saa. Täsmällisesti sanottuna

todennäköisyys sille, että satunnaissuureen arvo osuu jollekin välille, esimerkiksi Q :n arvo välille $6 \dots 9 \text{ m}^3/\text{s}$, saadaan laskemalla tiheysfunktion tähän väliin alleen sulkema pinta-ala. Tiheysfunktion alleen sulkeman pinta-alan koko suuruus on yksi.

Tiheysfunktion $f(s)$ käyttö ei ole ainoa mahdollisuus kuvata satunnaissuureen jakautumista. Rinnan tiheysfunktion kanssa käytetään kertymäfunktioita (jakautumafunktioita, summafunktioita) $F(s)$. Kertymäfunktion ja tiheysfunktion välillä vallitsee kääntäen yksikäsitteinen yhteys: Kertymäfunktio on tiheysfunktion integraali ja tiheysfunktio on kertymäfunktion derivaatta:

$$F'(s) = f(s) \quad (5.2)$$

Kuvassa 5.25 on esitetty käsitellyn esimerkin kertymäfunktio.



Kuva 5.25. Virtaaman kertymäfunktio.

Tiheys- ja kertymäfunktion ominaisuuksia voidaan kuvata tietyillä tilastollisilla tunnusluvuilla. Tärkeimmät näistä ovat keskiarvo ja keskihajonta.

Keskiarvo (eli odotusarvo) kertoo nimensä mukaisesti satunnaissuureen keskiarvon, kun se on laskettu tiheysfunktioilla painottaen:

$$m(S) = \int_{-\infty}^{\infty} s f(s) ds \quad (5.3)$$

Jos tiheysfunktioilla ei ole matemaattista muotoa, integrointi voidaan suorittaa numeerisesti tai jos tiheysfunktio on saatu havainnoista, keskiarvo saadaan laskemalla havaintojen aritmeettinen keskiarvo. Satunnaissuureen keskiarvo kuvaa juuri havaintoaineiston odotettavissa olevaa keskiarvoa, ja kääntäen havaintoaineiston keskiarvo antaa likiarvon tiheysfunktion todelliselle keskiarvolle.

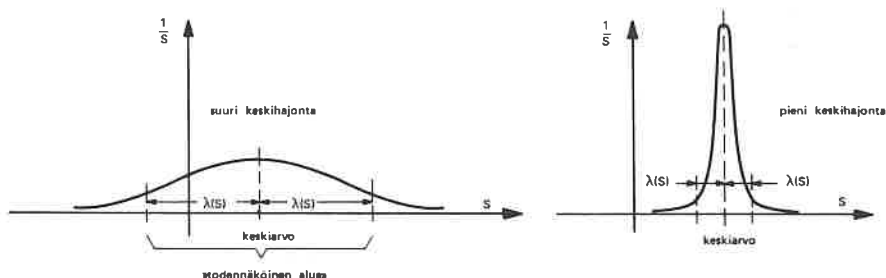
Keskihajonta (eli varianssi) puolestaan mittaa, miten laajalle satunnaissuureen arvot leviävät keskiarvonsa ympärille. Keskihajonta on satunnaissuureen arvon ja sen keskiarvon välisen erotuksen neliön keskiarvo:

$$\delta^2(S) = \int_{-\infty}^{\infty} [s - m(S)]^2 f(s) ds \quad (5.4)$$

Erotus korotetaan neliöön, jotta erimerkkiset poikkeamat keskiarvosta eivät kumoaisi toisiaan. Erotuksen itseisarvon käyttö toisen potenssin asemesta saattaisi olla loogisempaa, mutta se johtaisi tarpeettoman suuriin laskennallisiin vaikeuksiin.

Ellei tiheysfunktioilla ole matemaattista muotoa, integrointi voidaan suorittaa graafisesti tai numeerisesti. Varianssi voidaan myös laskea suoraan havaintoaineistosta: jokaisesta havainnosta vähennetään havaintojen keskiarvo, erotukset korotetaan toiseen ja lasketaan neliöiden aritmeettinen keskiarvo.

Jos keskihajonta on suuri, satunnaissuureen arvot ovat levinneet laajalle keskiarvonsa ympärille, ja tiheysfunktion kuvaaja on matala ja laakea. Jos keskihajonta taas on pieni, satunnaissuureen arvot ovat keskittyneet tiiviisti keskiarvonsa ympärille ja tiheysfunktion kuvaaja on korkea, terävä pulssi. Eri vaihtoehtoja esittelee kuva 5.26.



Kuva 5.26. Keskihajonnan suuruuden vaikutus tiheysfunktion yleiseen muotoon.

Keskihajonnan ohella käytetään myös sen neliöjuurta: standardipoikkeamaa $\lambda(S)$.

$$\lambda(S) = \sqrt{\delta^2(S)} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} [s - m(S)]^2 f(s) ds} \quad (5.5)$$

Standardipoikkeamalla on sama dimensio kuin satunnaissuureen arvoillakin ja usein erotetaan tiheysfunktion kuvaajassa keskiarvon molemmille puolille standardipoikkeaman verran ulottuva alue kuvaamaan satunnaissuureen ”todennäköistä aluetta”.

Usein on perusteltua käyttää jotakin vakiomuotoista matemaattista funktiota satunnaissuureen tiheysfunktiona. Joskus tiheysfunktiona voidaan käyttää nk. normaalitiheysfunktiota.

$$f(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \delta^2} e^{-\frac{(s-m)^2}{2\delta^2}} \quad (5.6)$$

Tiheysfunktion kuvaaja on nk. Gaussin kellokäyrä.

Vastaava kertymäfunktio on nimeltään normaalijakautuma (funktio):

$$F(s) = \int_0^s \frac{1}{\sqrt{2\pi} \delta^2} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\delta^2}} dt \quad (5.7)$$

Esiintyvää integraalia ei voi esittää suljetussa muodossa. Jos lasketaan normaalisti jakautuneen satunnaissuureen keskiarvo ja keskihajonta, saadaan tulokset:

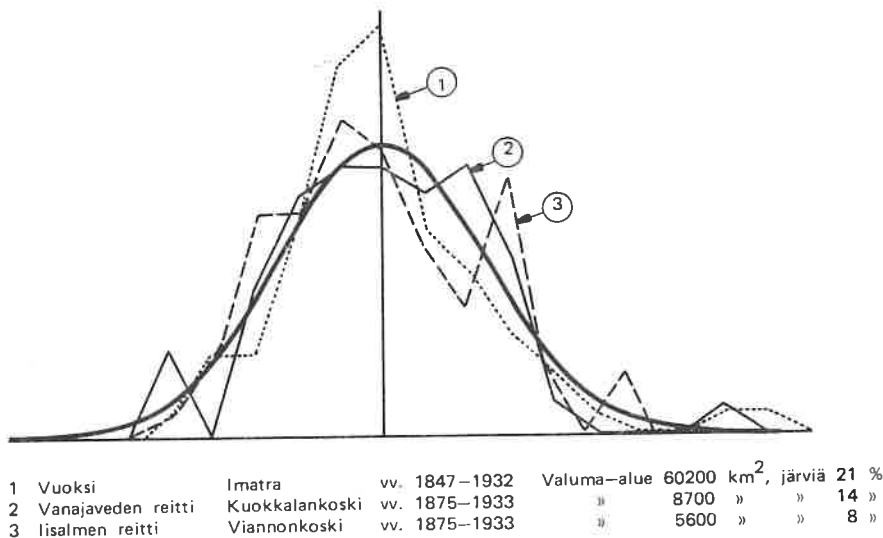
$$m(S) = m, \delta^2(S) = \delta^2 \quad (5.8)$$

Itse asiassa jakautuma on valmiiksi kirjoitettu siihen muotoon, että vapaat parametrit ovat juuri keskiarvo ja keskihajonta.

Se seikka, että useasti satunnaissuureen havainnoista laadittu histogrammi noudattaa hyvin tarkasti Gaussin käyrää, selittyy todennäköisyyslaskennan kenties kuuluisimmalla raja-arvolailalla: nk. keskeisellä raja-arvolauseella. Lauseen mukaan satunnaissuure, joka on hyvin monen keskenään suunnilleen samankokoisen toisistaan riippumattoman tekijän summa, on suunnilleen normaalisti jakautunut.

Kuvassa 5.27 on verrattu eräiden vesistöjen vuoden suurimpien tulvien jakaantumista osoittavia murtoviivoja Gaussin ”kellokäyrään”. Kuvasta havaitaan, että jokaisessa vesistössä jakaantumista esittävien murtoviivojen kulku on normaalikäyrää muistuttava. Havaintosarjojen tulisi olla pitempiä,

jotta välttyttäisiin murtoviivojen jyrkistä taitteista. Suoritetusta vertailusta käy kuitenkin ilmi hydrologisille ilmiöille tyypillinen ominaisuus: jakaantummat ovat useasti epäsymmetrisiä. Tästä syystä normaalijakautuma soveltuu harvoin hydrologisten ilmiöiden kuvaamiseen. Usein parempaan vastaavuuteen päästään jollain toisella jakautumatyyppillä, joista mainittakoon eksponentiaalijakautuma, log-normaalijakautuma ja gammajakautumat.



Kuva 5.27. Vuoden suurimpien virtaamien jakaantuminen eräissä vesistöissä. Vertailu normaalijakaumaan.

5.23 Toistuvuus, toistumisaika ja pysyvyys

Hydrologisessa havaintosarjassa sattuvan tapahtuman, esimerkiksi yli- tai alivirtaaman, toistuvuus saadaan selvitetyn, kun käytetään hyväksi todennäköisyyslaskentaan perustuvaa toistuvuusanalyysia.

Yleisimmin toistuvuusanalyysi suoritetaan Gumbelin menetelmällä, joka perustuu ns. äärimmäisten arvojen jakaumaan. Toistuvuuden määrittäminen käy helposti tarkoitusta varten tehtyä valmista todennäköisyyspaperia käytäen. Paperin abskissa-asteikko on tehty äärimmäisten arvojen jakauman mukaiseksi ja ordinaatta-asteikko, joka ilmaisee käsitettävän hydrologisen suureen, on tasavälinen.

Toistumisaika T_T lasketaan Gumbelin menetelmästä kaavalla (5.9).

$$T_r = \frac{n + 1}{m} \quad (5.9)$$

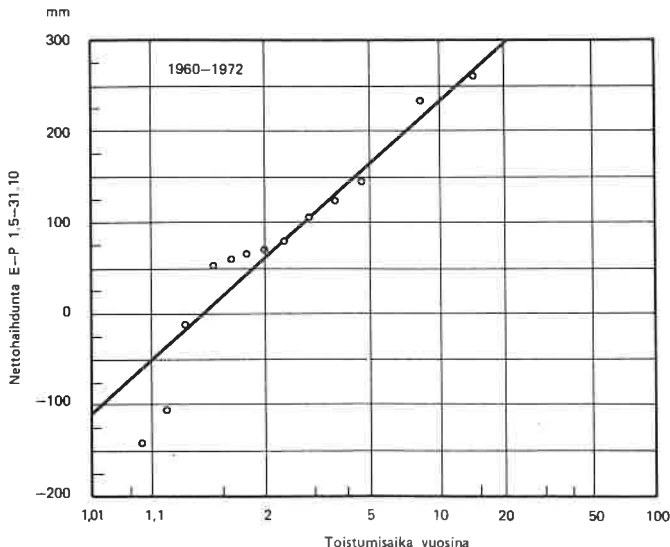
m = ko. tapauksen järjestysluku
 n = havaintojaksojen lukumäärä

Jos havaintojakson pituus on esimerkiksi 30 vuotta ja halutaan selvittää ylivaluman toistuvuutta, tulee suurimman arvon toistumisaajaksi 31 vuotta, toiseksi suurimman 15,5 vuotta, kolmanneksi suurimman 10,3 vuotta jne. Jokainen arvo sijoitetaan toistumisaikansa edellyttämään paikkaan todennäköisyyspaperille, ja pisteiden kautta piirretään silmävaraisesti suora tai käyrä.

Monet hydrologiset suureet esimerkiksi ylivalumat, ylivedenkorkeudet ja keskivalumat muodostavat suoran Gumbelin paperilla. Alivalumat sensijaan ovat esimerkkejä hydrologista suureista, jotka eivät yleensä tällä jakauma-paperilla asetu samalla suoralle.

Toistumisaika T_r ilmaisee, kuinka pitkän ajan kuluttua keskimäärin tietty tapausluokka toistuu. Toistumisaajan käänteisluku on toistuvuus. Toistuvuus ilmoitetaan tavallisesti prosentteina, ja se ilmaisee, kuinka suurella todennäköisyydellä tapahtuma sattuu joka vuosi.

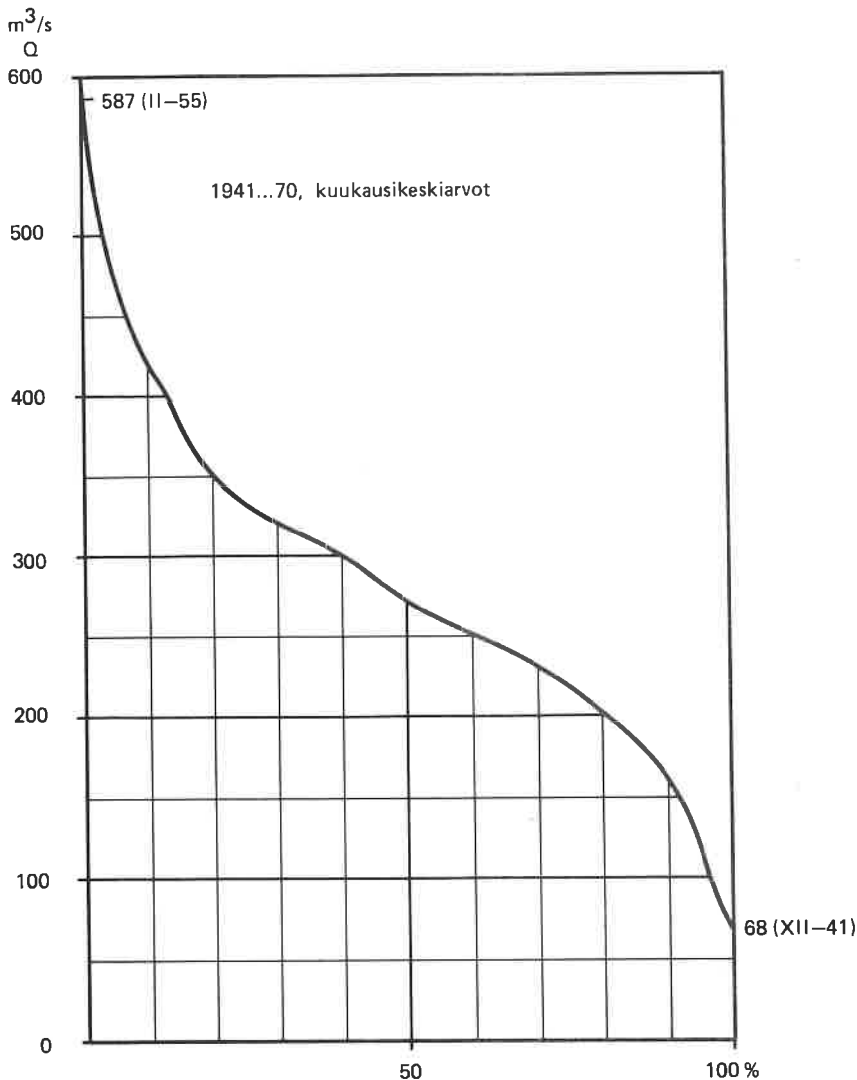
Kuvassa 5.28 on esitetty esimerkkinä toistuvuusanalyysin käytöstä järvi-haihdunnan ja sadannan erotuksen toistuvuus Säkylän Pyhäjärvässä.



Kuva 5.28. Järvi-haihdunnan ja sadannan erotuksen toistuvuus Säkylän Pyhäjärvässä vuosina 1960...72 tehtyjen havaintojen perusteella.

Hydrologisen suureen vaihteluja voidaan esittää ns. pysyvyyskäyrillä. Pysyvyyskäyrä on lukuisuuden summakäyrä, joka osoittaa esimerkiksi prosentteina, kuinka suuren osan tietyistä aikajaksosta hydrologisen suureen arvo on yhtä suuri tai suurempi kuin jokin tietty arvo.

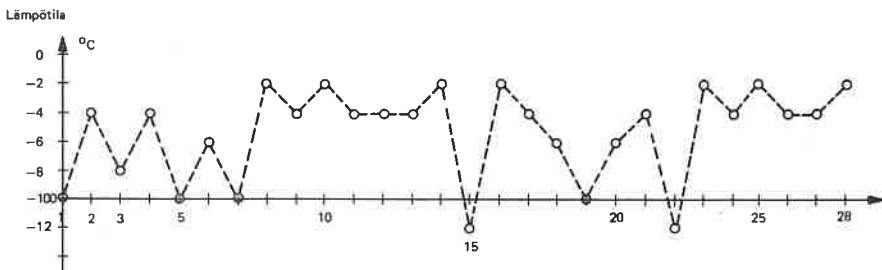
Esimerkkinä pysyvyyskäyristä on esitetty kuvassa 5.29 virtaaman pysyvyys Kuusankoskella 1941...70.



Kuva 5.29. Virtaaman pysyvyys Kuusankoskella.

5.24 Aikasarjojen analysointi

Aikasarjaksi kutsutaan jonkun satunnaissuureen, esim. vuotuisen sadannan, perättäisten havaintojen muodostamaa sarjaa. Kuvassa 5.30 on esitetty erään helmikuun päivälämpötilojen muodostama aikasarja.



Kuva 5.30. Helmikuun päivälämpötilojen muodostama aikasarja.

Aikasarjojen analysoinnilla pyritään selvittämään paitsi aikasarjan muodostavan satunnaissuureen jakautumaominaisuuksia (jolloin arvojen perättäisellä järjestyksellä ei ole mitään väliä) myös satunnaissuureen ajalliseen käyttäytymiseen liittyviä piirteitä sekä ennustamaan satunnaissuureen tulevia arvoja.

Yleensä aikasarjoissa on havaittavissa neljä eri komponenttia:

- 1) trendi,
- 2) säännöllinen kausivaihtelu,
- 3) jaksollinen satunnaisvaihtelu,
- 4) puhdas satunnaisvaihtelu.

Pyrittäessä ennustamaan aikasarjan tulevaa käyttäytymistä nämä neljä komponenttia on pystyttävä tunnistamaan siitä.

Trendillä tarkoitetaan hitaasti vaikuttavaa, säännöllistä, helposti ennustettavaa muutosta. Esimerkinä voidaan mainita maan kohoamisen vaikutus järvien pinnan korkeuteen tai vaikkapa yleisen elintason kohoamisen vaikutus vuodessa lunastettujen väritelevisiolupien määrään.

Trendi on hahmoteltavissa aikasarjoihin usein jo silmämääräisesti. Trendin laskemiseen on olemassa myös lukuisia vaihtoehtoisia matemaattisia menetelmiä. Jo edellä on esiintynyt liukuvan keskiarvon käyttö (kuva 3.12). Kuvan 5.30 esimerkissä saadaan trendi viidennen päivän kohdalla seitsemän pisteen liukuvaa keskiarvoa käyttämällä kaavasta (5.10).

$$t_5 = \frac{1}{21} (-2a_2 + 3a_3 + 6a_4 + 7a_5 + 6a_6 + 3a_7 - 2a_8) \quad (5.10)$$

Tässä t_5 on trendi viidennen päivän kohdalla ja luvut a_i lämpötilahavainnot alaindeksin osoittamana päivänä. Painokertoimet $-2, 3, 6, 7, 6, 3, -2$ on valittu siten, että menetelmä erottaisi mahdollisimman korkeaa astetta olevan polynomin muotoisen trendin täsmällisesti. Seitsemän pisteen kaavalla päästään kolmannen asteen polynomiin.

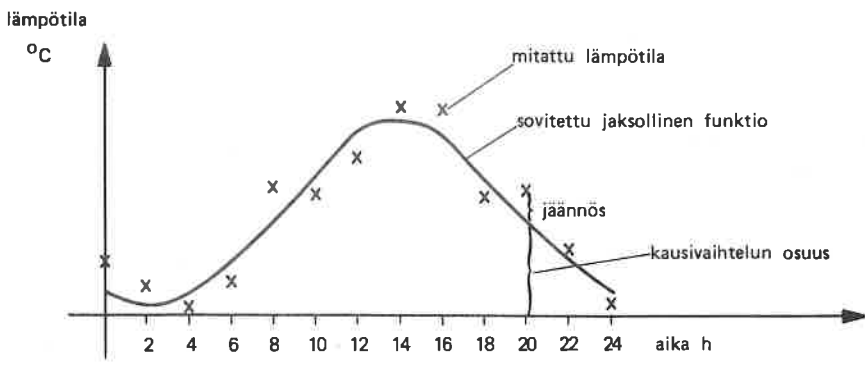
Trendi lasketaan sitten kaikissa pisteissä $t_1 \dots t_{28}$, ja kun aikasarjan luvuista $a_1 \dots a_{28}$ vähennetään trendi, on jäljelle jäävässä aikasarjassa enää kolme komponenttia jäljellä.

Trendin määrittäminen on jossakin määrin subjektiivinen tapahtuma. Milloinkaan ei voida täysin kiistattomasti sanoa, mikä osa vaihtelusta kuuluu pitkäaikaiseen trendiin ja mikä osa taas muihin lyhytaikaisempiin vaihteluihin. Tämän johdosta trendin määrittämiseksi on esitetty varsin monia eri menetelmiä. Periaatteena trendin erottamisessa kuitenkin on, että liukuvalla keskiarvolla tai muulla hyvin tasoittavalla menetelmällä kaikki nopeatempoiset vaihtelut pyritään häivyttämään siten, että vain trendi jää jäljelle.

Kuvan 5.30 esimerkissä trendiksi saadaan eri menetelmillä vain vaakasuora viiva. Näin tulee ollakin, sillä helmikuun päivälämpötilojen muodostamassa aikasarjassa ei mitään trendiä ole odotettavissa. Päivät tosin lämpenevät keskimääräisesti hieman kuun loppua kohti edetessä, mutta lämpötilan nousu on niin vähäistä, että se ei näy yhden kuukauden pituisessa havaintosarjassa.

Säännöllisellä kausivaihtelulla tarkoitetaan tunnettujen ulkoisten, tiukasti jaksollisten syiden aiheuttamaa vaihtelua. Esimerkkejä on helppo löytää: vuorokaudenaikojen vaikutus päivän lämpötiloihin, vuodenaikojen vaikutus järven pinnan korkeuteen tai auringon ja kuun keskinäisen aseman vaikutus vuoroveden voimakkuuteen.

Myös säännöllisen kausivaihtelun muodostaman komponentin eristämiseen on olemassa koko joukko matemaattisia menetelmiä (joita väistämättä vaijaa tietty subjektiivisuus). Yksinkertainen tapa suhteellisen säännöllisesti (sinimuotoisesti) vaihtelevilla ilmiöillä, kuten lämpötilalla vuorokauden ajan funktiona, on sovittaa aikasarjaan sinifunktio, esim. pienemmän neliösumman mielessä mahdollisimman hyvin, ja pitää sovitetun funktion arvoja aikapisteissä säännöllisen kausivaihtelun komponenttina. Myös muut jaksolliset funktiot, kuten esim. usean eritaajuisen trigonometrisen termin summa, voidaan sovittaa havaintoaineistoon. Jaksollisen termin sovittaminen on suoritettava sarjaan, josta trendi on poistettu. Kuvassa 5.31 on hahmoteltu aikasarja ja sen säännöllisen kausivaihtelun komponentti.



Kuva 5.31. Vuorokauden mitattu lämpötila ja sen kausikomponentti.

Kun aikasarjasta vähennetään vielä säännöllisen kausivaihtelun komponentti, jää erotettavaksi enää jaksollinen satunnaisvaihtelu.

Jaksollisen satunnaisvaihtelun osuus aikasarjassa on kaikkein vaikeimmin erotettavissa. Itse asiassa jaksollisen satunnaisvaihtelun täsmällinen määrittäminenkin on vaikeaa. Ilmiöllä tarkoitetaan kuitenkin satunnaista, muutamien vuosien välein ilmenevää, hieman eripituisin jaksoin tapahtuvaa vaihtelua esimerkiksi tulva-aikojen vedenkorkeuksissa, vuotuisissa maksimi- tai minimilämpötiloissa, jokien maksimivirtaamissa tai taloudellisissa nousu- ja laskusuhdanteissa tai vaikkapa auringonpilkkujen runsaudessa, jota ei pystytä millään rationaalisella tavalla selittämään, mutta joka on nähtävissä pitkissä aikasarjoissa. Jaksollista satunnaisvaihtelua tutkitaan korrelaatioiden avulla.

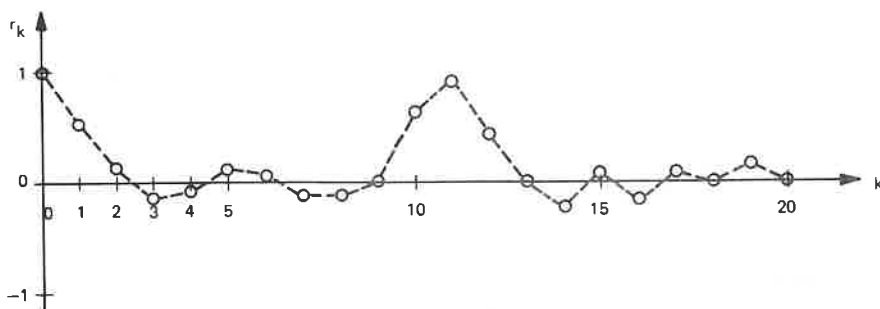
Asteen k sarjakorrelaatiolla r_k tarkoitetaan lukua, joka saadaan, kun aikasarjassa tulojen $(a_1 - m) \cdot (a_1 + k - m)$, $(a_2 - m) \cdot (a_2 + k - m)$, $(a_3 - m) \cdot (a_3 + k - m)$... aritmeettinen keskiarvo jaetaan aikasarjan varianssilla, kun m tarkoittaa aikasarjan keskiarvoa. Kaavan muodossa

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (a_i - m)(a_{i+k} - m)}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - m)^2} \quad (5.11)$$

Matemaattisesti voidaan osoittaa (nk. Schwartzin epäyhtälö), että r_k on aina lukujen $+1$ ja -1 välissä:

$$-1 \leq r_k \leq +1 \quad (5.12)$$

Kun lasketaan r_k kaikille "viiveen" k arvoille ja piirretään näistä kuvaaja, saadaan nk. korrelogrammi. Kuva 5.32 esittää erästä korrelogrammia.



Kuva 5.32. Aikasarjan korrelogrammi.

Korrelogrammin arvo kohdassa k , sarjakorrelaatio r_k , ilmoittaa karkeasti ottaen, onko k :n yksikön päässä toisistaan sijaitsevilla aikasarjan arvoilla jotakin yhteistä: ovatko ne kenties yhtä aikaa suuret ja yhtä aikaa pienet, vai vastaako suurta aikasarjan arvoa k :n yksikön päässä pieni arvo ja päinvastoin, vai ovatko k :n yksikön päässä toisistaan olevat arvot keskenään riippumattomat. Jos r_k on suuri, lähellä ykköstä, niin ensimmäinen vaihtoehto pitää paikkansa. Tällöin k :n yksikön päässä toisistaan olevilla arvoilla on keskenään positiivinen korrelaatio. Jos r_k on pieni, lähellä lukua -1, toinen vaihtoehto pätee. Tällöin k askelta erillään olevilla arvoilla on negatiivinen korrelaatio, ja suurta aikasarjan arvoa seuraa k :n askeleen päässä pieni arvo. Jos lopulta r_k on lähellä nollaa, k askelta erillään olevat arvot ovat toisistaan riippumattomat.

Jos r_k on suuri ja k :n askeleen päässä toisistaan olevat arvot positiivisesti korreloituneet, aikasarjassa on olemassa satunnaisen jaksottaisvaihtelun komponentti. Jakson pituus on juuri k askelta. Kuvan 5.32 korrelogrammi paljastaa selvästi pituudeltaan 11 yksikköä olevan jakson olemassaolon vastaavassa aikasarjassa. Viereisten arvojen, r_{10} ja r_{12} suuruus kertoo, että jakson pituus ei ole kovin täsmällisesti 11. Se vaihtelee 10 ja 12 välillä.

Arvo r_0 on aina indettisesti 1 ja arvo r_1 yleensä suurehko. Tämä ei kuitenkaan tarkoita ykkösen pituisen jakson olemassaoloa. Arvo r_0 vain pyrkii vetämään r_1 :tä kohti ykköstä. Sen sijaan ykköstä myöhemmät r_k :n arvot on jo tulkittavissa jaksolliseksi satunnaisvaihteluksi.

Korrelogrammilla voidaan siis paljastaa satunnaisen jaksottaisvaihtelun olemassaolo aikasarjassa. Satunnaisen jaksottaisvaihtelun komponentin erotta-

minen aikasarjasta on kuitenkin vaikeaa. Satunnainen jaksottaisvaihtelu on niin pahoin sekaantunut puhtaaseen satunnaisvaihteluun, että näiden kahden erottaminen on useimmiten puhdasta mielivaltaa.

Viimeinen, jo mainittukin komponentti, on puhdas satunnaisvaihtelu. Se on täysin jaksotonta sattuman leikkiä, jota ei pyritä sen enempää selittämään tai ennustamaan. Mainittakoon kuitenkin, että puhtaaksi satunnaisvaihteluksi kuvitellulle komponentille voidaan tehdä useita satunnaisuutta testavia analyyssejä.

Aikasarjan tulevaa käyttäytymistä ennustettaessa on suurta hyötyä komponentteihin hajoittamisesta. Trendiä on helppo ennustaa. Jo käsivaraisesti päästään hyvään tulokseen. Samoin kausivaihtelun osuus tulee jollakin tarkkuudella huomioon otetuksi, kun jatketaan analyttisesti aikasarjaan sovitettua jaksollista funktiota. Satunnaisen jaksottaisvaihtelun osuutta voidaan selvittää esimerkiksi simuloimalla aikasarjaa eteenpäin useita eri kertoja ja valitsemalla simulointitulosten keskiarvo. Simulointimekanismiin on sisällytettävä edelliset aikasarjan pisteet ja korrelogrammin ilmaisemat korrelaatiot. Puhdas satunnaisvaihtelu ennustetaan aina nolaksi.

Kun kolmelle ensinmainitulle komponentille on saatu ennusteet, saadaan aikasarjan ennuste laskemalla nämä yhteen.

Aikasarjan ennustamista on tutkittu paljon, ja käytettävissä on lukuisia muitakin menetelmiä.

5.25 Regressioanalyysi

Usein on tarpeen yrittää ilmaista jokin satunnaissuure toisten satunnaissuureiden funktiona. Näin on esimerkiksi silloin, kun satunnaissuureen arvojen mittaaminen on erityisen vaikeaa. Tällöin voidaan yrittää lausua vaikeasti mitattava satunnaissuure helposti mitattavien suureiden funktiona, mitata jälkimmäisten arvot ja laskea edellisen arvo saadusta funktionaalisesta yhteydestä.

Haihduntaa on vaikea mitata. Voidaan kuitenkin ajatella, että haihdunta määräytyy veden lämpötilasta, ilman lämpötilasta, ilman kyllästysvajauksesta ja tuulen nopeudesta. Tällöin voidaan kokeeksi kirjoittaa, että

$$E = a + b T_v + c T_i + d K + f V \quad (5.13)$$

Tässä E on haihdunta, T_v veden lämpötila, T_i ilman lämpötila, K ilman kyllästysvajaus, V tuulen nopeus ja a , b , c , d sekä f toistaiseksi tuntemattomia

vakioita. Yhtälöstä (5.13) havaitaan, että haihdunnalle on pyritty muodostamaan lineaarinen riippuvuus muista mainituista satunnaissuureista.

Tilastotieteen käyttämän terminologian mukaan kukin yhtälön (5.13) oikealla puolella olevista satunnaissuureista pyrkii selittämään osaltaan haihduntaa. Yhtälön (5.13) kuvaamaa yhteyttä kutsutaan haihdunnan regressiomalliksi.

Haihdunnan riippuvuutta yllämainituista (sekä mahdollisesti muistakin) hydrologisista suureista voitaisiin yrittää johtaa myös puhtaasti fysikaalisin perustein, käyttämällä hyväksi tunnettuja lämpöopin sääntöjä sekä nesteiden ja kaasujen ominaisuuksia. Lopputuloksena olisi fysikaalinen laki, joka kertoisi, miten haihdunta on johdettavissa muista fysiikan suureista. Tulos poikkeaisi suuresti kaavan (5.13) esittämästä lineaarisesta riippuvuudesta. Tällaista johdettua tulosta kutsuttaisiin deterministiseksi (tai fysikaaliseksi) malliksi.

Regressiomalli poikkeaa täydellisesti deterministisestä mallista. Regressiomalli ei välitä malliin sisältyvien suureiden keskinäisistä fysikaalisista riippuvuuksista yhtään mitään. Regressiomallissa kirjoitetaan selitettävä suure täysin mielivaltaisesti jonkin tyyppiseksi funktioksi muista suureista, ja jätetään malliin sopivasti tuntemattomia vakioita.

Saattaa tuntua yllättävältä, mutta kaikesta mielivaltaisuudesta huolimatta regressiomalli kuvaa monesti sen kohteena olevaa satunnaissuuretta varsin hyvin, kun mallissa oleville tuntemattomille vakioille onnistutaan löytämään sopivat arvot.

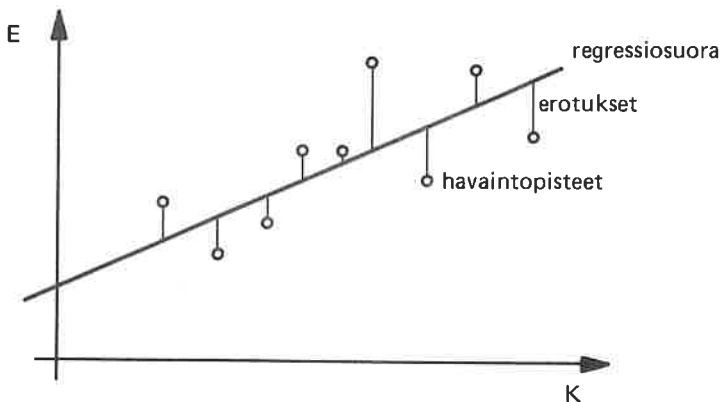
Satunnaissuureiden kykyä selittää muita satunnaissuureita regressiomallilla ja mallin tuntemattomien parametrien arvojen määrittystä tutkitaan regressioanalyysillä.

Tarkastellaan seuraavaksi regressiomalliin liittyvien tuntemattomien vakioiden arvojen määrittämistä yksinkertaisen esimerkin valossa. Oletetaan, että haihdunta halutaan ilmaista lineaarisella mallilla vain ilman kyllästysvajauksen funktiona:

$$E = a + dK$$

Tässä E on haihdunta, K ilman kyllästysvajaus ja a ja d toistaiseksi tuntemattomia vakioita.

Oletetaan, että molemmista satunnaissuureista on olemassa joukko samanaikaisia havaintoja. Merkitään näitä pareilla (e_1, k_1) , (e_2, k_2) , ..., (e_n, k_n) . Piirretään havaintoparit (K, E) -koordinaatistoon, jolloin kutakin havaintoparia vastaa koordinaatiston piste. Tulos saattaisi olla kuvan 5.33 kaltainen.



Kuva 5.33. Havaintoparit (K, E) -koordinaatistossa sekä regressiosuora.

Koska kaavan (5.14) mukaan jokaista a :n ja d :n arvoa vastaa (K, E) -koordinaatiston suora, olisi a ja d nyt valittava siten, että suora asettuu mittauspisteisiin "mahdollisimman hyvin". Kuvaan 5.33 piirretty suora täyttää ainakin silmämääräisesti tämän vaatimuksen.

Jos parametrien a ja d arvot halutaan määrätä tarkemmin, on ensin sovittava siitä, mitä käsitteellä "mahdollisimman hyvin" täsmällisesti ottaen tarkoitetaan. Tavallisin tapa kuvata suoran sopimista havaintopisteisiin on mitata pisteiden ja suoran väliset pystysuorat etäisyydet, korottaa nämä toiseen ja laskea yhteen. Suora asetetaan sitten niin, että tämä nk. neliösumma minimoituu. Tällöin sanotaan, että suora mukailee mittauspisteitä pienimmän neliösumman mielessä mahdollisimman hyvin. Etäisyydet on korotettu neliöön, jotta erimerkkiset poikkeamat eivät summassa pääsisi kumoamaan toisiaan. Itseisarvon käyttö toisen potenssin asemesta olisi ehkä loogisempaa, mutta se johtaisi myöhemmässä käsittelyssä liian suuriin laskennallisiin vaikeuksiin.

Neliösumman minimoivat parametrien a ja d arvot on helppo laskea analyttisesti. Koska suoran ja pisteen (k_j, e_j) välinen pystysuora etäisyys on $e_j - a - dk_j$, saadaan neliösummalle, joka on a :n ja d :n funktio, lauseke:

$$S(a, d) = \sum_{i=1}^n (e_i - a - dk_i)^2 \quad (5.15)$$

Neliösumman minimoivat a :n ja d :n arvot saadaan yksinkertaisesti asettamalla vastaavat osittaisderivaatat nolliksi ja ratkaisemalla syntyvästä yhtälöparista a ja d :

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^n -2(e_i - a - dk_i) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial d} = \sum_{i=1}^n -2k_i(e_i - a - dk_i) = 0 \end{cases} \quad (5.16)$$

Muokkaamalla nämä yhtälöt saadaan:

$$\begin{cases} an + d \sum k_i = \sum e_i \\ a \sum k_i + d \sum k_i^2 = \sum k_i e_i \end{cases} \quad (5.17)$$

Ratkaisuksi saadaan:

$$\begin{cases} d = \frac{n \sum k_i e_i - \sum k_i \sum e_i}{n \sum k_i^2 - (\sum k_i)^2} \\ a = \frac{\sum k_i \sum k_i e_i - \sum k_i^2 \sum e_i}{n \sum k_i^2 - (\sum k_i)^2} \end{cases} \quad (5.18)$$

Lausekkeet saadaan yksinkertaisempaan muotoon, jos otetaan käyttöön kahden satunnaissuureen välinen korrelaatiokerroin $r(K, E)$. Tämä saadaan, kun lasketaan tulojen $(k_i - m(K))(e_i - m(E))$ aritmeettinen keskiarvo ja jaetaan tämä molempien satunnaissuureiden standardipoikkeamien $\lambda(K)$ ja $\lambda(E)$ tulolla:

$$r(K, E) = \frac{\frac{1}{n} \sum (k_i - m(K))(e_i - m(E))}{\lambda(K) \lambda(E)} \quad (5.19)$$

Tällöin päädytään algebralaisen käsittelyn jälkeen seuraaviin tuloksiin:

$$\begin{cases} d = r(K, E) \frac{\lambda(E)}{\lambda(K)} \\ a = m(E) - r(K, E) \frac{\lambda(E)}{\lambda(K)} m(K) \end{cases} \quad (5.20)$$

Tässä $m(E)$ ja $m(K)$ ovat kyseisten satunnaissuureiden keskiarvot.

Lausekkeisiin ilmestynyt korrelaatiokerroin $r(K, E)$ mittaa satunnaissuureiden K ja E välistä riippuvuutta. Matemaattisesti voidaan osoittaa (nk. Schwatzin epäyhtälön avulla), että aina on voimassa ehto:

$$-1 \leq r(K, E) \leq 1$$

Jos korrelaatiokertoimen arvo on lähellä ykköstä, satunnaissuureet riippuvat voimakkaasti toisistaan: pieniä K :n arvoja vastaavat pienet E :n arvot ja samoin suuret arvot esiintyvät yhtäaikaaisesti. Jos korrelaatiokerroin on lähellä nollaa, satunnaissuureet eivät riipu paljoakaan toisistaan. Jos tämä arvo taas on lähellä lukua -1 , satunnaissuureet ovat jälleen toisistaan riippuvat, mutta nyt käänteisessä suhteessa: Suuria K :n arvoja vastaavat pienet E :n arvot ja päinvastoin.

Korrelaatiokertoimella voidaan mitata regressiomallin pätevyyttä. Kertoimen on oltava itseisarvoltaan suuri, jotta malli pystyisi kuvaamaan haluttua satunnaissuuretta toisen satunnaissuureen avulla.

Useampia satunnaissuureita sisältävien mallien parametrien arvojen määrääminen tapahtuu samojen periaatteiden mukaan: Arvot määräytyvät neliösumman minimoinnista. Pareittaisilla korrelaatiokertoimilla tutkitaan kunakin selittävän muuttujan riippuvuutta selitettävästä muuttujasta ja huonon riippuvuuden omaavat selittäjät voidaan jättää tarpeettomina mallista pois.

Lopuksi on syytä vielä toistaa, että regressiomallin muoto on fysikaaliselta kannalta täysin mielivaltainen, eikä se kuvaa mitään muuttujiensa välisiä todellisia, kausaalisia syitä. Jos muuttujien välille pystytään laatimaan käyttökelpoinen fysikaalinen yhteys, regressiomallilla ei ole enää mitään käyttöä.

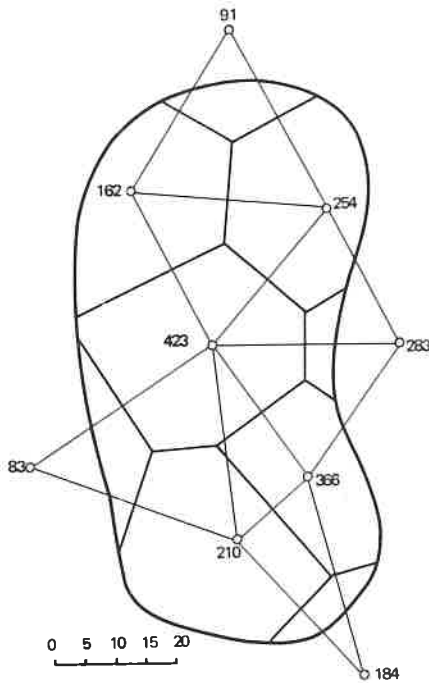
5.3 Laskentatapoja ja malleja

5.31 Aluesadannan laskenta

Hydrologisissa laskelmissa on ensiarvoisen tärkeä saada määritetyksi laajempien alueiden sademäärät havaintoasemilla tehtyjen sadehavaintojen perusteella, jotta voitaisiin selvittää sadanta koko vesistöalueen puitteissa vesibilanssin eräänä osatekijänä.

Aritmeettisessa menetelmässä lasketaan sadantahavaintojen aritmeettinen keskiarvo niiltä havaintoasemilta, jotka ovat valuma-alueella. Se on yksinkertaisin menetelmä aluesadannan määrittämiseksi. Tämä menetelmä on sopiva alueilla, joissa on runsaasti sadeasemia ja jotka ovat tasaisesti jakautuneet alueelle tai muutoin on riittävä selvyys sadannan jakautumisesta ja fysiografisista tekijöistä alueelta. Tarkkuus ei ole luonnollisesti paras, mutta jos sadannan alueelliset vaihtelut eivät ole suuria, saadaan tällä menetelmällä tyydyttäviä aluearvoja. Menetelmä soveltuu ainakin esitutkimuksiin.

Thiessenin eli monikulmiomenetelmää on käytetty, kun sadeasemien jakautuminen alueella ei ole tasainen. Siinä oletetaan kunkin sadeaseman edustavan sen ympärille piirretyn monikulmion sadantaa. Monikulmio muodostetaan sadeasemien yhdysjanojen keskinormaaleista. Näiden monikulmioiden alojen suhteessa painotetaan sitten sadeasemien sadantahavainnot (kuva 5.34).



Sadanta P mm	Pinta-ala A km ²	Pinta-ala %	Painotettu P mm
162	610	16,27	26,35
423	836	22,27	94,40
083	165	4,40	3,65
210	753	20,10	42,20
184	084	2,24	4,12
366	470	12,53	45,85
283	073	1,95	5,51
254	616	16,42	41,70
91	141	3,78	3,42
yhteensä	3748	99,96	267 mm

Vrt. Aritmeettinen keskiarvo

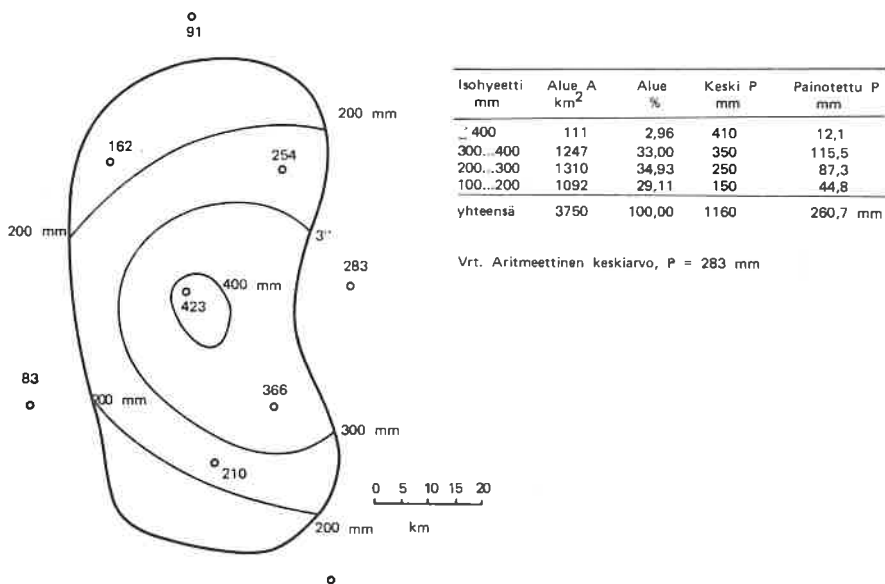
$$\frac{162 + 254 + 423 + 366 + 210}{5} = 283 \text{ mm}$$

Kuva 5.34. Aluesadannan määrittäminen Thiessenin menetelmällä.

Keskimääräistä sadantaa määritettäessä kunkin aseman vaikutusalan ja sadannan tulojen summa jaetaan kokonaisalalla. Alueen rajalla, missä monikulmio ulottuu alueen rajan ulkopuolelle, luetaan vain se osa monikulmiosta, joka jää valuma-alueen sisäpuolelle. Puuttuvien havaintojen rekonstruointi ja virheelliseksi arvioitujen havaintojen tarkistus voidaan suorittaa interpoloimalla naapuriasemien havaintojen tai isohyeettien perusteella.

Menetelmän etu on sen objektiivisuus. Heikkoutena on pidettävä, että menetelmä sulkee pois muun informaation asemien sijainnista ja sademääristä. Myöskään menetelmässä ei sen kaavamaisuuden vuoksi kiinnitetty huomiota fysiografisten tekijöiden aiheuttamaan epätasaiseen sadejakautumaan, vaan sadanta oletetaan tasaiseksi koko monikulmion alueella.

Isohyeettimenetelmä on menetelmistä yleisin. Se perustuu valuma-alueelle piirrettyihin isohyeetteihin eli sadannan samaa arvoa osoittaviin käyriin. Täten tämä menetelmä edellyttää samaa sadantaa osoittavien käyrien piirtämistä eri sadeasemien sijaintien ja maaston korkeusvaihteluiden ym. perusteella. Isohyeetit voidaan piirtää joko lineaarisesti interpoloimalla pistesadannan arvojen perusteella, jolloin niiden heikkoutena on liiallinen kaavamaisuus, tai kuten yleisimmin, huomioonottamalla maaston topografia (kuva 5.35).



Kuva 5.35. Aluesadannan määrittäminen isohyeettien perusteella.

Isohyeettejä piirrettäessä vaaditaan melkoista asiantuntemusta. Näitä isohyeettejä piirrettäessä tulee esille työn suorittajan subjektiivinen näkemys. Valuma-alueen aluesadanta saadaan planimetroimalla isohyeettien väliset alat ja painottamalla ko. isohyeettiarvojen keskiarvot niiden välisten alojen suhteessa.

Aluesadannan määrittäminen isohyeettien avulla tapahtuu yksinkertaisimmin siten, että sadekartalle asetetaan läpinäkyvä neliöruudusto. Viivojen leikkauspisteissä arvioidaan isohyeettien perusteella sadanta ja määritetään kaikkien alueelle sattuvien leikkauspisteitten sadantojen keskiarvo. Jotta menettelytavan virhe jäisi vähäiseksi, on valittava niin tiheä ruudusto, että alueelle sattuu vähintään 10...20 leikkauspistettä.

Isohyeettimenetelmä sallii käyttää hyväksi kaiken mahdollisen informaation ja menetelmän taitava käyttö tuottaa parhaimpia tuloksia. Menetelmän heikkous on sen työläisyys. Muut menetelmät soveltuvat vuorokausi-, kuukausi- ja pitempien jaksojen sademäärien selvittämiseen.

5.32 Vertailuvesistön käyttö

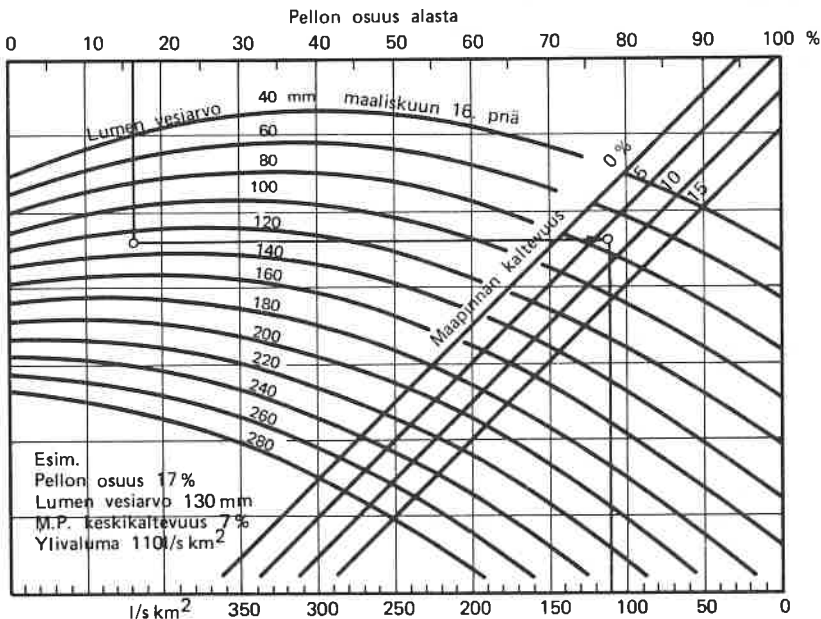
Mikäli selvityksen kohteena olevalta valuma-alueelta on havaintoja vain niukalti tai ei lainkaan, voidaan vertailuvesistön havaintoja käyttämällä saada monessa tapauksessa tyydyttävän tarkka kuva valuntaoloista ja vedenkorkeusvaihteluista. Vertailuvesistön ja tutkittavan vesistön tulee olla olosuhteiltaan samankaltaisia. Ilmastollisten tekijöiden vaihtelun eliminoimiseksi alueiden tulisi sijaita lähekkäin.

Vertailuvesistön käyttöä voidaan selvittää seuraavalla esimerkillä: Perattavassa vesistössä on suoritettu kahden vuoden ajan virtaamahavaintoja. Niiden mukaan $MHq = 100 \text{ l/s km}^2$. Läheisessä vesistössä vastaavien vuosien $MHq = 80 \text{ l/s km}^2$, mutta kymmenvuotisten havaintojen mukaan $MHq = 60 \text{ l/s km}^2$. Todennäköinen MHq perattavassa vesistössä on tämän mukaan $\frac{60}{80} \cdot 100 = 75 \text{ l/s km}^2$.

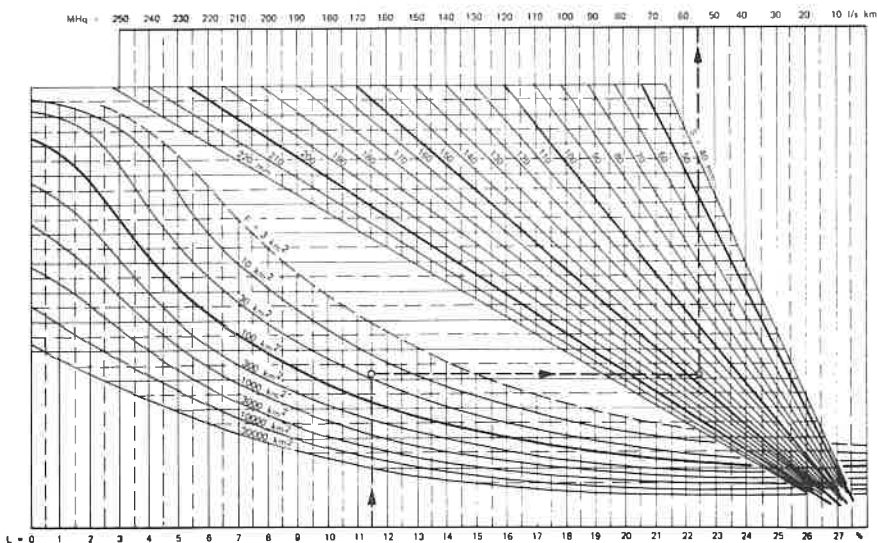
5.33 Valumamalleja

Vesirakenteiden mitoitusta varten on kehitetty valumamalleja, joissa ylivaluma määrätään tärkeimpien aluetekijöiden perusteella. Koska mitoituksessa on yleensä merkitystä vain ylivaluman suuruudella eikä sattumisajankohdalla, kuvaavat mallit näitä kriittisiä tilanteita.

Suomessa suurimmat valumat aiheutuvat yleensä lumen kevätsumamisesta. Keskimääräisen kevätylivaluman arvioimiseksi pienille, alle 200 km^2 suuruisille valuma-alueille on kehitetty valumahavaintojen perusteella kuvassa 5.36 esitetty nomogrammi. Nomogrammissa muuttujina ovat lumen vesiarvo 16.3, pellon osuus ja maanpinnan keskikaltevuus.

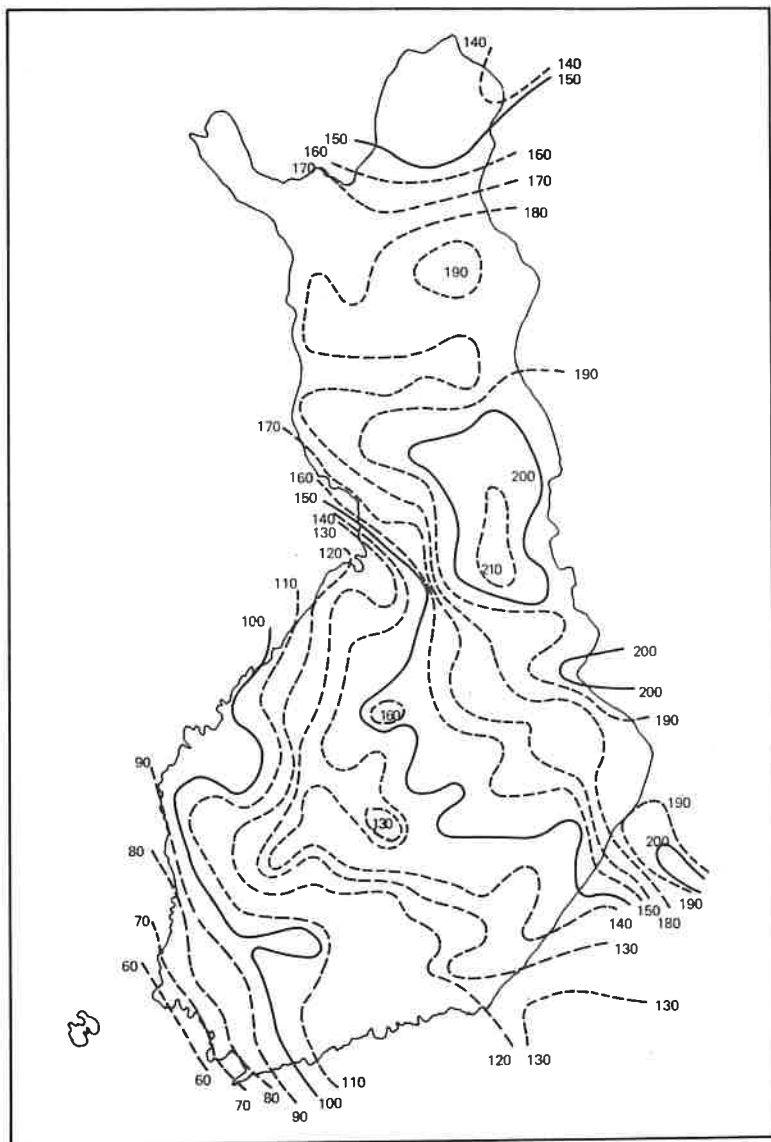


Kuva 5.36. Nomogrammi kevytylivaluman arvioimiseksi pienillä (< 200 km^2) järveillä valuma-alueilla.



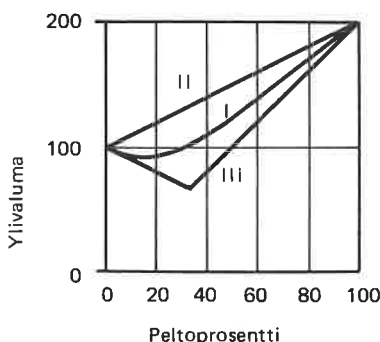
Kuva 5.37. Nomogrammi lumen sulamisesta aiheutuvan MHq:n ($l/s \text{ km}^2$) arvioimiseksi järvisyyden (L), valuma-alueen suuruuden (F) ja lumen vesiarvon vuosimaksimin (S) perusteella.

Myös järviä sisältävien valuma-alueiden keskiylivaluman määrittämiseksi on käytettävissä kuvassa 5.37 esitetty nomogrammi. Lumen vesiarvo on tätä nomogrammia käytettäessä otettava mallin perustana olleiden arvojen mukaisesti. Nämä on esitetty kuvassa 5.38.



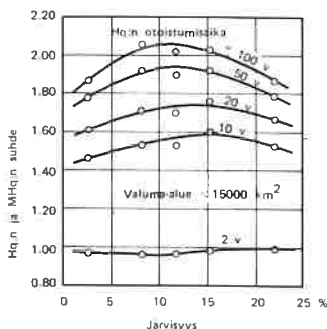
Kuva 5.38. Lumen vesiarvon keskimääräinen vuosimaksimi (mm) Suomessa vuosina 1892–1941.

Nomogrammit esittävät keskimääräisiä olosuhteita Suomessa. Yksityistapauksissa poikkeamat voivat olla hyvinkin suuria. Erityisesti kuvassa 5.37 esitetty nomogrammi on laadittu silmälläpitäen Suomessa tyypillistä järvi-
altaiden tasaista sijoittumista vesistöalueella. Jos järvet sijoittuvat vesistö-
alueen latvoille, tulevat keskiylivalumat suuremmiksi ja vastaavasti alajuok-
sulla sijaitseva suuri järvi voi laskea keskiylivalumaa sen prosenttiosuuden
verran, minkä järvi muodostaa valuma-alueen pinta-alasta. Mikäli vesistö on
voimakkaasti säännöstelty tai järjestelty, voivat arvot myös tästä syystä
muuttua. Jos valuma-alueella on runsaasti karkeita maalajeja, pienenevät
ylivalumat. Pellon vaikutus on monitahoinen ja riippuu mm. peltojen sijoit-
umisesta, määrästä, ojitustavasta ja valuma-alueen koosta. Pienillä järvet-
tömillä alueilla keskimääräinen vaikutus ja ääritilanteet on esitetty kuvassa
5.39.



Kuva 5.39. Peltoalan vaikutus ylivalumaan, kun metsäisen alueen ylivaluma on 100, ja peltoalan 200. I osoittaa keskitilannetta, II ja III ääritilanteita.

Vesirakenteiden mitoituksessa ei yleensä mitoitusvirtaamana käytetä keskiylivalumaa, vaan useasti mitoitus suoritetaan jonkin harvinaisemman ylivaluman perusteella. Kuvassa 5.40 on esitetty toistumisajan vaikutus ylivalu-
maan.



Kuva 5.40. Ylivaluman suhde keskiylivalumaan alle 15 000 km²:n alueilla.

Taajama-alueilla ovat vesien varastoitumismahdollisuudet vähäiset, ja tästä syystä ylivalumat aiheutuvat lyhytaikaisista rankkasateista. Lähtökohtana sadevesiviemärien mitoitukselle ovat: valittu mitoitus sade, viemäröintialueen koko ja alueen hydrauliset ominaisuudet.

Mitoitussadetta ei yleensä valita sellaiseksi, että kaikki tunnetut rankimmat sateet mahtuisivat viemäreihin. Tämä johtuu taloudellisista syistä. Esimerkiksi kerran 10 vuodessa sattuvan sateen rankkuus on likipitään kaksinkertainen kuin kerran 2 vuodessa sattuvan. Toistumisajan valintaan vaikuttavat viemäröintialueen laatu ja käyttö. Sitävastoin rankkuudet ovat maassamme jokseenkin samansuuruisia koko maassa. Normaalisti sadevesiviemärit mitoitetaan maassamme rankkasateelle, joka sattuu keskimäärin kerran kahdessa vuodessa, kesto aika 15 min. Rankkuus on Helsingissä esim. tällöin 120 l/s ha, mikä on huomattavasti suurempi kuin lumen sulamisen yhteydessä tuleva vesimäärä 1...10 l/s ha. Mitoitusvirtaama lasketaan kaavasta (5.22).

$$Q = q \cdot \varphi \cdot \psi \cdot A \quad (5.22)$$

Q = viemäriin virtaama [l/s]

q = mitoitus sade [l/s · ha] (saderankkuus)

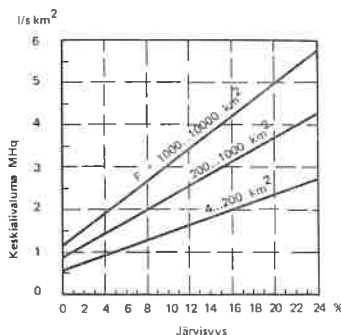
φ = valumiskerroin

ψ = hidastumiskerroin

A = alueen pinta-ala [ha]

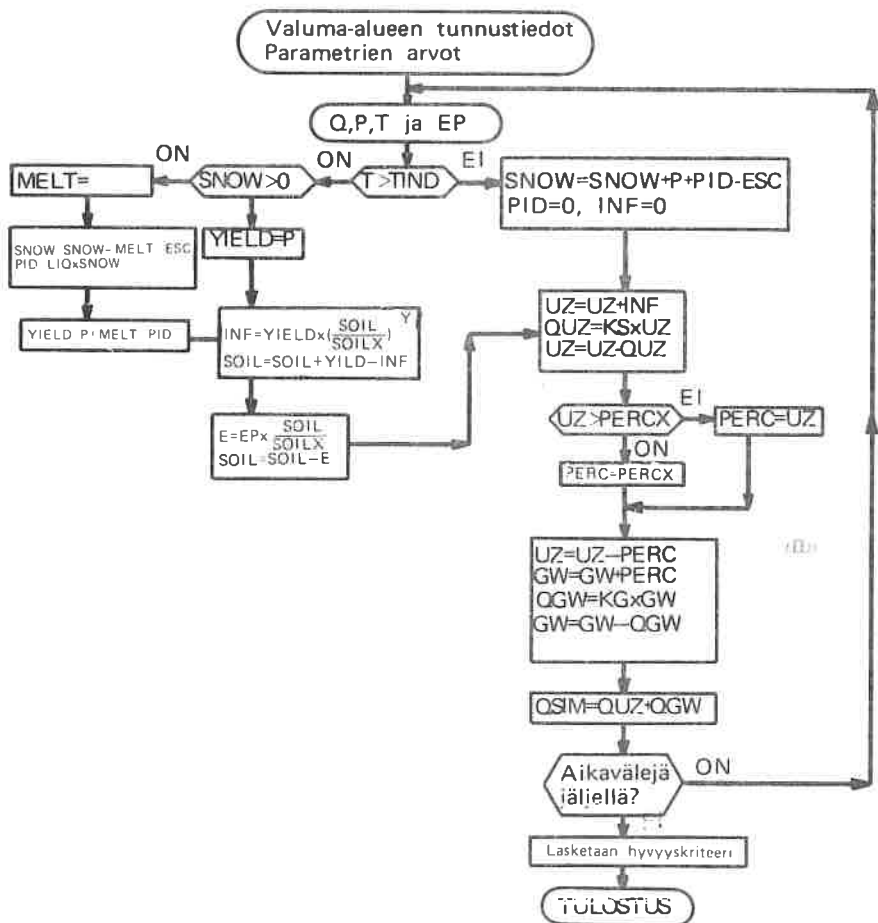
Valumiskerroin vaihtelee pintojen interseptio- ja imeytymisominaisuuksista riippuen välillä 0,05...0,9. Pienillä viemäröintialueilla ei hidastumista yleensä oteta huomioon. Vasta alueen kasvaessa 100 ha:a suuremmaksi alkaa hidastuminen merkittävästi pienentää mitoitusvirtaamaa. Hydrologisesti katsoen hidastuminen vaikuttaa tietenkin myös pienemmillä alueilla, mutta viemärien mitoituksessa tulee tämä jo mitoitus sateen valinnassa huomioon otetuksi.

Alivalumat ovat erityisesti vedenhankinnan kannalta tärkeitä. Suomen olosuhteissa alivalumien keskimääristä riippuvuutta järvisyydestä ja valuma-alueen pinta-alasta esittää kuva 5.41.

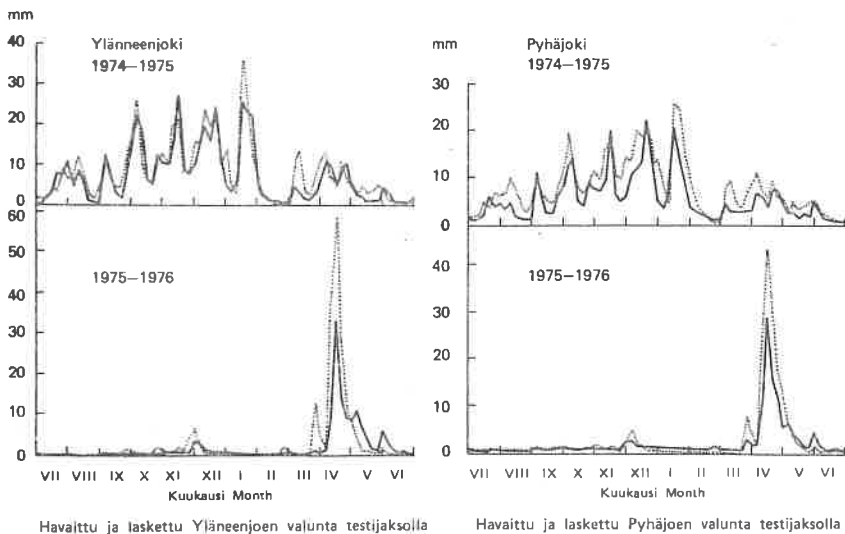


Kuva 5.41. Keskiarvoalivaluman riippuvuus valuma-alueen alasta ja järvisyydestä.

Hydrologisen kiertosysteemin kvantitatiiviseen analysointiin on kehitetty simulointimalleja, joilla jäljitellään sadanta-, varastoitumis- ja valuntaprosessia. Näiden mallien merkitys on toistaiseksi hydrologisen tietouden lisäämisessä, mutta kehittyessään ne voivat tehokkaasti palvella säännöstelyjen käyttöä. Erään Suomessa kehitetyn valuntamallin rakenne on esitetty kuvassa 5.42 ja simulointituloksia kuvassa 5.43.



Kuva 5.42. Valuntamallin rakenteen yleispiirteet.



Kuva 5.43. Valuntamallin antamia tuloksia.

5.34 Vedenlaatumalleja

Veden laatua kuvaavien matemaattisten mallien kehittelytyö yleisten fysi-kaalisten, kemiallisten ja biologisten riippuvuussuhteiden osalta on sinänsä hyvin vanhaa perua. Pääpaino on kuitenkin ollut erillisten riippuvuussuh-teiden eikä prosessien määrällisessä kokonaiskuvauksessa. Vesien likaantu-minen aiheutti tarpeen ryhtyä suunnittelemaan toimenpiteitä likaantumisen estämiseksi, ja syntyi tarve kuvata vesistön toimintaprosesseja kokonaisuu-tena myös laadulliselta puolelta. Hydrologian määrälliseen puoleen verrat-tuna ovat laatumallit kehittyneet myöhemmin. Osasyynä tähän on, että prosessien monitahoisuudesta johtuen on tyydyttävän kuvaustarkkuuden saavuttaminen vaikeaa.

Seuraavassa on käsitelty esimerkinomaisesti kolmea erilaista muodostumis-tapaa tai mallityyppiä edustavaa mallia. Simulointimallin muodostaminen on esitetty yksityiskohtaisemmin, koska tässä yhteydessä voidaan havainnol-lisesti esittää osaprosessien vaikutusyhteyksiä vesistössä.

Kun virtaavaan veteen johdetaan happea kuluttavaa ainetta, saadaan eräillä lähtöolettamuksilla happitasapainolle teoreettisesti johdettu kaava (5.23).

$$D(t) = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_2 t} \quad (5.23)$$

$D(t)$ = happivajaus (mg/l) hetkellä t

L_0 = primääri BHK (mg/l) hetkellä $t = 0$

D_0 = happivajaus (mg/l) hetkellä $t = 0$

k_1 = hapen kulutuskerroin (d^{-1})

k_2 = hapen liukenemiskerroin (d^{-1})

t = aika (d), (d = vrk)

Yhtälö (5.23) on nk. Streeter-Phelps yhtälö (vuodelta 1925), ja se ilmoittaa happivajauksen suuruuden hetkellä t , kun alkuhetkellä happivajaus on D_0 ja vedessä olevan jätteen hapentarve L_0 .

Mallia sovellettaessa on huomattava, että kertoimet riippuvat mm. lämpötilasta, veden happipitoisuudesta ja hydraulisista ominaisuuksista, joten ne eivät pysy vakioina. Suomessa lisäksi jääpeite estää hapen siirtymistä ilmasta veteen. Eräissä kesäaikaississa mittauksissa on Suomessa todettu k_1 :n vaihdelleen välillä 0,4...0,8 d^{-1} .

Järven alusveden happipitoisuus on tärkeä järven tilan indikaattori, ja samalla se osaltaan määrää tapahtuvia prosesseja. Tilastollisesti on alusveden happipitoisuuden, järven tilavuuden ja fosforikuormituksen välille saatu yhteydet (5.24) ja (5.25).

$$O_2^w = -27,7 - 5,78 (\log I - \log V) \quad (5.24)$$

$$O_2^s = -25,3 - 5,11 (\log I - \log V) \quad (5.25)$$

O_2^w = happipitoisuus hypolimnionissa talven lopussa mg/l

O_2^s = happipitoisuus hypolimnionissa kesän lopussa mg/l

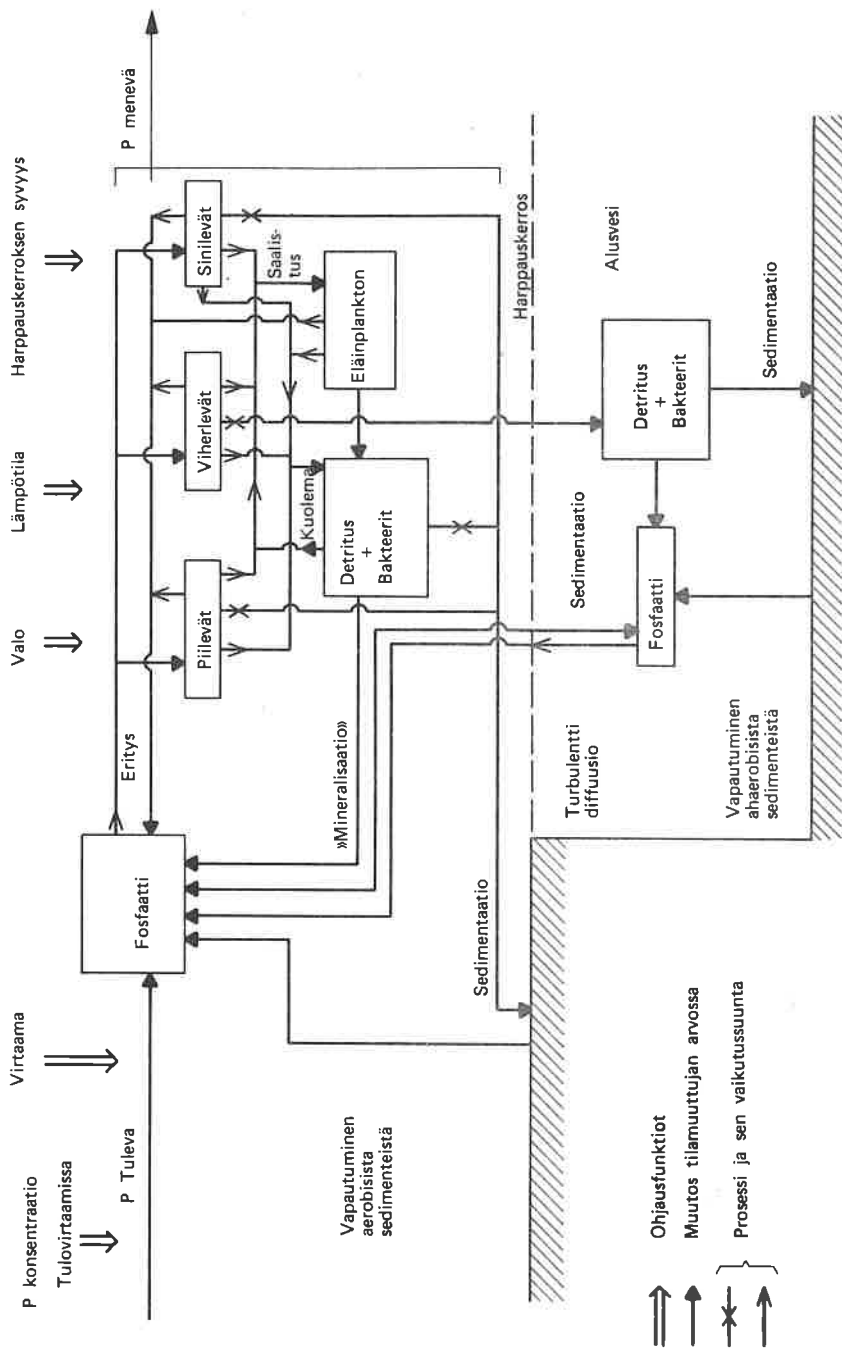
V = järven tilavuus, m^3

I = fosforikuormitus, mg P/s

Kaavoja voidaan käyttää silloin, kun viipymä järvessä on vähintään 1,5...2,0 vuotta. Jos viipymä on pienempi, aiheuttaa tapahtuva laimeneminen kaavoihin lisätermejä. Em. happimallin on laatinut K.M. Lappalainen tilastollisesti lähtökohtana 27 järveä koskeva aineisto.

Samoin kuin on sadanta-valuntaprosessille muodostettu simulointimalleja, on myös aineiden kiertokulkua ja biotoimintoja pyritty simuloimaan. Näiden mallien kehittälytyö on vasta alkuvaiheessa. Esimerkkinä myös Suomen maantieteellisissä olosuhteissa lupaavia tuloksia antaneesta simulointimallista esitetään tässä yhteydessä Upsalan yliopistossa kehitetty fosforin kiertokulkua kuvaava ns. Ahlgrenin malli.

Kuvassa 5.44 on esitetty matemaattisen mallin perustana oleva graafinten systeemikaavio fosforin kulkeutumisesta järven ekosysteemeissä.



Kuva 5.44. Fosforin kiertokulun systeemikaavio.

Mallin ajasta riippuvina ohjausfunktioina käytetään tulovirtaamaa, tulovirtaaman fosforikonsentraatiota, epilimnionin ja hypolimnionin lämpötiloja, harppauskerroksen sijaintia sekä tulosäteilyä. Näistä viisi ensimmäistä on annettu arvoina kuukausien vaihteessa, joista päivittäiset arvot on laskettu lineaarista interpolaatiota käyttäen. Tulosäteily on annettu jatkuvana funktiona. Epilimnionia ja hypolimnionia pidetään erikseen täysin sekoittuvina.

Mallin prosessit ovat fosforin kulkeutuminen järveen ja järvestä, liukeneminen sedimentistä, fosforinvaihto epilimnionin ja hypolimnionin välillä, kasviplanktonituotanto (fotosynteesi, sedimentaatio ja kuolleisuus), eläinplanktonin kasvunopeus, detrituksen sedimentaatio ja hajoaminen sekä fosfaatin kierto.

Järveen tuleva fosfori lasketaan tulovirtaamien ja vastaavien konsentraatioiden tulon summana. Fosforin poistuma lasketaan menovirtaaman ja epilimnionissa olevien eri fosforikomponenttien perusteella.

Fosforin liukenemista sedimentistä ei ole voitu kuvata systeemin muista tekijöistä riippuvana. Laboratoriokokeiden mukaan liukenemisnopeus aerobisissa olosuhteissa oli $2\text{--}10 \text{ mg P/m}^2 \cdot \text{d}$ ja anaerobisissa olosuhteissa $18\text{--}25 \text{ mg P/m}^2 \cdot \text{d}$ 10°C :n lämpötilassa. Liukenemisen ja veden syvyyden välille ei saatu selvää riippuvuutta. Harppauskerroksen alapuolisia sedimenttipintoja pidettiin anaerobisina ja yläpuolisia aerobisina. Talvella rajana käytettiin 1972 mitattua aerobisen ja anaerobisen veden rajakerrosta.

Liukenemisen riippuvuus lämpötilasta ilmaistaan yhtälöllä $R_t = R_{10} \cdot \theta^{(T-10)}$, jossa lämpötilakertoimelle θ annettiin arvo 1,07. Ko. riippuvuutta on käytetty kaikkien lämpötilakorjausten arviointiin, vaikka kertoimen θ arvo jonkin verran vaihtelee.

Fosforin vaihtoa epi- ja hypolimnionin välillä tapahtuu kahdella tavalla; osaksi turbulenttisen diffuusion avulla harppauskerroksen läpi ja osaksi harppauskerroksen syvyysaseman muutosten sekoittuvan vaikutuksen johdosta. Turbulenttinen sekoittuminen U kuvataan siirtymiskertoimen A , konsentraatioeron ΔC ja rajoittavan pinnan alan A_h avulla: $U = A \cdot \Delta C \cdot A_h$. A :n yksikkönä on m/d ja lukuarvona mallissa oli 0,02 m/d . Harppauskerroksen muutoksen aiheuttama fosforin vaihto on tilavuudenmuutoksen ΔV ja konsentraation tulo epi- tai hypolimnionissa riippuen siitä, onko harppauskerros nousemassa vai laskemassa.

Eräänä mallin tavoitteena oli tutkia kasviplanktonin jakautumisen vaihteluja leväryhmillä, pii-, viher- ja sinilevät. Ne eroavat toisistaan ravinto-, lämpötila- ja valovaatimusten sekä sedimentoitumisnopeuden suhteen. Näitä prosesseja kuvaavien osamallien kertoimille käytettiin tutkimusvesistössä mitattuja, kokeellisesti määrättyjä tai kirjallisuudesta saatuja arvoja.

Lähtökohtana pidettiin vuorokauden valoisan ajan keskimääräistä valointensiteettiä ja fotosynteesin vuorokausikeskiarvoja epilimnionissa. Fosforin vaikutus kasvua rajoittavana tekijänä selvitettiin osaksi laboratoriokokein.

Kasviplanktonille muodostettiin kolme differentiaaliyhtälöä, yksi kullekin leväryhmälle, selittämään kaikkien olennaisimpien prosessien yhteisvaikutusta levien sisältämän fosforin konsentraatioon koko järvestä. Perustuotanto muunnettiin fosforiksi käyttämällä C:P -suhdetta. Mallissa käytettiin piileville arvoa 50:1 ja muille leville arvoa 75:1.

Sedimentaatiota kuvataan mallissa vuorokautisen biomassan murto-osana, ja prosessi on asetettu lämpötilasta riippuvaksi. Piileville on sedimentaatioksi arvioitu 0,04 1/vrk, viherleville 0,02 1/vrk ja sinileville 0,01 1/vrk 10°C:n lämpötilassa.

Kasviplanktonsolujen kuoleamisen kuvaamiseksi käytettiin mallissa vakiokuolleisuutta, koska kuolleisuuteen vaikuttavien lukuisten tekijöiden muutoksia ei ole voitu mallissa ottaa huomioon. Pii- ja viherleville asetettiin kuolleisuudeksi $M = 0,05$ 1/vrk ja sinileville 0,1 1/vrk.

Eläinplankton on sisällytetty malliin, jotta sen vaikutuksia kasviplanktoniin voitaisiin tutkia. Mukaan on otettu yksinkertaisuuden vuoksi vain kasveja ravintonaan käyttävä eläinplankton. Eläinplanktonin kasvua kuvataan niiden ravinnonoton ja ravinnonkäytön avulla. Laskelmat perustuivat mitattuihin kasvi- ja eläinplanktonin välisiin suhteisiin sekä arvioituihin ravinnonottoihin ja tehokkuuksiin.

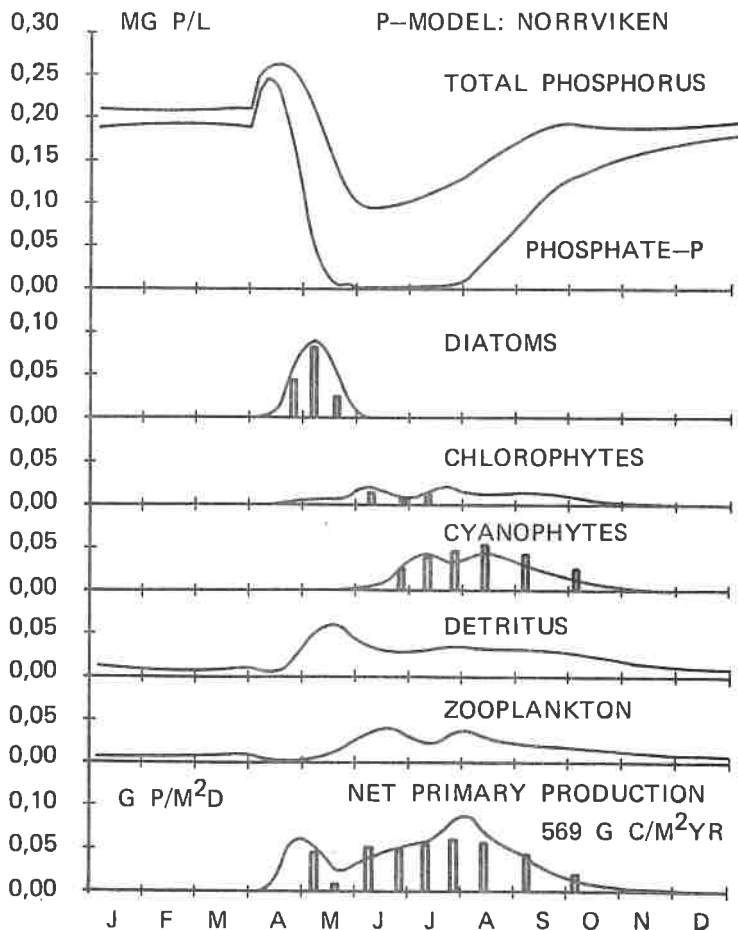
Detrituksella tarkoitetaan kuollutta hiukkasmaista orgaanista ainetta ja siihen liittyviä bakteereita. Detritusta muodostuu mm. kasviplanktonin kuolleista soluista ja eläinplanktonin eritteistä. Osa detrituksesta joutuu veteen suspendoitumalla sedimenteistä.

Detritus hajoaa vedessä bakteeritoiminnan ansiosta. Mallissa kuvataan detrituksen hajoamisnopeutta lämpötilasta riippuvana. Kokeiden perusteella päädyttiin arvoon 0,05 1/vrk 10°C:n lämpötilassa, lämpötilakertoimen θ ollessa 1,14. Detrituksen sedimentaatioksi epilimnionissa asetettiin 0,03 1/vrk. Alusvedessä oletetaan detrituksella olevan sama hajoamisnopeus kuin epilimnionissa, mutta sedimentoituminen oletetaan nopeammaksi johtuen pienemmästä turbulenssista. Suspendoitumista sedimentista oletettiin tapahtuvan syys- ja kevätkiertojen alussa.

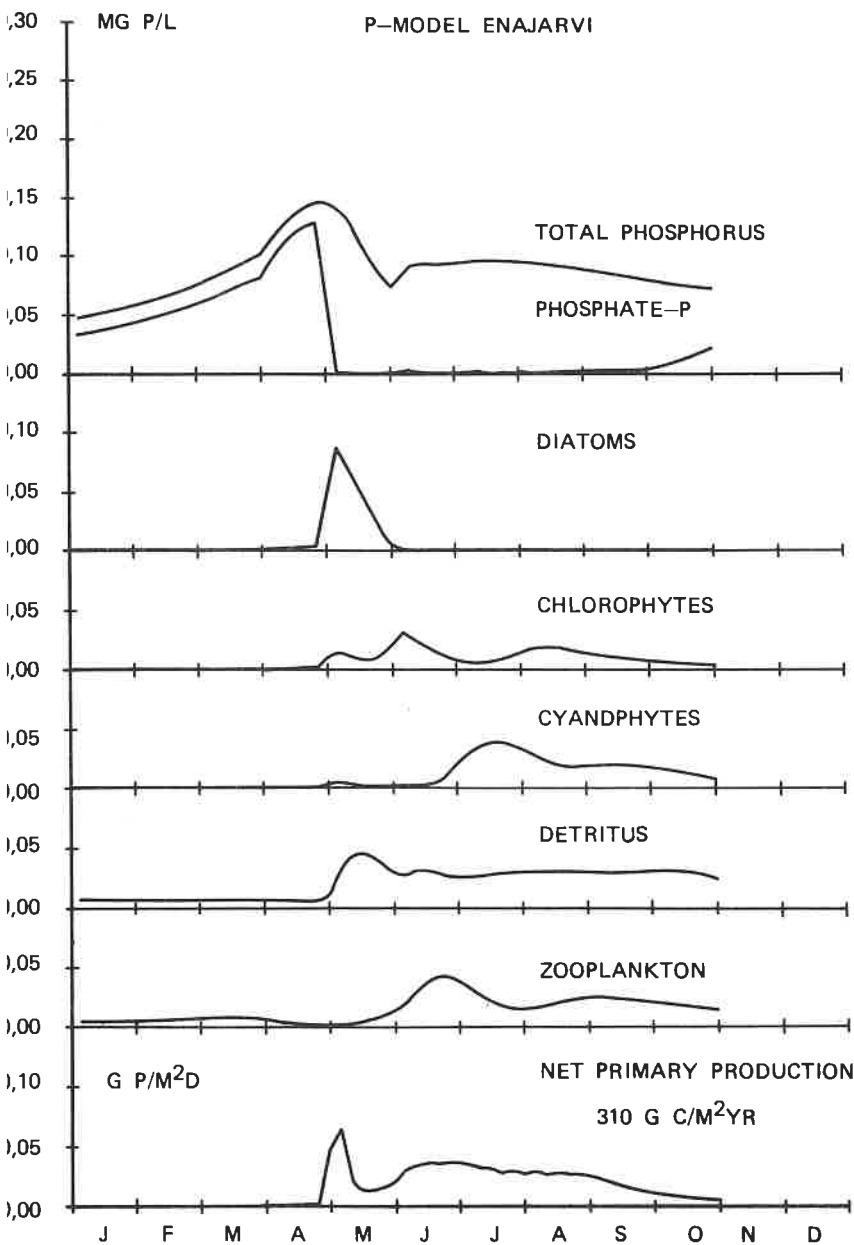
Fosfaattia joutuu epilimnioniin tulovirtaaman mukaan, liukenemalla sedimentistä, diffuusion ja hypolimnionin aineenvaihdon avulla, organismien eritteiden mukana ja kuolleiden organismien mineralisaatiossa. Fosfaatti käytetään levien fotosynteesiin ja sitä joutuu pois menovirtaaman mukana. Edellämainittujen prosessien perusteella muodostettiin yhtälöt epi- ja hypolimnionien fosfaattimäärien aikariippuvuudelle.

Muodostettu differentiaaliyhtälöistä koostuva matemaattinen malli on tietokonesimuloinnissa ratkaistu Eulerin menetelmällä käyttämällä 0,2 vrk:n askelpituutta.

Myös Suomessa on vuosina 1976...77 suoritettu Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratoriossa mallin soveltamista ja käyttöalaa koskevia perusselvityksiä. Kuvissa 5.45 ja 5.46 on esitetty simulointituloksia koskien Tukholman lähistöllä sijaitsevaa Norrviken-järveä ja Uudellamaalla Siuntionjoen vesistöalueella sijaitsevaa Enäjärveä.



Kuva 5.45. Laskentatuloksia Norrviken-järveltä.



Kuva 5.46. Laskentatuloksia Enäjärveltä.

- Ahlgren, I.** 1975. Modell för fosforomsättning och fytoplanktonproduktion i sjön Norrviken. Eutrofiering, Nordforsk miljövårdsekretariatet, publikation 1975:1, Helsinki.
- Falkenmark, M. & Forsman, A.** 1966. Vattnet i vår värld. Wahlström & Widstrand, Stockholm.
- Heikkilä, M. & Tuononen, E. & Vakkilainen, P.** 1977. Vesivarojen laadun suunnittelun perusteita. TKK, vesitekniikan laitos, julkaisu 8, Otaniemi.
- Hjelmfelt, A.T., Cassidy, J.J.** 1975. Hydrology for Engineers and Planners. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Kaitera, P.** 1934. Järvenlasku- ja joenperkaushankkeiden suunnittelua varten suoritettavasta hydrometrisestä tutkimuksesta. Teknillinen Aikakauslehti no 5-6/1934.
- Kaitera, P.** 1946. Maatalouden vesirakennus, vihko 1. TKK, moniste no 40, Helsinki.
- Kaitera, P.** 1949. On the melting of snow and its influence on the discharge maximum in streams and rivers in Finland. TKK:n tutkimuksia no 1, Helsinki.
- Kuusisto, E.** 1977. Konseptuaalisten valuntamallien soveltamisesta Suomessa. Vesitalous 1/1977.
- Kymijoen vesistön alaosan vesien käytön kokonaissuunnitelma I.** 1972. Vesihallitus, Helsinki.
- Lappalainen, K.M.** 1975. Phosphorus Loading Capacity of Lakes and a Mathematical Model for Water Quality Prognoses. Eutrofiering. Nordforsk miljövårdsekretariatet, publikation 1975:1, Helsinki.
- Lindh, G. & Falkenmark, M.** 1972. Hydrologi. En inledning till vattenresursläran. Studentlitteratur, Lund.
- Lounais-Suomen vedenhankinnan yhteistyöelin.** 1973. Ehdotus Lounais-Suomen vedenhankintaratkaisuksi. Helsinki.
- Maa- ja pohjavesisanasto.** 1976. Vesihallitus, Helsinki.

- Mustonen, S.** 1965. Ilmasto ja maastotekijöiden vaikutuksesta lumen vesiarvoon ja roudan syvyyteen. Acta Forestalia Fennica 79, Helsinki.
- Mustonen, S.** 1968. Ylivalumista pienillä järvettömillä valuma-alueilla. Rakennustekniikka 5/1968.
- Mustonen, S.** 1973. Hydrologia. Vesirakennus, RIL 92. Helsinki.
- Määttä, R.** 1976. Vesiensuojelun kemian ja biologian perusteet. Otakustantamo, Espoo.
- Niinivaara, K.** 1961. Ylivalumien todennäköisestä vaihtelusta Suomen päävesistöjen alueilla. Teknillinen Aikakauslehti no 18/1961.
- Ohjeita hydrologian toimiston vedenkorkeuden havaintsijoille.** 1973. Vesihallituksen julkaisuja 5, Helsinki.
- Sade- ja lumihavainto-ohjeet.** 1974. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Schulz, E.F.** 1973. Problems in Applied Hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.
- Soveri, J. & Varjo, M.** 1977. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955—1975. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 23, Helsinki.
- Vesiviranomaisen käyttämät näytteenottomenetelmät.** 1973. Vesihallituksen julkaisuja 6, Helsinki.
- Wiesner, C.J.** 1970. Hydrometeorology. Chapman and Hall LTD, London.
- Wäre, M.** 1954. Om vattendrag och deras förörening. Tekniska Föreningen i Finland, Förhandlingar nr 7, Helsinki.

6. VESIVAROJEN KÄYTÖN SUUNNITTELU

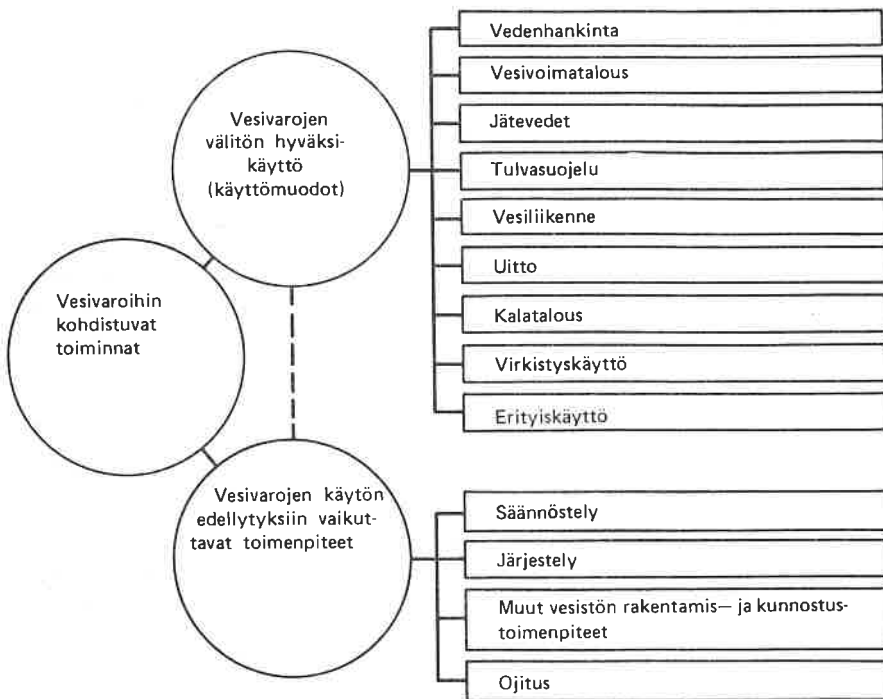
6.1 Suunnittelun tehtäväalue

Suunnittelutehtävät voidaan jakaa eri tyyppeihin silmälläpitäen esim. suunnittelukohdetta ja tavoiteasettelua. Kohteen mukaan voidaan suunnittelu jakaa suoraan vesivariin ja vesivarojen käyttömuotoihin kohdistuvaan suunnitteluun. Vesivariin kohdistuvassa suunnittelussa pyritään käyttötarpeet huomioonottaen saattamaan vesivarat, pinta- ja pohjavedet, mahdollisimman edulliseen tilaan. Vesivaroja välittömästi hyväksikäyttäviin käyttömuotoihin kohdistuvassa suunnittelussa, ns. vesien käyttömuotosuunnittelussa, pyritään vesivaroja hyväksikäyttävät toiminnot sijoittamaan ja mitoittamaan mahdollisimman edullisesti yhteiskunnan toimintayksikön (taajama, kunta, talousalue tms.) kannalta ottaen huomioon käytettävissä olevien vesivarojen asettamat rajoitukset.

Tavoiteasettelun kannalta voidaan suunnittelussa erottaa kaksi ääritapausta. Toisena tulee kyseeseen suunnittelutoiminta, jolla pyritään suunnittelualueen puitteissa vesivarojen optimaaliseen käyttöön vaikuttamalla sekä vesivarojen tilaan että käyttömuotoihin. Toisin sanoen tavoitteita ei ole määritelty tarkemmin, kuin että kyseessä on yhteiskunnan hyvinvoinnin edistäminen. Toisena ääritapauksena on tilanne, jossa pyritään tyydyttämään jokin aktuaalinen kvantitatiivisesti määritelty tarve edullisimmaksi katsottavalla tavalla. Käytännössä suunnittelutoimintaan vaikuttavat molemmat aspektit.

Vesivarojen käytön suunnittelussa ei myöskään käytön suunnittelu ja vesivariin kohdistuva suunnittelu aina esiinny erillisinä suunnittelutehtävinä vaan usein vaihtoehtoisina tai toisiaan täydentävinä tapoina ratkaista ongelmia. Lähes vakiintuneen tavan mukaan käyttömuodot ja vesivariin kohdistuvat toimenpiteet jaotellaan kuvan 6.1 mukaisesti.

Vedenhankinnalla tarkoitetaan veden vesistöistä tai maaperästä ottamista sen nesteenä käyttämiseksi käsittäen yhdyskuntien ja teollisuuden vedenhankinnan, kastelun ja talousveden hankinnan. Yhdyskuntien vedenhankintaan kuuluu kunnallisten ja vastaavien vesilaitosten toimesta tapahtuva vedenhankinta taajamille. Veden käyttöön sisältyvät tällöin talousvesi, vesihuollon piirissä oleva elinkeinotoiminta sekä puhtaanapito ja puistojen kastelu. Teollisuuden vedenhankinta käsittää teollisuusyrityksen itsenäisesti suorittaman vedenhankinnan. Kastelulla tarkoitetaan maatalouden viljelytoiminnassa ta-



Kuva 6.1. Vesivaroihin kohdistuvat toiminnot.

pahtuvaa vedenkäyttöä. Talousvesi käsittää haja-asutuksen sekä sairaaloiden ja vastaavien laitosten erikseen suorittaman veden hankinnan.

Jätevesien johtamisella tarkoitetaan tuotanto-, yhdyskunta- ja yksilötoiminnoissa syntyvien ja toiminnoissa tarpeettomien ja/tai haitallisten aineiden johtamista vesistöön. Johtaminen tapahtuu yleensä viemärintiä käyttäen sen veden avulla, joka vedenhankinnassa otetaan käyttöön.

Vesistön voimatalouskäytön tarkoituksena on vesistön veden asemaenergian, vesivoiman, hyväksikäyttö muuttamalla se käyttökelpoiseen muotoon. Nykyisin tulee kyseeseen vain sähköenergian tuotanto. Vesivoima määritetään virtaaman ja putouk korkeuden avulla. Vesilain tarkoittaman vesivoiman on täytettävä ehto, että vesivoima on teknillisesti ja taloudellisesti mahdollista ottaa käyttöön konkreettisesti voimalaitosyrityksessä.

Tulvasuojelun tarkoituksena on vesien ylivirtaama-aikaisen varastoinnin, vesiuomien perkauksen ja suojapenkereiden avulla estää veden haitallinen ko- hoaminen maa-alueille. Tulvasuojelu on luonteeltaan maankäyttöä ja suori-

tustavasta riippuen muita vesistön käyttömuotoja palveleva eikä sinänsä ole vesivarojen välitöntä hyväksikäyttöä.

Vesiliikenne ja uitto käsittävät tavara- ja matkustajaliikenteen sekä puutavaran uiton ja varastoinnin vedessä.

Kalatalouteen luetaan kuuluvaksi ammatti- ja sivuammattikalastus, kotitarvekalastus, virkistyskalastus ja kalanviljelylaitokset. Ammatti- ja sivuammattikalastuksen tarkoituksena on tulojen hankinta kalastusta elinkeinona käyttäen. Kotitarvekalastuksen tarkoituksena katsotaan olevan ravinnon hankinta. Virkistyskalastuksen tarkoituksena on virkistyksen saaminen itse kalastamistoiminnasta. Kotitarve- ja virkistyskalastuksen välisen eron täsmällinen määrittäminen on käytännössä mahdotonta.

Vesien virkistyskäytön tarkoituksena on välitön tarpeen tyydytys vesistön tarjoamien virkistyspalvelujen avulla. Sitä voidaan tarkastella mm. virkistyskäyttötoimintojen ja ranta-alueen maankäyttötapojen perusteella. Virkistyskäyttö muodostuu seuraavista toiminnoista: uinti, kalastus, veneily, vesiuurheilu, ulkoilu, retkeily ja toiminta ranta-alueella. Maankäytön perusteella voidaan vesistön virkistyskäyttö jakaa seuraavasti: loma- ja ympärivuotinen asutus, yleiset uimarannat, matkailukeskukset, ulkoilu- ja retkeilyalueet.

Erityiskäytöllä ymmärretään vesistön (tai valuma-alueen) käyttöä esimerkiksi tutkimuskohteena ja luonnonsuojelu- tai riistanhoitoalueena.

Edellä esitetyt käyttömuodot voidaan nähdä vesivarojen ja ihmisen välisiksi jatkuviksi vaikutusyhteyksiksi. Näistä poiketen ovat käytön edellytyksiä luovat toimenpiteet kertaluonteisia ja niillä pyritään muuttamaan vesivaroja paremmin em. käyttömuotoihin ja maankäyttöön sopiviksi.

Vesistön säännöstelyllä tarkoitetaan vesistön luonnollisten virtaamien muuttamista, joko varastoimalla vettä luonnollisiin tai tekoaltaisiin taikka johtamalla vettä vesistöstä tai sen osasta toiseen.

Vesistön järjestelyllä tarkoitetaan maa- tai vesialueen kuivattamiseksi suoritettavaa vesistön vedenkorkeuden alentamista. Oikeudellisessa mielessä järjestelyyn luetaan myös vesistön tai sen osan täyttäminen sekä maa- ja vesialueen kuivattaminen pengertämällä (vrt. tulvasuojelu).

Vesistön kunnostus on yhteisnimike toimenpiteille, joilla pyritään jo pilaantuneen vesistön tilan parantamiseen. Tämän ohella puhutaan vesistön kuntoonpanosta ja kohennuksesta tarkoitettaessa yleensä toimenpiteitä, joilla vesistön tilaa parannetaan sen käyttökelpoisuutta silmälläpitäen, kun huomiota ei kiinnitetä siihen, johtuuko ko. tarve vesistön pilaantumisesta, luonnollisista tekijöistä tai yleensä käyttötarpeiden muuttamisesta. Em. käsitteiden määrittelyt ja käyttötavat eivät kuitenkaan ole täysin vakiintuneet.

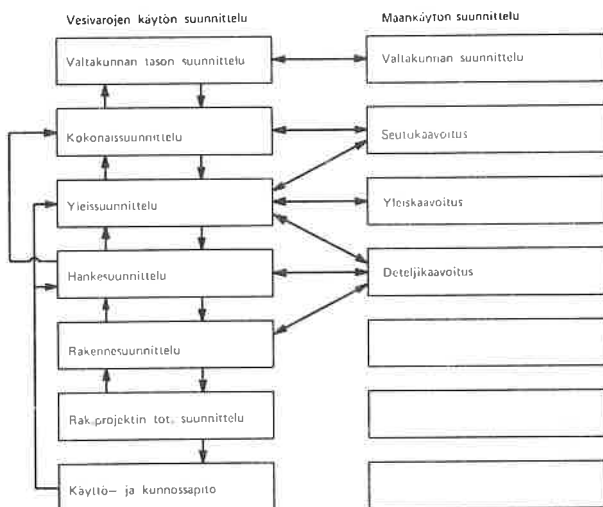
Maankuivatustoimenpiteillä tarkoitetaan vahinkoa ja haittaa tuottavan veden poisjohtamista maa- tai vesialueelta niin, että tätä voidaan käyttää haluttuun tarkoitukseen. Tarkoituksista, joissa maankuivatukselle asetettavat vaatimukset eroavat toisistaan, voidaan mainita alueen käyttö kasvintuotantoon, asutukseen, rakennuspaikkana, tiealueena jne.

Käyttömuotoihin kohdistuva suunnittelu liittyy läheisesti tai on osa maankäytön suunnittelua. Maankäytössä erotetaan käyttö maatalousmaana, metsätalousmaana, rakennusmaana ja erityisaluekäyttö. Maatalousmaa käsittää viljelyskasvien tuotantoon ja karjatalouden harjoittamiseen käytetyn maan lukuunottamatta metsämaata, joka käsittää puun tuotantoon käytetyn maan. Rakennusmaaksi luetaan maa-alueet, joita käytetään tai on varattu käytettäväksi talonrakennustarkoituksiin (voidaan käyttää myös nimitystä tonttimaa). Erityisalueita ovat edellämainittujen ulkopuolelle jäävät rannan maankäyttötavat, mm. uimarannat, vedenhankinnan suoja-alueet, satama-, varasto- ja luonnonsuojelualueet.

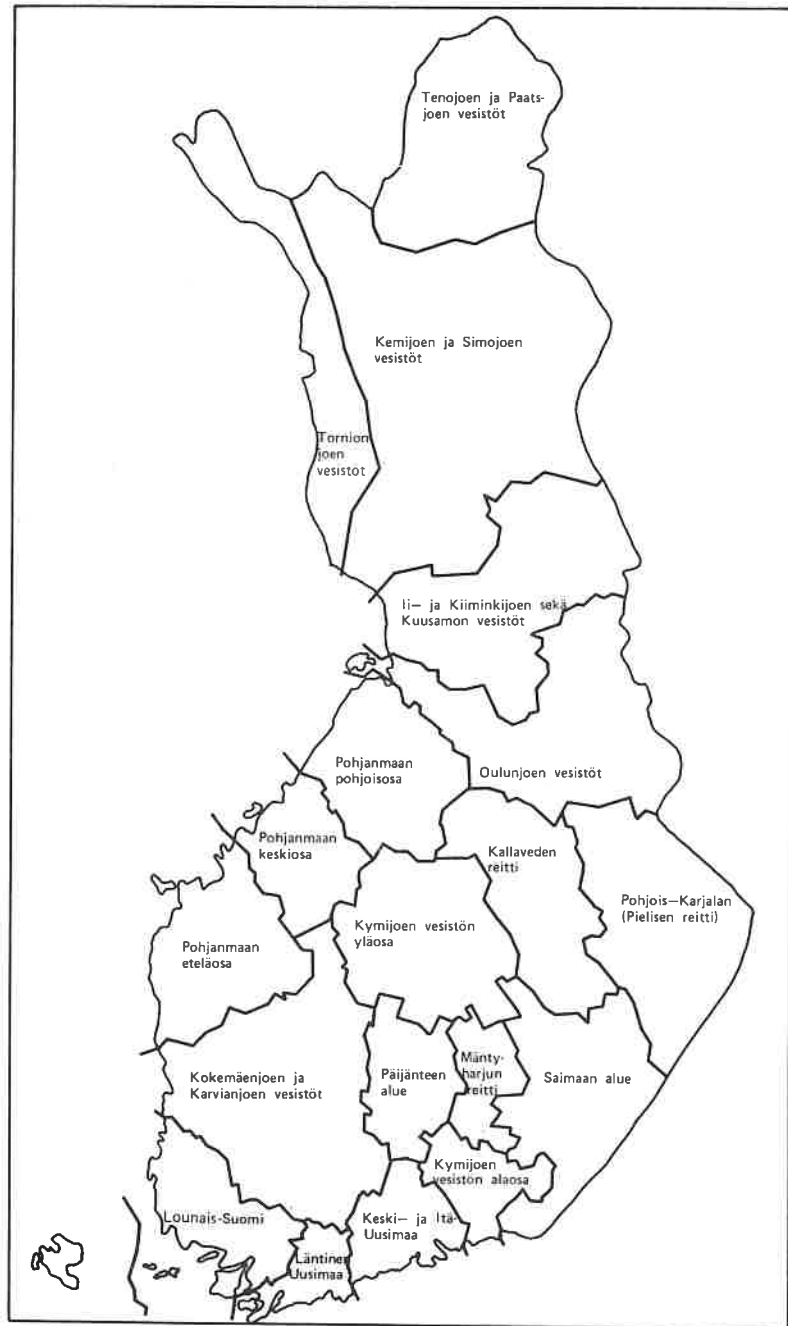
6.2 Suunnittelujärjestelmä

6.21 Suunnittelutasot ja suunnittelualueet

Vesivarojen käytön suunnittelussa ei ole vielä muodostunut selvää käytäntöä eri suunnittelutasojen ja suunnittelutehtävien osalta. Pääpiirteissään voidaan suunnittelu jakaa tasoihin kuvan 6.2 esittämällä tavalla. Kuvassa eri tasot on rinnastettu varsinaisen maankäytön suunnittelun vaiheisiin tai tasoihin.



Kuva 6.2. Vesivarojen ja maankäytön suunnittelutasot.



Kuva 6.3. Vesien käytön kokonaissuunnittelun aluejako.

Valtakunnan tasolla suunnittelu on lähinnä toimintojen suunnittelua, jossa arvioidaan esim. käyttömuotokohtaisesti kehittämistarve ja kehittämisedellytykset luonnonresurssien ja taloudellisen toiminnan kannalta. Tämän suunnittelutason tulisi osaltaan antaa tavoitteet alemman tason suunnittelulle. Esimerkkeinä suunnitelmista voidaan mainita vesiensuojelun periaatteet vuoteen 1985 (1975) ja vesiensuojelun ja vesihuollon rahoituskomitean mietintö I (1975).

Kokonaissuunnittelu on alueellista suunnittelua, jossa tavoitteena on suunnittelualan vesivaroihin kohdistuvien erilaisten intressien yhteensovittaminen ja pitkän tähtäyksen ohjelman luominen vesivarojen hyväksikäytölle. Suunnittelutasolle on tavanomaista alueen vesivarojen ja niiden käyttötarpeiden sekä tarvittavien vesivarojen käyttöä pysyvästi sitovien laajojen hankkeiden yhteiskunnallisen edullisuuden ja rahoitusmahdollisuuksien selvittäminen. Kokonaissuunnittelusta huolehtivat Suomessa vesihallintoviranomaiset. Suomi on jaettu talous- ja vesistöaluejaon perusteella 19:ään kokonaissuunnittelualueeseen. Ensimmäinen suunnittelukierros on lähes kokonaan suoritettu. Aluejako on esitetty kuvassa 6.3.

Yleissuunnittelu on suppeampaa aluetta, vesistöä tai sen osaa tai muutamaa kuntaa koskevaa suunnittelutoimintaa, jossa kohteena on jokin käyttömuoto tai vesistön tila. Käyttömuodoista erityisesti vedenhankinta ja jätevesien johtaminen vaativat monessa tapauksessa usean kunnan yhteistoimintaa. Vesivarojen tilan puolella yleissuunnittelu on hankkeiden yleissuunnittelua, jossa selvitetään erilaisten kyseeseen tulevien hankkeiden keskinäiset ja vesistövaikutukset sekä määrätään tältä pohjalta ehdot hankkeiden toteutustavalle. Voidaan sanoa, että yleissuunnittelu on tällöin vaihtoehtoisten keinojen hakemista vesistön käyttökelpoisuuden parantamiseksi ja näin ollen keinojen ja tilan muutosten vaikutusten edullisuuden arviointia. Yleissuunnittelu voidaan em. perusteilla määrittellä toiminnallisten kokonaisuuksien mitoitus-, sijoitus- ja kannattavuustarkasteluksi, jossa kokonaisuus määräytyy joko vesivarojen tai niiden käytön perusteella.

Yleissuunnittelua ei toistaiseksi suoriteta systemaattisesti, vaan se kohdistuu lähinnä kiireellisesti ratkaistaviin ongelmiin ja on käytännössä tavallisimmin osa joko kokonaissuunnittelua tai hankesuunnittelua.

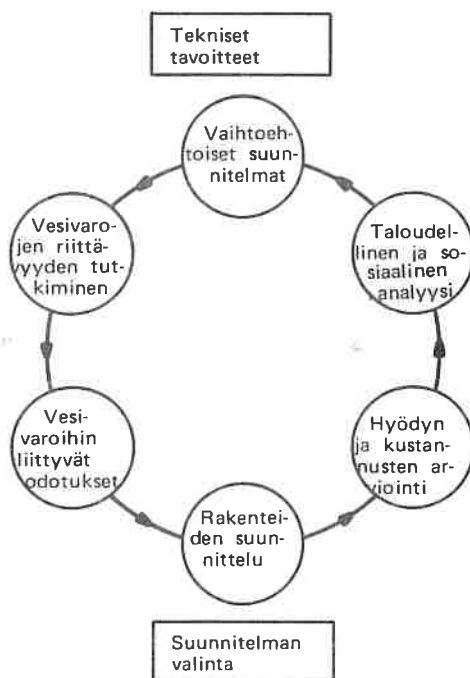
Hankesuunnittelussa selvitetään yksityiskohtaisesti toteutustapa siltä osin kuin se on tarpeen kustannusten, ympäristövaikutusten, hyötyjen ja vahinkojen ja niiden jakautumisen selvittämiseksi. Näitä selvityksiä tarvitaan ennen muuta vesivaroja koskevien hankkeiden oikeudellisessa lupakäsittelyssä luvan edellytysten selvittämiseksi ja lupaehtojen määrittämiseksi. Hankesuunnittelu antaa lopputulokseksi aina vain yhden toteutusvaihtoehdon, kun taas edellisissä suunnitteluvaiheissa annettiin raja-arvot tämän toteutukselle.

Yksityiskohtaista rakenne- ja rakennusprojektin toteutussuunnittelua ei yleensä ole tarpeen suorittaa, ennenkuin hankkeen toteuttamiseen on pää-

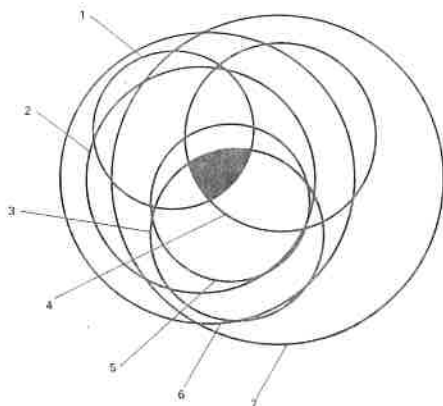
tetty ryhtyä ja siihen on saatu lupa. Rakenteiden käytön suunnittelua tulee taas esimerkiksi vesistön säännöstelyn yhteydessä suorittaa jo aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa tai se voi olla jopa pääosa suunnittelusta. Toisaalta lupaehtojen puitteissa voidaan suorittaa jatkuvaa käyttöä koskevaa selvitystyötä tai lupaehtoja voidaan yksinomaan käytön osalta muuttaa.

6.22 Suunnitteluprosessi

Esitettyä jakoa eri suunnittelutasoihin voidaan toisaalta pitää enemmänkin keinona jakaa ongelmakokonaisuus ratkaisutyypiltään erilaisiin osatehtäviin kuin ajallisesti tasolta toiselle etenevänä suunnitteluprosessina. Suunnittelua tapahtuu jatkuvasti kaikilla tasoilla, ja alemmilla tasoilla tehdyt ratkaisut rajaavat osaltaan valinnanvaraa. Sekä eri suunnittelutasoja että erillistä suunnittelutehtävää tarkastellen on suunnittelu iteratiivinen prosessi, joka voidaan esittää esim. kuvien 6.4 ja 6.5 mukaisesti.



Kuva 6.4. Suunnittelun päävaiheet.



1. Ympäristövaikutukset
2. Taloudellinen kenttä
3. Poliittinen kenttä
4. Sosiaalinen kenttä
5. Tekninen toteuttamiskelpoisuus
6. Resurssit
7. Tarpeet

Kuva 6.5. Suunnitelman toteuttamiskelpoisuus.

Käytettävissä on rajoitettu määrä taloudellisia ja vesiresursseja, joilla on tyydytettävä tarpeet. Yleensä resurssien rajoissa voidaan muodostaa vaihtoehtoja, jotka ovat toteuttamiskelpoisia teknilliseltä ja taloudelliselta kannalta, mutta jotka eivät ehkä tyydytä sosiaalisia, ympäristöllisiä ja poliittisia arvoja sekä päinvastoin.

Seuraavat seikat tulisi vesivarojen käytön suunnittelijan aina selvittää kunakin vaihtoehtoon osalta:

- 1) kannattavuusnäkökohdat
- 2) ympäristönäkökohdat
- 3) riski- ja epävarmuustekijät
- 4) rahoitusnäkökohdat
- 5) lainsäädännölliset näkökohdat
- 6) poliittiset näkökohdat

Liian suppean tarkastelukulman välttämiseksi vesivarojen käytön suunnitelman kannattavuutta tulisi arvostella yhteiskunnallisten kokonaisvaikutusten avulla. Vaikutukset on esitettävä kokonaisuudessaan riippumatta siitä, voidaanko ne arvioida rahassa. Ympäristönäkökohtien merkitys on viihtyisyyden kannalta erittäin tärkeä. Ympäristönäkökohtien huomioon ottamisen ei kuitenkaan tarvitse merkitä vesivarojen taloudellisesta hyväksikäytöstä luopumista. Vesien käyttö on sopeutettava siten, ettei tehdä mitään peruuttamatonta, mikä tarpeettomasti supistaisi luonnonvaroja tulevilta sukupolvilta.

Suunnittelu perustuu nykytietouteen teknisistä mahdollisuuksista ja olettauksiin yhteiskunnan tulevasta kehityksestä. Sentähden suunnitelmavaihtoehtoja on suoritettava erityinen herkkyyshanalyysi, jossa tarkastellaan, kuinka herkästi vaihtoehtoon edullisuus muuttuu laskennan perustana olevien olettamusten muuttuessa.

Suunnitelman toteuttamiseen tarvitaan aina rahaa. Rahoitusmahdollisuudet ovat yleensä määräävämpiä hankkeiden toteutusta rajoittavia tekijöitä kuin

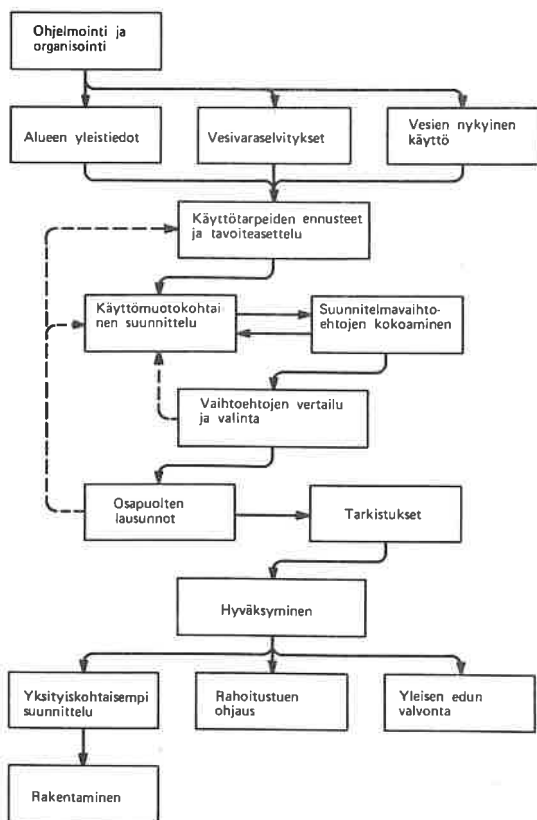
laskennallinen kannattavuus. Laajoissa hankkeissa on valtiovallan osuus yleensä merkittävä hankkeiden toteutuksessa ja rahoituksessa.

Rahoitukseen verrattavana ehdottomana edellytyksenä hankkeen toteuttamiselle on, että se on vesilain määräysten mukainen.

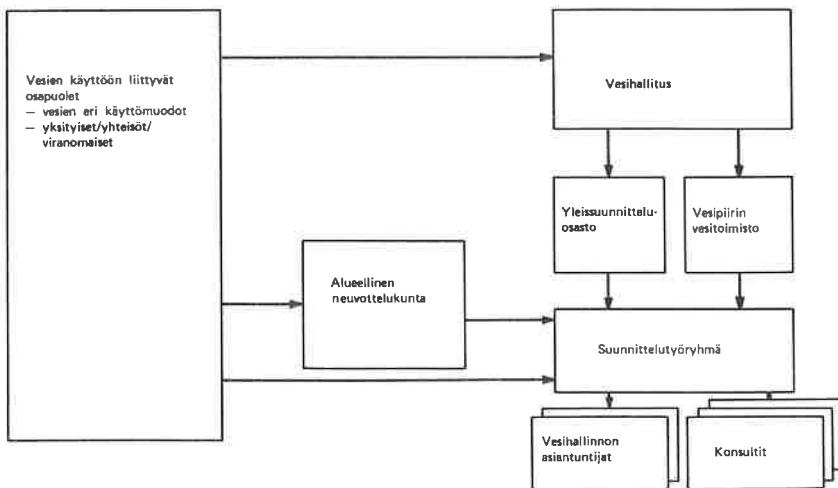
Koska vesien käytön suunnittelu on osa yhteiskuntasuunnittelua, on suunnitelmavaihtoehtojen kokoamisessa asianmukaista painottaa myös näiden poliittisten näkökohtien ja realiteettien merkitystä. Poliitiikan aloja, joilla on oleellista merkitystä vesien käytön kannalta, ovat:

- teollisuuspolitiikka
- maatalouspolitiikka
- liikennepolitiikka
- työllisyyspolitiikka
- kehitysaluepolitiikka.

Vesien käytön kokonaissuunnittelun osalta suunnitteluprosessi ja suunnitteluorganisaatio on esitetty kuvissa 6.6 ja 6.7.



Kuva 6.6. Vesien käytön kokonaissuunnittelun kulku.



Kuva 6.7. Vesien käytön kokonaissuunnitelman laatimisen organisaatio.

6.3 Taloudellisen suunnittelun yleispiirteet

Taloudenpito tai taloudellinen suunnittelu laajimmassa merkityksessä koskee valintatilanteita, jotka täyttävät seuraavat ehdot:

1. Päämääriä on useita
2. Resurssit ovat niukat
3. Resursseilla on vaihtoehtoisia käyttömahdollisuuksia

Keskeisenä ongelmana on niukkuudesta johtuva valinta. Tarpeita vastaavan hyödykemäärän tuottamiseen ovat käytettävissä olevat resurssit aina vähäiset ja taloudellisen suunnittelun tehtävä on selvittää, kuinka nämä niukat resurssit ovat edullisimmin käytettävissä haluttuihin päämääriin pyrittäessä.

Taloudellinen suunnittelu on osa yhteiskunnallista suunnittelua ja toimintaa, mutta päämäärien valinta ja painotus on arvostuskysymys, joka ei kuulu taloudellisessa suunnittelussa ratkaistaviin asioihin. Laajassa mielessä taloudellinen suunnittelu koskee kaikkien niiden aineellisten tavaroiden ja aineettomien palvelusten tuottamista, jotka tyydyttävät erilaisia fyysisiä, sosiaalisia ja kulttuuritarpeita. Suppeassa mielessä tarkastelu rajataan toimintaan, jossa resurssien käyttöä ja tavoitteiden saavuttamista voidaan mitata luotetavasti rahassa.

Teknisluonteiseksi voidaan ongelma katsoa silloin, kun tavoite on yksikäsitteisesti annettu eikä resurssien vaihtoehtoista käyttöä tarvitse ottaa huomioon.

Taloudellisen suunnittelun valintatilanteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään.

1. Toteutusresurssit ovat rajoitetut.
2. Tavoite on yksikäsitteisesti annettu.
3. Toteutusresurssit ja tavoitteet ovat liukuvia, esim. jatkuvia funktioita hankkeen edullisuudesta.

Kohdassa 1 kaikki annetut, mutta rajoitetut resurssit, käytetään ja suunnittelun tehtävänä on löytää ratkaisu, joka maksimoi kokonaishyödyn. Kohdassa 2 vastaavasti minimoidaan taloudellisten resurssien käyttöä. Kohdassa 3 ratkaisu valitaan uhrausten ja saavutettavien hyötyjen suhteen perusteella. Ryhmät 1 ja 2 ovat samalla ryhmän 3 pelkistetyt ääritapaukset, jotka eivät esiinny puhtaina muuten kuin suppeissa suunnittelutehtävissä. Tämä johtuu ensisijaisesti siitä, että lyhyen aikavälin tehtävissä voidaan resurssit tai tavoitteet katsoa annetuiksi, kun taas riittävän pitkän aikaperiodin osalta ovat resurssit ja tavoitteet suurelta osalta tuntemattomia.

Parhaan toteutus- tai toimenpidevaihtoehdon valinta vaatii kriteeriä, joka asettaa vaihtoehdot paremmuusjärjestykseen. Päätöksentekotilanteesta sekä uhraus- ja hyötyvaikutusten mitattavuudesta riippuu, millaisia kriteerejä on mahdollista muodostaa ja millaiset ovat mielekkäitä käytettäväksi. Lähtien mitattavuudesta voidaan todeta, että kriteeri voi erotella vaihtoehtoja enintään sillä tarkkuudella, minkä määrää vaikutusten mitattavuustaso. Kuitenkin voidaan aina ainakin osa vaikutuksia mitata rahassa ja tältä osin voidaan käyttää varsinaisia taloudellisia, kvantitatiivisia kriteerejä.

Mikäli vaikutuksia ei voida mitata samalla tavoin rahassa, sisältyy kvantitatiivisten kriteerien käyttöön merkittävä vaara virheelliseen tulokseen johtavasta osittaisoptimoinnista. Kvalitatiivisia kriteerejä käsitellään suunnittelu-tekniikan yhteydessä, koska käytettävä tekniikka määräytyy osaltaan vaikutusten mitattavuudesta.

Varsinaisia taloudellisia optimikriteerejä, jotka ovat yleisesti käytössä, ovat seuraavat:

1. Kustannusten minimi
2. Hyödyn maksimi
3. Hyödyn ja kustannusten eron maksimi
4. Hyödyn ja kustannusten suhteen maksimi
5. Sisäisen korkokannan maksimi

Kustannusten minimi on optimikriteerinäärkevin silloin, kun tavoitetaso on yksikäsitteisesti annettu. Hyödyn maksimointi soveltuu vastaavasti tilanteeseen, jossa toteutusresurssit ovat annetut. Nämä kaksi kriteeriä ovat samalla ainoat, jotka eivät edellytä hyödyn mittausta rahassa. Näiden käyttö edellyttää, että toimenpiteiden laajuus on etukäteen rajattu joko hyödyn tai resurssien käytön puolelta.

Kriteerit 3—5 soveltuvat toimenpiteiden laajuuden mitoitukseen edellyttäen, että vaikutukset voidaan mitata rahassa.

Hyödyn ja kustannusten eron maksimissa ovat samalla rajahyödyt yhtäsuuria kuin rajakustannukset. Hanketta ajatellen saavutetaan tällöin suurin mahdollinen hyöty, mutta verrattuna muihin resurssien käyttömahdollisuuksiin investointi voi olla epätaloudellisen laaja, koska viimeisen suoriteyksikön tuottama nettohyöty on nolla. Hyötykustannussuhteen maksimi antaa tästä syystä hankkeelle pienemmän optimikoon kuin edellinen kriteeri, mutta ei varsinaisesti osoita optimaalista laajuutta muihin resurssien käyttömahdollisuuksiin nähden.

Sisäinen korkokanta osoittaa sen korkokannan, jolla vertailuajankohtaan diskontattujen uhrausten ja hyötyjen arvo on yhtä suuri. Kriteeri soveltuu parhaiten valmiiden vaihtoehtojen keskinäiseen vertailuun, mutta sitä voidaan käyttää myös laajuuden optimointiin, jos korkokannalle annetaan tavoitearvo.

Kriteerejä 3—5 voidaan yleensä menestyksellä käyttää vain, jos hankkeen vaikutukset voidaan arvioida rahassa. Jos aineettomat vaikutukset ovat vähäisiä tai ne ovat eri toimintavaihtoehtoilla samanlaisia, voidaan kuitenkin kaikkia em. kriteerejä käyttää hankkeen optimointiin. Kriteerit eivät tällöin sovellu mittaamaan hankkeen varsinaista taloudellista kannattavuutta, vaan osoittavat ainoastaan edullisimman vaihtoehdon.

6.4 Suunnittelutekniikat

Käytetyin ja edelleen tavanomaisin suunnittelutapa on kokemukseen ja kekseliäisyyteen perustuen laatia vaihtoehtoisia teknisiä ratkaisutapoja, joilla pyritään saavuttamaan asetetut tavoitteet. Usein luonnonolosuhteet määräävät jo suoraan, millainen ratkaisu tulee kyseeseen. Parhaan tai riittävän hyvän toteutusvaihtoehdon valinta tapahtuu vertaamalla kustannuksia tavoitteiden saavuttamiseen ts. hyötyyn. Yksinkertaisimmassa tapauksessa hyödyt ja uhraukset ovat yksiselitteisesti rahassa mitattavia.

Laajojen projektien kokonaistarkastelussa on ainoana vaihtoehtona tällainen kustannus-hyötyanalyttinen lähestymistapa. Suunnittelussa on aina pyrkimys löytää optimiratkaisu. Vesivarojen suunnittelussa ovat kuitenkin kohteena oleva luonnonprosessi sekä ympäristö- ja taloudelliset vaikutukset niin komplisoituja, että suunnittelutehtävää ei yleensä pystytäkään pukemaan niin yksikäsitteiseen, lähinnä matemaattiseen, muotoon, että voitaisiin täydellä varmuudella tietää, onko optimi saavutettu.

Tapauksissa, joissa tavoite on yksikäsitteinen ja ongelma on voitu pukea yksinkertaiseen matemaattiseen muotoon, se on voitu ratkaista analyttisillä

ja graafisilla menetelmillä käsinlaskuna. Toteutusvaihtoehtojen määrän lisääntyessä ovat optimoinnissa mahdollisia käyttökelpoisia menetelmiä tietokone-laskentaan kehitetyt menetelmät mm. lineaarinen ja dynaaminen optimointi.

Simulointi ei ole varsinainen optimointimenetelmä vaan paremminkin tekniikka tutkia tarkasteltavan systeemin käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa. Kysymyksessä on lähinnä hyväksyttävien ratkaisutapojen löytäminen, joihin voidaan myös luotettavasti päästä, elleivät käytetyt kriteerit ole erityisen herkkiä systeemin tilaa kuvaavien parametrien muutoksille. Simulointi on käyttökelpoisiin menetelmä silloin, kun tarkasteltavan systeemin matemaattisen mallin muuttujat eivät ole deterministisiä, mutta niillä on tunnettu tilastollinen jakauma ja kun malli on liian monimutkainen käsiteltäväksi muilla optimointimenetelmillä.

Vesivaroja koskevan hankkeen suunnittelun ja optimoinnin yhteydessä puhutaan usein systeemianalyysin soveltamisesta. Tällöin tarkoitetaan, että tarkasteltava osa luonnosta sekä taloudellisesta ja sosiaalisesta toimintaympäristöstä jaetaan valitulla tarkkuudella toiminnallisiin yksiköihin ja tämän rajatun reaaliaikailman osan rakennetta ja toimintaa kuvataan käsitteellisesti tasolla. Parhaassa tapauksessa tällaisesta reaalisyysteemistä on muodostettavissa matemaattinen malli. Tämä on kuitenkin aina reaalisyysteemin yksinkertaistettu kuvaus ja mallia muodostettaessa on tehtävä valintaa kuvaus-tarkkuuden ja mallin käytön helppouden välillä. Yleensä tilanne on sellainen, että perustietojen puutteellisuudesta johtuen tai muusta syystä joudutaan tekemään varsin suuria yksinkertaistuksia. Joka tapauksessa tarkasteltavan systeemin toiminnan selvittäminen kuuluu oleellisena osana suunnitteluun.

Yhteenvetona voidaan todeta, että suunnittelu voi tapahtua ja yleensä tapahtuu yhdistelmänä erilaisista menetelmistä, joiden valinta riippuu tehtävän luonteesta, käytettävissä olevista perustiedoista, henkisisistä resursseista ja käytettävissä olevasta laskentakapasiteetista. Erityisesti lineaarinen ja dynaaminen optimointi sekä simulointi on kehitetty tietokoneita hyväksikäyttäväksi suunnittelu- ja optimointivälineiksi, kun taas yhteiskunnallinen kustannushyötyanalyysi on perustaltaan käsityöläismäistä. Se antaa tilaa tai luo kehykset subjektiivisten valintojen ja arvostusten sijoittamiselle analyysiin ja soveltuu täten parhaiten ylemmän päätöksenteon apuvälineeksi erityyppisten valmiiden projektiehdotusten keskinäisessä vertailussa.

Kustannushyötyanalyysia on Suomessa perinteellisesti käytetty jo vuosikymmeniä erilaisten vesitaloudellisten hankkeiden kannattavuusarvioinnissa. Tällöin kuitenkin yleensä on pitäyditty hankkeen välittömien taloudellisten, rahassa mitattavien uhrausten ja hyötyjen vertailuun. Edellämainitut muut vaikutukset ovat jääneet systemaattisen tarkastelun ulkopuolelle, koska ongelmien laaja-alaisuudesta johtuen ei ole pystytty muodostamaan selvää metodiikkaa arviointien suorittamiseksi. Toisaalta vesivarojen käytön kokonaissuunnittelua, johon yhteiskunnallinen kustannushyötyanalyysi on erityisen sovelias, on Suomessa suoritettu vasta muutaman vuoden ajan.

Esimerkiksi kustannushyötyanalyysistä, jossa arvioidaan yhteismitattomia vaikutuksia, sopii ensimmäiseksi Suomessa valmistuneen vesien käytön kokonaissuunnitelman, Kymijoen vesistön alaosan, vaihtoehtojen edullisuusvertailu.

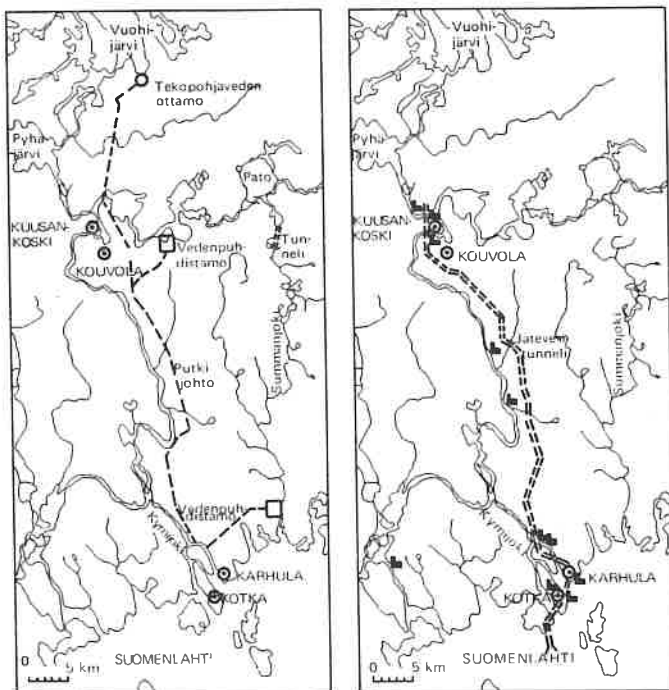
Päävaihtoehtoilla pyrittiin seuraaviin Kymijoen laatutasoihin.

I Kymijoen vesi laatuluokkaan III

II Kymijoen vesi laatuluokkaan II

Päävaihtoehdossa I (kuva 6.8) vedenhankinta järjestetään siten, että Kotkassa ja Karhulassa voidaan luopua likaantuneen Kymijoen käytöstä vedenhankintaan. Näiden kaupunkien vedentarpeen tyydyttämisen suhteen muodostuu kolme alavaihtoehtoa:

- Ia pohja- ja tekopohjavettä Selänpäästä koko Kymijokivarren Kuusankoski—Kotka tarpeisiin.
- Ib pintavettä Valkealan reitiltä putkijohdolla Anjalankosken, Karhulan ja Kotkan tarpeisiin.
- Ic pintavettä Summanjoen kautta Valkealan reitiltä Karhulaan ja Kotkaan.



Kuva 6.8. Kymijoki-suunnitelman päävaihtoehdot.

Alavaihtoehtoissa Ib ja Ic Kuusankoski käyttäisi pintavettä kuten nykyisin ja Kouvola pohja- ja tekopohjavettä Valkealan reitin varren esiintymistä. Alavaihtoehdossa Ic Anjalankosken taajamat turvautuisivat paikallisiin pohjavesiesiintymiin.

Käsitellyt jätevedet johdetaan paikallisesti Kymijokeen ja mereen.

Päävaihtoehto II jakautuu alavaihtoehtoihin jätevesien käsittely- ja johtamismahdollisuuksien perusteella. Vedenhankinta järjestetään paikallisista vesivaroista nykyisiä vesilaitoksia kehittäen ja laajentaen. Kuusankoski, Kotka ja Karhula käyttävät edelleen Kymijoen pintavettä sekä Kouvola ja Anjalankoski Pohja- ja tekopohjavettä.

Yhdyskuntien jätevedet käsitellään samoin kuin vaihtoehdossa I. Alavaihtoehdossa Ila teollisuusjätevedet käsitellään vain mekaanisesti ja vaihtoehdossa I Ib kemiallisesti ja johdetaan molemmissa tapauksissa Kymijoen ohi tunnelissa mereen. Alavaihtoehdossa I Ic pyritään lisäksi mahdollisimman korkeaan ligniinireduktioon kiinnittämällä erityistä huomiota suurimman kuormittajan, Kuusanniemen sulfaattiselutehtaan, jätevesiin. Purkupaikkana käytetään Kymijokea.

Eri vaihtoehtojen kustannukset ja rahassa arvioidut hyödyt on esitetty taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1. Kymijoen vesistön alaosan kokonaissuunnitelmavaihtoehtojen rahalliset hyödyt ja kustannukset.

Vaihtoehto	Käyttöveden laatu-arvostus Mmk	Kalatalous-hyöty Mmk	Virkistys hyöty Mmk	Hyödyt yhteensä Mmk	Kustannukset yhteensä Mmk	Nettokustannukset Mmk
Ia	9,9	0,8	4,6	15,3	210	195
Ib	2,3	0,8	4,6	7,7	201	193
Ic	0	0,8	4,6	5,4	196	191
Ila	0,8	-0,4	7,0	7,4	171	164
I Ib	0,8	0,0	7,0	7,8	248	240
I Ic	0	0,8	4,6	5,4	234	229

Ei-rahamääräisten vaikutusten vertailussa käytetään hyväksi normitusmenetelyä, jossa vaihtoehdoille annetaan hyvyysarvot. Menettelyä on selostettu tarkemmin seuraavassa.

Rahalla arvostamattomien hyötyjen määrittämisessä on pyritty löytämään vaihtoehdoille keskenään vertailukelpoiset, ns. hyvyysarvot, joiden vaihteluvälinä on käytetty pistelukuja 0—100. Hyvyysarvot on määrätty käyttäen apuna mittauksia tai silloin, kun tämä ei ole ollut mahdollista, harkintaan perustuvaa vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä. Vertailun pohjaksi (huonoimmaksi arvoksi) on pyritty ottamaan tilanne, joka saavutetaan

puunjalostusteollisuuden vuoteen 1974 mennessä tapahtuvilla kuormituksen vähentämistoimenpiteillä.

Hyvyysarvot on niissä tapauksissa, joissa ne pohjautuvat mittalukuihin, laskettu kaavalla

$$h_i = 100 \cdot \frac{m_i - m_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}},$$

missä h_i = vaihtoehdon hyvyysarvo

m_i = vaihtoehdon mittaluku

$m_{\min}$ = mittaluvun huonoin arvo

$m_{\max}$ = mittaluvun paras arvo.

Normitusmenettely on eri kriteerien kohdalla seuraava:

Kymijoen tilan osalta on mittaluvun pohja-arvona (0) käytetty vuoteen 1974 mennessä aikaansaattavia kuormitusarvoja. Kiintoaine-, BHK₇- ja ligniini-kuormat (t/vrk) on arvioitu yhtä merkittäviksi. Huippuarvo 100 v. 1980 saavutetaan vaihtoehdoilla Ila ja I Ib.

Merialueen tilan suhteen hyvyysarvot on määrätty laskennallisesti arvioitujen keskimääräisten BHK₇- ja fosforipitoisuuksien avulla. Huonoin tilanne syntyy vaihtoehdossa Ila, jonka hyvyysarvo on 0 ja parhain vaihtoehdossa I ja I Ic (100).

Ekologisen hyvyyden korkein arvo saavutetaan vaihtoehdossa, jossa luontoon laskettava jätemäärä on pienin. Hyvyysarvoja määrättäessä on otettu huomioon myös muita näkökohtia, kuten esimerkiksi, että jätteiden siirto paikasta toiseen on arveluttavaa ja että uuden alueen (esim. meren) joutuminen jätevesien vaikutuksen piiriin on epäedullista.

Riskittömyyden avulla on arvosteltu vaihtoehtojen käyttövarmuutta. Riskittömimmäksi on arvostettu vaihtoehto, jossa vesi otetaan muualta kuin Kymijoesta, sillä vedenhankintavesistössä oleva teollisuus muodostaa tietyn jatkuvan onnettomuusvaaran ja vedenhankinnassa jätevesien kuormittamasta vesistöstä saattaa olla tuntemattomia vaaratekijöitä. Em. arvaamattomilla tekijöillä tarkoitetaan mm. jätteissä olevien aineiden (myrkyt, ligniini jne.) mahdollisia vaikutuksia ihmisiin. Vaihtoehdolle I Ic, joka on riskitekijällä mitattaessa selvästi heikoin, ei ole annettu hyvyysarvoa 0, koska silläkin saavutetaan selvästi parempi tilanne kuin vuoteen 1974 mennessä. Vaihtoehtojen I arvostelussa on perusteena ollut tekopohjaveden turvallisuus suhteessa pintaveteen esim. kriisiaikana ja putkijohdon turvallisuus suhteessa avouomaan. Edelleen on kiinnitetty huomiota kriisiajan minimivedentarpeen tyydyttämismahdollisuuteen pohjavedestä sellaisten yhdyskuntien osalta, jotka muuten käyttäisivät pintavettä (Kuusankoski, Kotka, Karhula Ia ja Kotka ja Karhula Ib).

Rahoitettavuuden arvioinnissa ovat olleet keskeisiä rahoituksen aikataulu ja suuruus sekä hankkeen rahoittajat ja heidän lukumääränsä. Arvostelussa on lähdetty siitä, että vaihtoehdot I sekä IIa ja IIb ovat yhteishankkeita ja että käyttökustannukset ovat sekundäärisessä asemassa investointeihin nähden, sillä lyhyessä ajassa suoritettavat rakennusinvestoinnit saattavat muodostua toteuttamisen pullonkaulaksi käytettävissä olevien rahoitusresurssien ollessa rajallisia. Vaihtoehtojen vertailu on suoritettu diskontattujen rakennuskustannusten suhteessa ottamalla hyvyysarvoksi 100 tilanne, jossa ainoina vesi-huoltotoimenpiteinä ovat paikallisten vedenottamojen laajennukset. Vaihtoehdo, jonka rakennuskustannukset ovat suurimmat (IIb), saa puolestaan hyvyysarvon 0.

Elinkeinoelämän kehittymismahdollisuuksiin eri vaihtoehdot vaikuttavat siten, että käytettäessä vesistöä vedenhankintaan tai -johtamiseen asetetaan rajat vesistön muulle käytölle. Vaatimustason kohotessa vedenhankintavesistöön sallitaan laskettavan yhä vähemmän jätevesiä. Tästä syystä vaihtoehto IIc on arvostettu selvästi heikoimmaksi ja vaihtoehto Ic huonommaksi kuin Ia ja Ib. Jätevesitunneli voi vaikeuttaa uusien teollisuuslaitosten sijoittumista alueelle ja se asettanee vaihtoehdot IIa ja IIb vaihtoehtoja I heikompaan asemaan.

Vaikutus yhdyskuntarakenteen kehitykseen ja muuhun maankäyttöön on sekin eri vaihtoehtoisissa erilainen. Vaihtoehtoisissa Ia ja Ib on vedenhankintajärjestelmä Kymijokivarressa, minne ovat keskittyneet Kymenlaakson asutus, teollisuus ja liikenneväylät. Ne samoin kuin jätevesipuolella vastaavasti vaihtoehdot IIa ja IIb tukevat siis Kuusankoski-Kotka akselin yhdyskuntien kehittymistä päinvastoin kuin vaihtoehto Ic, joka saattaisi olla Haminan ja sen teollisuuden kehityksen kannalta edullinen. Alemman tason keskukset Kausala ja Elimäki ovat vaihtoehtojen vaikutuspiirin ulkopuolella. Vaihtoehtoilta ei ole katsottu mahdolliseksi antaa hyvyysarvoja tämän kriteerin osalta.

Seuraavassa taulukossa on esitetty vaihtoehtojen hyvyysarvot eri kriteerien suhteen samoin kuin vaihtoehtojen nettokustannukset, jotka saadaan vähentämällä kokonaiskustannuksista rahalla arvostettavat hyödyt.

Taulukko 6.2. Nettokustannukset ja rahalla arvostamattomat hyödyt.

Vaihtoehto	Nettokustann. Mmk	Kymijoen tila	Merialueen tila	Ekologinen hyvyys	Riskittömyys	Rahoitettavuus	Elink. eläm. kehitt. mahd.
Ia	195	49	100	75	100	1,9	100
Ib	193	49	100	75	80	28	100
Ic	191	49	100	75	60	32	90
IIa	164	100	0	50	50	15	60
IIb	240	100	22	50	50	0	60
IIc	229	55	100	100	41	41	20

Vaihtoehtojen keskinäisen paremmuuden arvioimiseksi on hyvyysarvot laskettu yhteen ja lisäksi vielä määrätty hyöty-kustannussuhde jakamalla hyvyysarvojen summa nettokustannuksilla. Kutakin rahalla arvostamatonta kriteeriä on pidetty yhtä tärkeänä eikä niille ole annettu erilaisia painoja. Vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseksi on saatu seuraava:

Taulukko 6.3. Vaihtoehtojen edullisuusjärjestys.

Vaihtoehto	Hyöty yhteensä	Hyöty/nettokust.	Järjestyssija
Ia	443	2,27	1
Ib	432	2,23	2
Ic	406	2,13	3
IIa	225	1,37	5
IIb	282	1,18	6
IIc	336	1,47	4

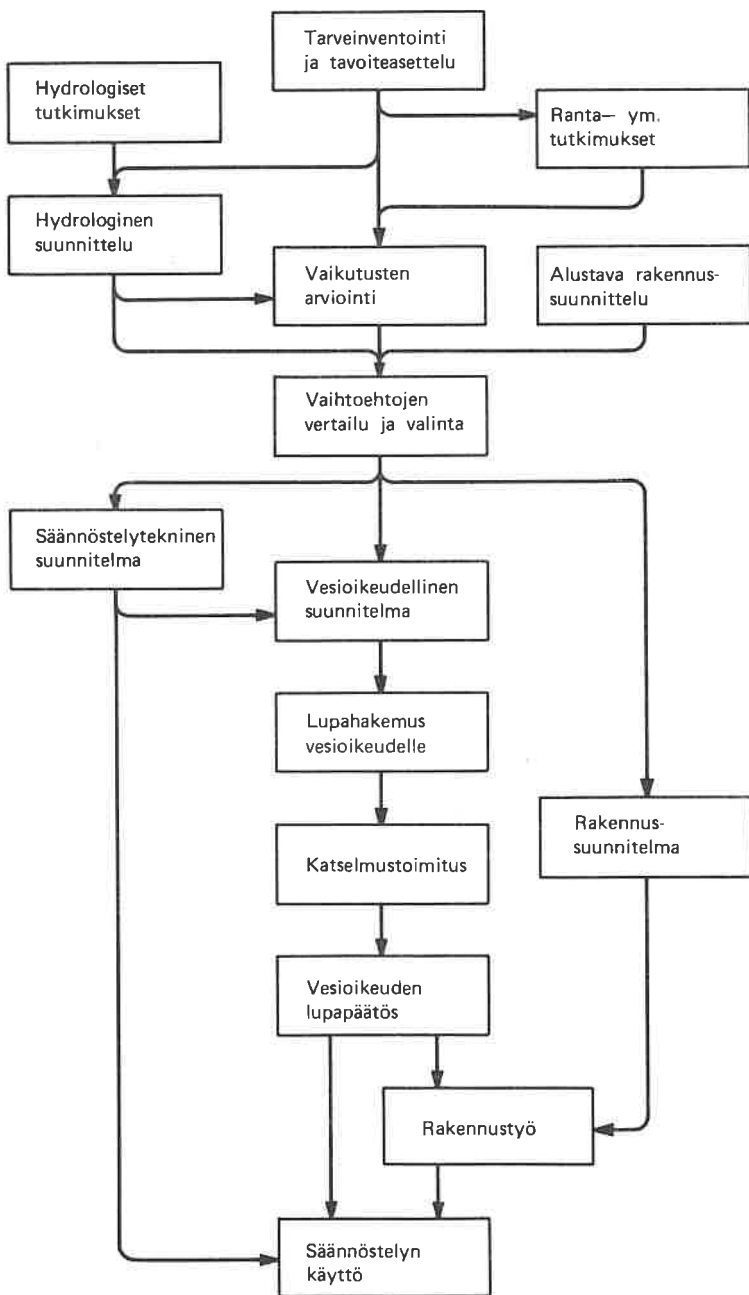
Näin määritellyn hyöty-kustannussuhteen absoluuttinen arvo ei luonnollisesti ilmaise mitään eikä myöskään suhteen arvolla 1 ole mitään erityistä merkitystä. Sen sijaan tunnuslukujen suuruusjärjestys ja niiden keskinäiset suhteet ovat merkitseviä. Vaihtoehdot I näyttävät olevan vaihtoehtoja II selvästi parempia. Sen sijaan vaihtoehtojen Ia, Ib ja Ic keskinäistä paremmuutta ei ole voitu hyöty-kustannussuhteen perusteella ratkaista.

6.5 Hankesuunnittelun pääpiirteitä

6.51 Järjestely ja säännöstely

Teknisenä terminä vesistön säännöstelyllä tarkoitetaan vesistön luonnollisten virtaamien muuttamista keinotekoisesti hallituksi ja jatkuvasti säädeltäväksi virtaamaksi. Vesistön järjestelyllä vastaavasti tarkoitetaan toimenpidettä, jolla vesistön vedenkorkeudet muutetaan pysyvästi. Järjestelystä on seurauksena yleensä myös virtaamien muuttuminen, mutta virtaamia ei säädellä.

Järjestelyn ja säännöstelyn oikeudellinen määrittely lähtee tarkoituspästä. Tällöin järjestelyyn voi kuulua toimenpiteitä, jotka teknisesti ovat säännöstelyä. Suunnittelun kannalta järjestelyn ja säännöstelyn ongelmat ovat hyvin samanlaisia. Kuvassa 6.9 on esitetty säännöstelyhankkeen osavaiheet. Keskeisimmät tehtävät ovat hydrologinen suunnittelu ja vaikutusten arviointi. Rakennustöiden laajuudesta ja geoteknisistä olosuhteista riippuen saattaa myös rakennussuunnittelu muodostua vaikeimmiksi suunnittelutehtäväksi.



Kuva 6.9. Säännöstelyhankkeen osavaiheet.

Hydrologinen suunnittelu käsittää seuraavat osatehtävät:

- vedenkorkeus- ja virtaama-aineiston käsittely ja ennakkoarviot
- säännöstelylaskelmat (varastolaskelmat)
- padotus- ja juoksutussääntö

Taloudellisten vaikutusten arviointi suoritetaan käyttömuodoittain vakiintuneiden arviointitapojen mukaisesti.

Taloudellisen ja hydrologisen tiedon yhteennitova suunnittelu, sopivan padotus- ja säännöstelyohjeen hakeminen tapahtuu yleensä kokeilemalla erilaisia vaihtoehtoja. Erityisinä ongelmina varsinaisten matemaattisten optimointimenetelmien soveltamiselle ovat tulovirtaaman stokastisuus ja hyöty- ja vahinkovaikutusten eri aikaperiodien väliset riippuvuudet.

Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että järjestelyssä ja säännöstelyssä ovat nykyisin Suomen olosuhteissa lähtökohtina maatalouden määräämä ylin vedenkorkeus, kalatalouden määräämä alin vedenkorkeus ja virkistyskäytön määräämä maksimaalinen vaihteluväli kesäaikana ja tulvasuojelun ja vedenhankinnan määräämät yli- ja alivirtaamat. Suunnittelijan tulee selvittää nämä rajat ja löytää ehdot täyttävä ratkaisu.

6.52 Ojitus

Ojituksella teknisenä terminä tarkoitetaan maankäytölle haitallisten vedenkorkeuksien alentamista ja vesien poisjohtamista avo- tai salaojien avulla. Ojitus on osa maankuivatustoimenpiteitä, joihin ojituksen ohella kuuluvat pintavirtauksen järjestely, veden varastointi, pengerryskuivatus, maanpinnan kohottaminen ja vesistön järjestely.

Kuivatusalueen vesitalouteen maankuivatuksesta aiheutuvien välittömien vaikutusten perusteella kuivatukset voidaan jakaa tulvien poistoon ja pohjavedenpinnan alentamiseen. Yleensä kuivatuksesta seuraa molempia vaikutuksia.

Veden poisjohtamisessa tarvittavaa käyttöenergiaa silmälläpitäen maankuivatus jaetaan keinokuivatukseen ja luonnolliseen kuivatukseen. Edellisessä tarvitaan veden johtamiseen jossakin vaiheessa pumppuamista ja jälkimmäisessä johtaminen voidaan suorittaa gravitaation avulla.

Kuivatustehtävät voidaan kuivatusteknisen hierarkian mukaan jakaa peruskuivatukseen ja paikalliskuivatukseen. Peruskuivatus palvelee ensisijaisesti paikalliskuivatusmahdollisuuksien turvaamista. Paikalliskuivatuksella tarkoitetaan pääasiassa kuivatusalueelle suoraan satavien tai lumesta ja roudasta vapautuvien haitallisten vesien poisjohtamista. Peruskuivatus tarkoittaa pääasiassa kuivatusalueen ulkopuolelta valuvien haitallisten vesien poisjohtamista tai korkean pohjaveden alentamista niin, että paikalliskuivatus voidaan toteuttaa.

Toisena vaihtoehtona perus- ja paikalliskuivatusten määrittelyssä on luetella kuivatusrakenteet, jotka kuuluvat kuhunkin ryhmään. Tällöin ei kuitenkaan ole merkitystä sillä, toteutuuko kuivatus rakenneteknisesti avoimia tai peitettyjä uomia käyttäen.

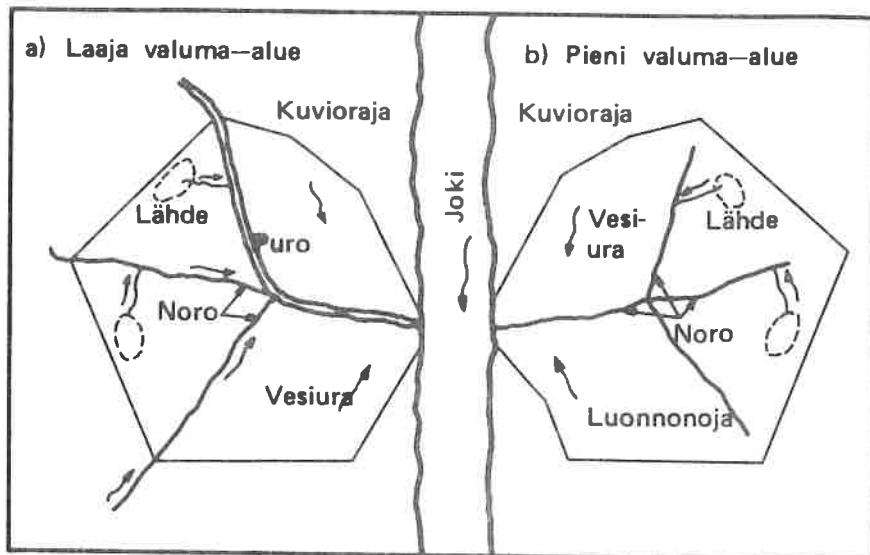
Paikalliskuivatukseen luetaan kuivatustehtävät, jotka suoritetaan tai voidaan suorittaa normaalissa salaojituksessa imuojien ja kokoojan muodostaman ojaston avulla. Peruskuivatukseen jäävät tätä laajemmat kuivatustehtävät. Myös putkiojitus, jossa yhdessä putkessa johdetaan usean kokoojan vedet lasku-uomaan, katsotaan paikalliskuivatukseksi, jos putkiojaan ei johdeta merkittävässä määrin kuivatusalueen ulkopuolelle tulevia vesiä.

Oikeudellisesti maankuivatus jaetaan kahteen pääryhmään: vesistön järjestely ja ojitus. Vesistön järjestelyssä vedenkorkeuden alentamistoimenpiteet kohdistuvat vesilain tarkoittamiin vesistöihin. Toimenpiteisiin voi teknisessä mielessä kuulua myös vesistön säännöstelyä. Samoin maankuivatustarkoituksessa tehty vesialueen täyttäminen sekä vesistöön liittyvä maa- ja vesialueen kuivattaminen pengertämällä katsotaan oikeudellisessa mielessä vesistön järjestelyksi.

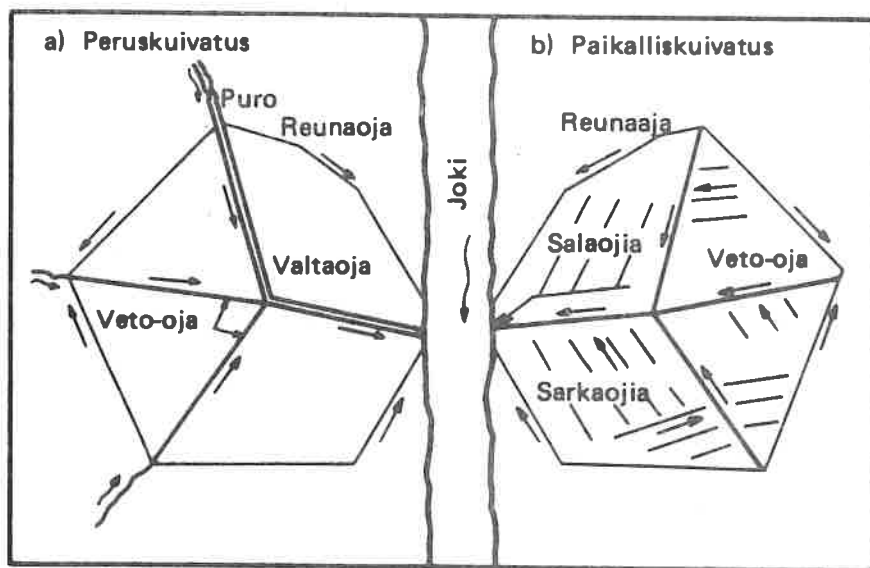
Ojituksiksi katsotaan kuivatustoimenpiteet, joissa perataan vesistöä vähäisempiä vesiuomia. Myöskin silloin, kun toimenpiteen seurauksena on pienemmän järven vedenkorkeuden aleneminen, voidaan sitä pitää vesilain mukaan ojituksena, edellyttäen, että järven merkitys vesistöä on vähäinen.

Myös ojituksessa tulee usein kyseeseen penkereiden ja pumppuamoiden rakentaminen.

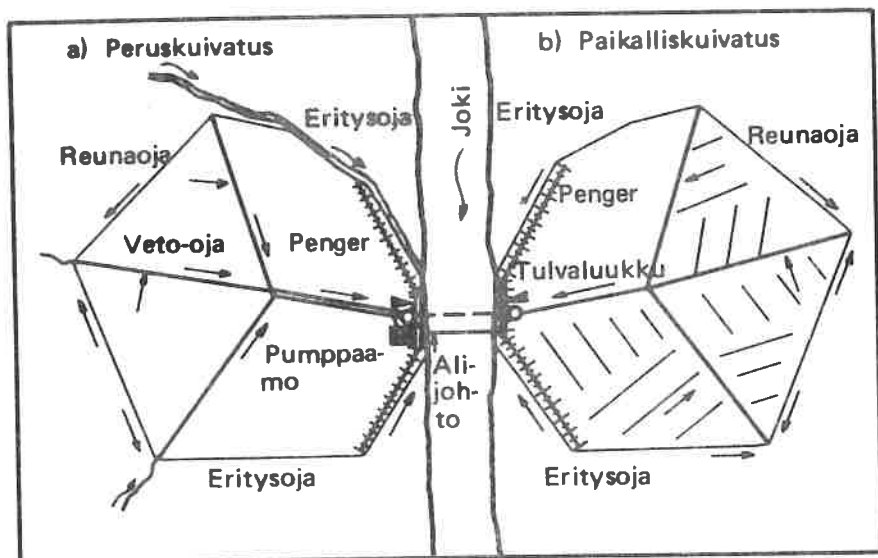
Kuvissa 6.10...6.13 on esitetty kuivatustoiminnan tyypilliset kehitysvaiheet ja vesiuomien nimitykset. Kuvassa 6.14 on esitetty salaojitustavat ja niihin liittyvät nimitykset. Avo-ojien mitoitusuureet on esitetty kuvissa 6.15 ja 6.16.



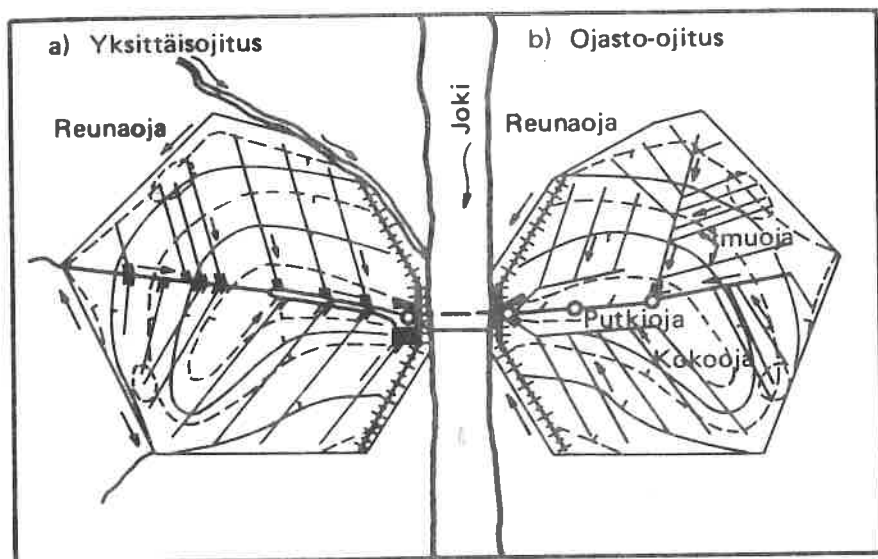
Kuva 6.10. Ojittamaton viljelyalue.



Kuva 6.11. Viljelyalueen luonnollinen kuivatus.



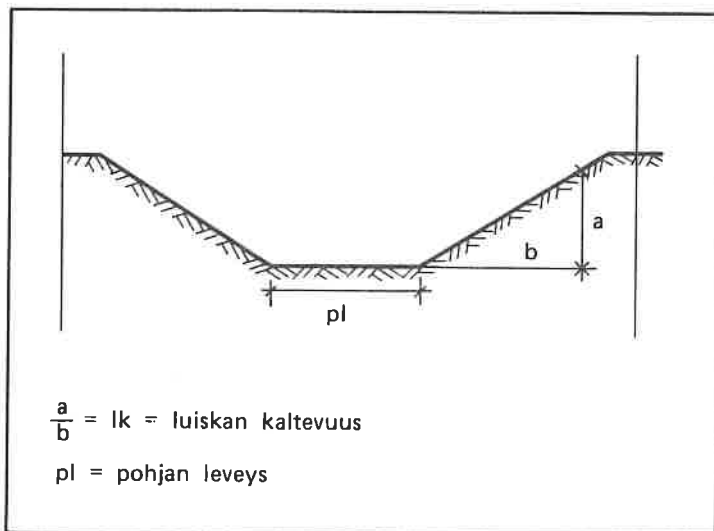
Kuva 6.12. Viljelyalueen keinokuivatus.



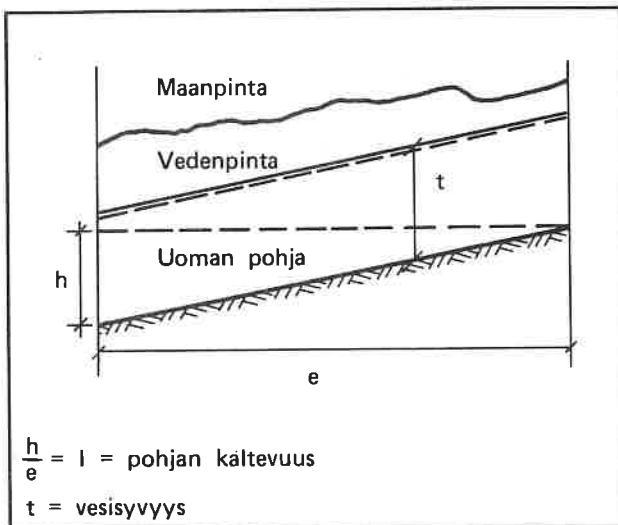
Kuva 6.13. Viljelyalueen salaojitus.

		Järjestelmäojitus	Hajaojitus
Ojasto- ojitus	Pitkit- tainen		
	Poikit- tainen		
Yksit- täisoi- jitus	Pitkit- tainen		
	Poikit- tainen		

Kuva 6.14. Salaojitustavat.



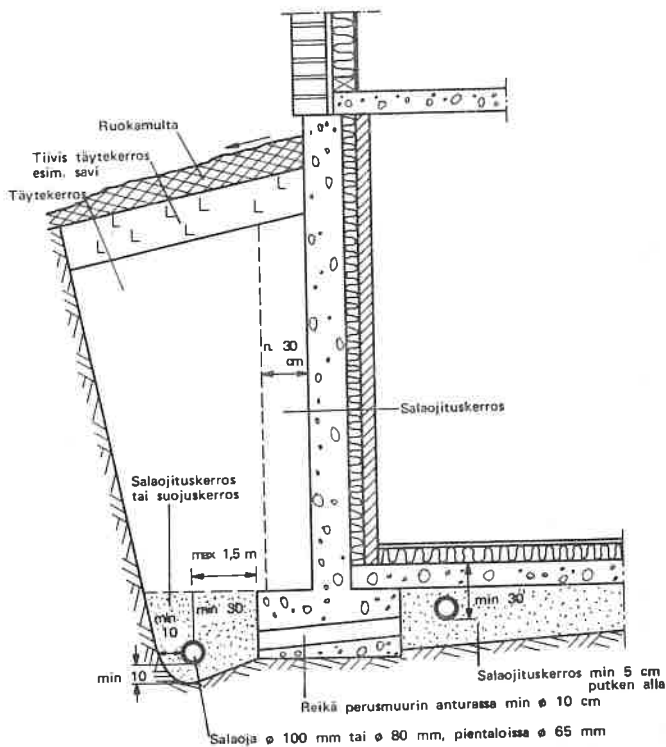
Kuva 6.15. Luiskan kaltevuus.



Kuva 6.16. Uoman pohjan kaltevuus.

Peruskuivatustarkoituksessa suoritettavassa valtaojituksessa selvitetään suunnittelun lähtötietoina kuivatustarve, maankäyttötavat, nykyinen kuivatustila, paikalliskuivatustoimenpiteet, vesiuomien koot, tarvittavat uomien siirrot, vesiuomiin liittyvät rakenteet ja maaston korkeussuhteet. Virtaamien arviointi tapahtuu tavallisesti käsikirjatietojen perusteella. Uomat mitoite-taan tavallisimmin ylivirtaama-arvon HQ 1/20 ja paikalliskuivatuksen kui-vatussyvyysvaatimuksen perusteella.

Paikalliskuivatustarve ja tekninen toteutus on hyvin erilainen eri maan-käyttötavoilla. Metsän osalta kuivatussyvyys on 60...80 cm ja kuivatus toteutetaan lähes yksinomaan avo-ojituksena. Pelloilla kuivatussyvyys on n. 120 cm, jos käytetään salaojitusta ja ojaväli vaihtelee maaperästä ja maan-pinnan viettosuhteista riippuen välillä 10...40 m. Taajama-alueilla kuivatus-tehtävät ovat puistojen, katujen ja rakennusperustusten kuivatusta. Pelto-alueisiin verrattuna pyritään huomattavasti tehokkaampaan kuivatukseen ja suunnittelu on varsin tapauskohtaista. Kuissa 6.17 ja 6.18 on esitetty raken-nusperustusten tyypillinen kuivatustapa.



Kuva 6.18. Salaojien sijainti lattiatasoihin ja perusmuurissa oleviin reikiin nähden. Normaalitypaus.

6.53 Kastelu

Hydrologisen kierron vaihteluista johtuen tarvitaan usein myös Suomen olosuhteissa kastelua. Meillä kastelu on tyypiltään ns. täydentävää kastelua, jolla pyritään ensisijaisesti tietyn satotason turvaamiseen myös kuivina kasvukausina. Sitä ei ole pidettävä samanlaisena perusedellytyksenä kuin kuivastusta, jonka järjestäminen salaojituksella on miltei aina toteutettava ennen kastelutoimenpiteitä. Täten samalla viljelyalueella voi tulla kyseeseen tulva-aikoina kuivatus ja alkukesän pitkäaikaisina sateettomina periodeina kastelu. Tällöin nämä toimenpiteet täydentävät toisiaan ja mahdollistavat maaperän vesitalouden tarkoituksenmukaisen järjestelyn niin, että kosteusolosuhteet ovat koko kasvukauden mahdollisimman suotuisat kasvustolle.

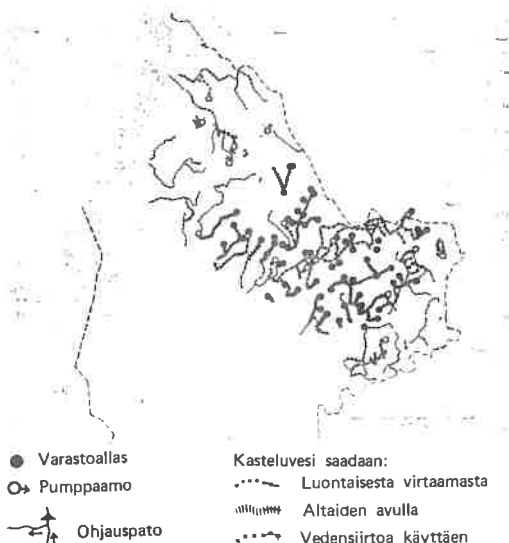
Kasterussa käytetyt menetelmät ovat seuraavat:

1. Pohjavesikastelu
2. Valutuskastelu
3. Sadetuskastelu

Pohjavesikastelussa pyritään pohjavesipinta pitämään niin korkealla, että kasvien juuristokerros pysyy kosteana. Valutuskastelu soveltuu loiville rinnealueille, joissa vesi voidaan pumpputa rinteeseen yläosaan. Sadetuskastelussa vesi johdetaan putkissa paineen avulla sadettiin, josta se purkautuu satteenomaisesti kasteltavalle alueelle. Suomessa kastelu on miltei yksinomaan sadetuskastelua, mutta pohjavesikastelun mahdollisuus pyritään ottamaan huomioon kuivatusten suunnittelussa.

Suomessa kastelutarvetta peltoviljelyksessä on lähinnä maan etelä- ja lounaisosissa. Sopivaksi kertosadetusmääräksi on tiiviillä maalajilla osoittautunut 30 mm. Kuivina kesinä on osoittautunut edulliseksi suorittaa saman-
suuruinen uusintasadetus.

Kastelun suunnittelu voidaan jakaa kahteen pääosaan: kasteluveden hankinta ja kastelun suoritus. Kastelutarve ajoittuu kesäkuuhun noin 10...20 vrk:n aikajaksoon. Maksimisadetusrankkuus määräytyy maalajin ja kasvi-
peitteen perusteella. Vaihteluväli on 3...15 mm/h. Vaikka kasteluvesimäärät Suomen olosuhteissa ovat sinänsä vähäisiä, aiheuttaa kastelun keskittyminen lyhyelle ajanjaksolle sen, että vesiuomien luontaiset virtaamat eivät mones-
tikan riitä kasteluveden hankintaan. Lisävedentarve voidaan tyydyttää rakentamalla varastoaltaita, tai jos olosuhteet sallivat säännöstelemällä järviä ja siirtämällä vettä toisilta vesistöalueilta. Suunnitteluongelmat ovat saman-
laisia kuin vesistön järjestelyssä ja säännöstelyssä. Esimerkkinä kasteluveden hankinnan vaatimista toimenpiteistä on kuvassa 6.19 esitetty vesien käytön kokonaissuunnittelussa Lounais-Suomessa suoritettavaksi ehdotetut toimen-
piteet.



Kuva 6.19. Lounais-Suomen kasteluveden hankintasuunnitelma.

6.54 Vesistön kunnostus

Vesistön kunnostustoimenpiteenä tulevat kyseeseen seuraavat menetelmät:

- järven vedenkorkeuden tai pinta-alan muuttaminen. Esimerkkinä voidaan mainita laskettujen järvien uudelleen nostaminen, joka lähitulevaisuudessa tulee ilmeisesti olemaan eniten toteutettava kunnostustoimenpide Suomessa.
- järven virtaamien ja virtaussuuntien muuttaminen. Esimerkkinä tällaisesta toimenpiteestä voidaan mainita lisäveden johtaminen kunnostettavaan järveen viipymän pienentämiseksi ja järven huuhtomiseksi.
- vesimassan ilmastaminen ja hapettaminen. Erityisesti tulee kyseeseen kerrostuneisuuden purkaminen johtamalla paineilmaa alusveteen sekä alusveden ilmastus siten, että kerrosteisuus ei purkaudu. Tähän pääryhmään kuuluu myös alusveden pumppuaminen ylös ja sekoittaminen päällysveteen.
- tietyn vesikerroksen poisjohtaminen. Lähinnä tulee kyseeseen hapettoman ja siitä syystä väkevöityneen alusveden poisjohtaminen. Joissakin tapauksissa saattaa keväisen levätuotannon maksimin aikana tapahtuva päällysveden poisjohtaminen olla kuitenkin alusveden poisjohtamista parempi ratkaisu.
- biomassan poistaminen. Toimenpiteet kohdistuvat lähinnä vesikasvien, planktonin ja kalaston poistamiseen. Tässä yhteydessä voidaan todeta, että vesikasvien ja levien kemiallista torjuntaa on limnologiselta kannalta pidettävä erittäin arveluttavana.
- fosforin saostaminen. Tämä menetelmä soveltuu erityisesti alusveden ilmastuksen yhteydessä käytettäväksi. Menetelmän lopullinen merkitys ei kuitenkaan ole vielä selvillä. Ensimmäisten saostuskokeiden tekemisestä ei ole vielä kulunut riittävästi aikaa osoittamaan, kuinka hyvin saostettu fosfori pysyy sedimentissä.
- pohjasedimenttien käsittely. Rehevöityneen järven pohjaliete voidaan saada terveeksi esim. poistamalla päällimmäinen, nopean rehevöitymisen aikana syntynyt pelkistynyt liete.

Jokien kunnostamisen teknilliset mahdollisuudet vastaavat eräiltä osin edellä lueteltuja järvien kunnostamismahdollisuuksia. Jokien tilaa ja käyttökelpoisuutta voidaan parantaa mm. alivirtaamia lisäämällä, perattuja koskia entisöimällä, eräissä tapauksissa lisäämällä vedenkorkeutta pohjapadoilla ja pohjasedimenttien poistolla. Tämän lisäksi tulevat luonnollisesti kysymykseen erilaiset jokien rantaan kohdistuvat toimenpiteet, joilla parannetaan jokien maisemallista arvoa ja mm. estetään rantojen syöpyminen.

Sopivan kunnostamismenetelmän valinta on suoritettava vesistön yksilölliset ominaisuudet huomioon ottaen. Usein on tarkoituksenmukaista yhdistää erilaisia menetelmiä.

6.6 Vesioikeuskäsittely

6.61 Käsittelyn tarkoitus

Suomessa samoin kuin muissakin Pohjoismaissa vesivarojen käyttöoikeudet määräytyvät pääasiallisesti yksityisoikeudellisen omistusoikeuden pohjalta. Vastakohtana tälle on muualla yleinen lähtökohta, jossa merkittävät vedet ja vesialueet katsotaan julkisiksi tai valtion omiksi. Yksityisille vesistön käyttöoikeus on joko luontainen etuus tai luvat annetaan hallinnollista tietä. Suomessa vesivarojen käyttöoikeus on pääasiallisesti omistusoikeuteen kuuluva etuus ja käyttöä rajoittavat yleistä etua ja toisen omaisuuden käyttöä suojaavat kieltonormit, joihin saadaan poikkeuksia vain oikeusteitse. Luonnossa vapaasti olevan vesinesteen ja kalojen ei kuitenkaan katsota olevan omistusoikeuden kohteena, vaan alueen omistaja ainoastaan vallitsee niitä. Käytännössä käsitteiden välinen ero on vähämerkityksellinen.

Omaisuuksien oikeussuojan merkitys ilmenee vesistöä koskevien hankkeiden arvioinnissa kahdella tapaa. Toisaalta tulee arvioitavaksi, onko hankkeen takana olevalla yrityksellä sellainen oikeudellinen asema ko. vesistöön nähden, että se on muodollisesti pätevä ryhtymään hankkeeseen, ja toisaalta tulee arvioitavaksi, koskeeko ja missä määrin hanke toisten tahojen omaisuusetuksia ko. vesistössä.

Vesistön tarjoamat etuudet katsotaan yleistaloudelliselta kannalta siinä määrin merkittäviksi, että oikeusjärjestelmä sallii hankkeet, jotka varsin laajastikin rajoittavat toisten tahojen omaisuuden käyttömahdollisuutta. Hankkeen tulee tällöin kuitenkin ennen toteuttamista käydä läpi vesilaissa määritelty lupakäsittely, jossa tulee arvioitavaksi hankkeen tuottamat etuudet ja vahingot ja jossa perustetaan hankkeen toteuttamista varten tarvittavat oikeudet.

Oikeudellisen käsittelyn lähtökohtana on, että jos vesistön välitön hyväksikäyttö tai muu siihen kohdistuva toimenpide voi aiheuttaa vesistön tilan muutoksen kautta vesistön muulle käytölle tai sitä koskeville omaisuusarvoille enemmän kuin vähäiseksi arvostettavia haitallisia seurauksia, on ko. toiminta ilman vesioikeuden erityisesti siihen myöntämää lupaa kielletty. Nämä kielletyt vaikutukset luokitellaan vesistön sulkemiseksi, muuttumiseksi ja pilaamiseksi.

Vesistön sulkeminen koskee liikkumisintressiä vesistössä. Erityisesti valtaväylä on pidettävä vapaana veden juoksua, kulkemista, uittoa ja kalan kulua varten. Vesistön muuttaminen koskee vesistön aseman, syvyyden, ve-

denkorkeuden tai vedenjuoksun muutosta. Vesistön pilaaminen tarkoittaa sellaisten aineitten päästämistä vesistöön, joista aiheutuu vesistön madaltumista, veden laadun vahingollista muuttumista ja vahinkoa kalakannalle.

Vesistön veden laadun tai muiden vesistön tilaa kuvaavien ominaisuuksien muuttaminen on eräissä rajoissa täysin sallittua ilman erityistä lupaakin. Luvanvaraisuuden pääehtona varsinkin muuttamisen ja pilaamisen osalta on, että ko. muutosta arvostetaan enemmän kuin vähäisessä määrin haitalliseksi.

Jos vesioikeus katsoo hankkeen haittavaikutusten olevan laaja-alaisia ja loukkaavan huomattavassa määrin ulkopulisten etua, se voi määrätä suoritettavaksi erityisen katselmuskäsittelyn, jossa selvitetään hankkeesta koituvat haittavaikutukset ja määrätään tarvittavat korvaukset ja maksut. Katselmuskäsittelyn suorittaa vesioikeuden pyynnöstä vesihallituksen määräämä insinööri. Tälle ns. toimitusinsinöörille voidaan määrätä avustavia virkamiehiä tarpeen mukaan. Katselmusinsinöörin ja avustavien virkamiesten ohella hankkeen katselmustoimituksen toimitusmiehiin kuuluu kaksi uskottua miestä, joiden tulee olla joko maanjako-oikeuden jäseniksi tai jakotoimituksia varten uskotuiksi miehiksi valittuja kunnallisia luottamushenkilöitä.

Vesioikeus voi määrätä asiantuntijan avustamaan toimitusmiehiä heidän käsitellessään katselmustoimitukseen kuuluvia asioita. Asiantuntijana saat-
taa olla vesioikeuden sihteeri tai erityisen alan asiantunteva henkilö.

6.62 Toimitusinsinöörin tehtävät

Toimitusinsinöörin tehtävät voidaan jakaa seuraaviin pääryhmiin:

1. Toimituksen johtaminen
2. Arviointitehtävät
3. Suunnittelu

Toimituksen johtaminen muodostuu pääosin seuraavista osatehtävistä:

- toimituksen ajoitus
- kokousten johtaminen
- toimitusmiesten työnjako
- huolehtiminen toimituksen lainmukaisesta suorittamisesta
- toimituksen varojen hoito.

Hankkeen vaikutuksen arviointi perustuu seuraavaan aineistoon:

- suunnitelma-asiakirjat
- alkukokouksen pöytäkirja
- maastotarkastukset
- lausunnot ja vaatimukset
- yleiset oikeudelliset, tekniset, taloudelliset ja luonnontaloudelliset arviointiperusteet.

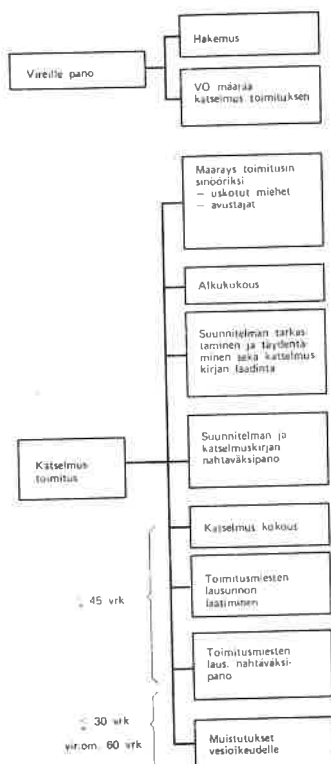
Arviointitehtävistä ovat tärkeimmät seuraavat:

- tutkitaan yrityksen edellytykset
- määrätään lupaehdot ja suoritetaan tarpeellinen suunnittelu
- määrätään korvaukset (katselmustoimituksen päätehtävä)
- määrätään valtiolle suoritettavat maksut
- suoritetaan yhteisen yrityksen kustannusten osittelu.

Vesistön järjestelyä koskevan suunnitelman tulee olla viranomaisen laatima. Ellei suunnitelmaa ole tehty ennen asiaa koskevaa vesioikeuskäsittelyä, se laaditaan katselmustoimituksen yhteydessä. Myös muissa tapauksissa toimitusinsinöörin velvollisuutena on tehdä tarpeelliseksi katsomansa muutokset ko. suunnitelmaan.

6.63 Vesioikeuskäsittelyn kulku

Vesioikeuskäsittelyn kulku käy ilmi kuvasta 6.20 ja on lyhyesti esitettyinä seuraava:



Kuva 6.20. Katselmustoimituksen päävaiheet.

Hakija toimittaa vesioikeuteen hakemuksen vesistöhankeen toteuttamiseksi, jonka perusteella vesioikeus harkitsee katselmustoimituksen pitämisen tarpeellisuuden.

Mikäli katselmustoimitus katsotaan tarpeelliseksi, pyytää vesioikeus vesihallitusta määräämään toimitusinsinöörin ja mahdolliset avustavat virkamiehet. Toimitusinsinööri kutsuu kaksi uskottua miestä.

Katselmustoimitus alkaa alkukokouksesta tiedottamalla. Alkukokouksessa, joka pidetään sillä paikkakunnalla, jossa hanke on tarkoitus toteuttaa, selostetaan suunnitelma ja tällöin asianomaiset voivat tehdä siitä huomautuksia.

Alkukokouksen jälkeen toimitusmiehet tarkistavat ja täydentävät suunnitelman sekä laativat katselmuskirjan, jossa he arvioivat suunnitelman toteuttamisen vaikutukset sekä esittävät ehdot luvan myöntämiseen.

Katselmuskirjan valmistuttua suunnitelma ja katselmuskirja toimitetaan ao. paikkakunnalle nähtäväksi.

Katselmuskokouksessa ne, joiden etua ko. hankkeen toteuttaminen voi koskea, voivat esittää huomautuksensa ja vaatimuksensa.

Katselmuskokouksen jälkeen toimitusmiehet valmistelevat lausunnon hankkeesta ja muista käsiteltävistä seikoista sekä katselmuskokouksessa tehdyistä huomautuksista ja vaatimuksista. Lausunnossa on esitettävä toimitusmiesten käsitys siitä, aiheuttavatko katselmustoimituksessa esitetty huomautukset muutoksia siihen, mitä toimitusinsinööri on katselmuskirjassa esittänyt.

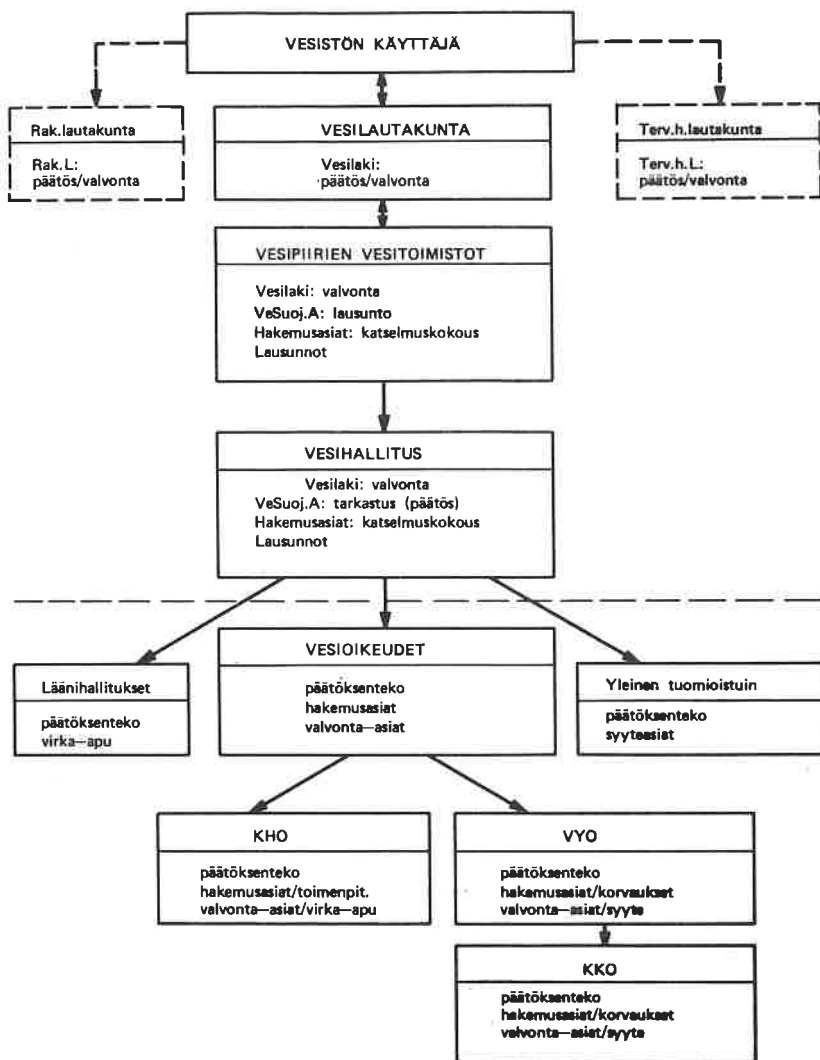
Toimitusmiesten lausunto annetaan tiedoksi toiselta puolen julkisesti kuuluttamalla ja pitämällä se nähtävänä ja toiselta puolen lähettämällä lausunnosta ja kuulutuksesta jäljennös hakijalle, vesilautakunnille ja niille viranomaisille, joiden on valvottava asiassa yleistä etua.

Toimitusmiesten lausunnosta muistutukset tehdään vesioikeudelle, joka viimekädessä määrää lupaehdot. Vesioikeus voi tehdä suunnitelmaan tarpeelliseksi katsomiaan muutoksia. Korvausten osalta vesioikeuden päätös ei saa poiketa toimitusmiesten päätöksestä ellei korvauksista ole tehty vesioikeudelle muistutusta.

6.64 Vesivarojen tilan ja käytön valvonta

Vesien valvonnan tavoitteena on turvata käyttömahdollisuuksien säilyminen, varmistua siitä, että vesivarojen käyttöoikeutta ei ylitetä ja että vesivarojen käytön seurausvaikutukset eivät ylitä ennakoituja haittoja.

Päävastuu valvonnasta kuuluu vesihallinnolle. Valvontaa suorittavat viranomaiset ovat vesihallitus, vesipiirit, vesilautakunnat ja terveydenhoitolautakunnat. Valvonnan koko toteuttamiseen osallistuvat myös oikeusistuimet kuvan 6.21 mukaisesti. Käytännössä valvonta ensivaiheessa suoritetaan havainnoimalla veden määrää, veden laatua, rakenteita ja niiden käyttöä.



Kuva 6.21. Vesien käytön valvonta.

- Bishop, A.B.** 1972. An Approach to Evaluating Environmental, Social and Economic Factors in Water Resources Planning. Water Resources Bulletin, Vol. 8 no 4.
- Eronen, V.-H.** 1965. Katselmustoimitus vesiasiassa. Vesitalous 6/1965.
- Heikkilä, M. & Tuononen, E. & Vakkilainen, P.** 1975. Matemaattisen optimoinnin perusteet vesivarojen suunnittelussa. TKK, vesitekniiikan laitos, julkaisu 5, Otaniemi.
- Heikkilä, M. & Tuononen, E. & Vakkilainen, P.** 1977. Vesivarojen laadun suunnittelun perusteita. TKK, vesitekniiikan laitos, julkaisu 8. Otaniemi.
- Hirsto, I.** 1976. Vesien käytön suunnittelun luennot TKK:ssa. (julkaisematon moniste).
- Hooli, J.** 1976. Vesien käytön suunnittelun nykynäkymiä. Vesitalous 1/1976.
- Hooli, J.** 1977. Kastelutoiminnasta Suomessa. Vesitalous 5/1977.
- Kaitera, P.** 1968. Maankuivatus. RIL, Vammala.
- Kuiper, E.** 1971. Water resources project economics. Butterworths, London.
- Laikari, H. & Kaurila, A. & Porttikivi, R. & Ruohutula, J.** 1973. Vesistön säännöstely. RIL 92. Helsinki.
- Maa- ja pohjavesisanasto.** 1976. Vesihallitus, Helsinki.
- Muotiala, S.** 1973. Tulvasuojelu, maankuivatus ja kastelu. RIL 92. Helsinki.
- Rakennuspaikan salaojitus.** 1972. RIL 81, Helsinki.
- Seppänen, P.** 1973. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet ja toteutusmahdollisuudet. Vesihallituksen julkaisuja 3, Helsinki.
- Sipilä, P. & Haverinen, A. & Hirsto, I. & Kirkkomäki, L. & Porttikivi, R.** 1973. Vesien käytön kokonaissuunnittelu. RIL 92, Helsinki.
- Tiivistelmä Kymijoen vesistön alaosan vesien käytön kokonaissuunnittelma-**
ta. 1974. Vesihallitus, Helsinki.

Valtiovarainministeriö, suunnittelusihteeristö. 1975. Toimenpiteiden hyötyjä ja haittoja koskevat selvitykset. Valtiovarainministeriö, Helsinki.

Vesiensuojelun periaatteiden soveltamisesta. 1976. Vesihallitus, Helsinki.