
**VIRTAAVAN VEDEN SISÄINEN KUORMITUS
JANAKKALAN HIDENJOESSA**




Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Maaseudun kehittämisen koulutusohjelma

Visamäki 21.11.2012

Piia Tuokko



VISAMÄKI

Maaseudun kehittämisen koulutusohjelma

Tekijä

Piia Tuokko

Vuosi 2012**Työn nimi**

Virtaavan veden sisäinen kuormitus Janakkalan Hiidenjoessa

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö on osa Vanajavesikeskuksen organisoimaa selvitystyötä, jonka päätavoitteena on tutkia Janakkalan Hiidenjoen syvänteistä aiheutuva sisäistä kuormitusta. Kesän 2012 aikana toteutettavilla tutkimuksilla kartoitetaan syvänteiden hapettomuusongelman laajuutta sekä sen vuoksi sedimentistä vapautuvan fosforin määrää. Tutkimuksen pääpaino on joelta otettavien vesinäytteenottojen ja joen syvänteiden pohjanläheiseen veteen asennettavien jatkuvatoimisten happimittareiden antamalla tuloksilla. Tutkimustuloksia verrataan aiempien kesien vesinäytteiden tuloksiin, säätilanteeseen ja joen virtaamaan.

Järvien sisäinen kuormitus on hyvin tunnettu ongelma, johon on kehitetty monenlaisia kunnostusmenetelmiä. Jokien osalta vastaavanlainen on ollut maassamme tutkimatonta aihealuetta. Opinnäytetyön tutkimustulosten avulla Hiidenjoella tehtävät mahdolliset sisäisen kuormituksen kunnostustoimenpiteet pystytään kohdentamaan oikeaan paikkaan. Työssä esitetään myös pohjasedimenttien mahdollisia kunnostustoimenpiteitä ja arvioidaan toimenpiteiden soveltuvuutta Hiidenjoen syvänteiden tilan parantamiseen.

Tutkimustulosten mukaan Hiidenjoen yli kahdeksan metrin syvänteet ovat huomattavasti alttiimpia pidempiaikaiselle hapettomuudelle kuin matalammat kohteet. Hapettomuutta esiintyy pitkään myös sateisina ja viileämpinä kesinä. Hiidenjoen kesäaikainen sisäisen kuormituksen määrä on vain 1,1 % joen vuotuisesta fosforin kokonaiskuormituksesta. Vesistön tilan ja käytettävyyden kannalta merkittävämpää on se, että sisäisen kuormituksen aiheuttama fosforipitoisuuksien kasvu ajoittuu kesäaikaan ja pääosa kuormituksesta on leville käyttökelpoista liukoista fosforia.

Sisäinen kuormitus voi olla paikallisesti ja lyhyellä ajanjaksolla erittäin suurta, mutta pidemmällä aikavälillä ulkoisen fosforikuormituksen suuruus ratkaisee Hiidenjoen tilan kehityksen. Joella on neljä syväntettä, joiden kunnostaminen olisi tärkeää niiden jokakesäisen pitkän hapettomuusajan ja kuormittavuuden vuoksi. Kohteiden kunnostamiseksi kannattaisi kokeilla happikalkkikäsittelyä ja rautakipsipeittoa.

Avainsanat Hiidenjoki, sisäinen kuormitus, hapettomuus, vesistökuunnostus**Sivut** 59 s. + liitteet 5 s.

VISAMÄKI

Degree programme in rural development

Author	Piia Tuokko	Year 2012
Subject of Master's thesis	The internal load of flowing water in Janakkala's river Hiidenjoki	

ABSTRACT

This thesis is part of research work organised by the Vanajavesi Centre, the main objective of which is to study the internal load of flowing water in Janakkala's river Hiidenjoki. During the summer of 2012, the research charted the extent of the anoxia in deep basins and, as a result, the amount of phosphorus released from sediment. The focus of the research were the results of water samples taken from the river and that of continuously operated oxygen metres that were set close to the bed of the deep basins. The results were compared with water samples results taken during previous summers, the weather situation and the river flow.

The internal load of lakes is a familiar problem, for which a wide range of restoration measures have been developed. The topic concerning rivers has remained relatively unexplored in Finland. The research results can assist in locating the correct locations for possible restoration procedures for internal loads in Hiidenjoki. The work also looks for possible restoration measures for sediment and evaluates the applicability of the measures for improving the state of Hiidenjoki's deep basins.

According to the research results, the Hiidenjoki basins that are deeper than 8 metres are significantly more susceptible to long-term anoxia than shallower locations. Anoxia occurs over a long period, even in rainy and cooler summers. The amount of the internal load during the summer in Hiidenjoki is only 1.1 % of the river's annual total phosphorus load. More important for the state of the waterway and its usability is the fact that the growth in the phosphorus concentrations, caused by internal loads, takes place in the summer and most of the internal load is soluble phosphorus useful for algae.

Locally and over a short period of time the internal load can be very large, but in the longer term, the magnitude of the external phosphorus loading will determine the development of the state of Hiidenjoki. The river has four deep basins, the restoration of which would be important due to their long anoxia periods and loading every summer. For the restoration of the locations, it may be worthwhile testing calcium peroxide treatment and covering the deep basins with a certain iron-gypsum compound.

Keywords Hiidenjoki, internal load, anoxia, watershed restoration

Pages 59 p. + appendices 5 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TYÖN TAVOITTEET, TOTEUTUS JA TYÖNJAKO.....	2
	2.1. Tavoitteet ja toteutus	2
	2.2. Yhteistyötahot	3
3	JOKIYMPÄRISTÖN OMINAISPIIRTEET	4
	3.1. Morfologian merkitys vedenlaatuun	4
	3.2. Sedimentaatio-olosuhteet	5
	3.3. Jokien tyypittely	6
	3.4. Vesistöjen luokittelu.....	6
	3.4.1. Vesistön rehevyyden luokittelu	7
	3.4.2. Vesistön yleinen käyttökelpoisuus	7
	3.4.3. Vesistön ekologisen ja kemiallisen tilan luokittelu	8
4	VESISTÖN SISÄINEN KUORMITUS	10
	4.1. Sisäisen kuormituksen keskeisimmät vedenlaadun muuttujat	12
	4.1.1. Kokonaisfosforin pitoisuus.....	12
	4.1.2. Happipitoisuus	13
	4.2. Sisäisen kuormituksen mittaaminen ja todentaminen	15
5	VESISTÖKUNNOSTUS	15
	5.1. Virtavesien kunnostus	16
	5.2. Syvänteiden kunnostusmenetelmät	17
	5.2.1. Alusveden hapettaminen	18
	5.2.2. Happikalkkikäsitteily.....	19
	5.2.3. Rautakipsipeitto.....	20
	5.2.4. Savipeitto.....	22
6	TUTKIMUKSEN KOHDE	24
	6.1. Hiidenjoen ominaispiirteitä.....	25
	6.2. Hiidenjoen syvyyskarttoitus	26
	6.3. Hiidenjoen veden laatu.....	26
	6.4. Hiidenjokeen tuleva kuormitus	27
	6.5. Hiidenjoen tutkimustulokset	27
	6.5.1. Vesinäytteiden tutkimustulokset vuosilta 1970–2010.....	29
	6.5.2. Tutkimustulokset joen eri syvyyksiltä vuosina 1987–2011	31
	6.5.3. Hiidenjoesta lähtevä fosforin kokonaiskuormitus	32
7	TUTKIMUSMENETELMÄT	33
	7.1. Jatkovatoimisten happimittareiden asennus ja toiminta.....	33
	7.2. Vesinäytteidenotot.....	35
	7.3. Happimittaukset kannettavalla happimittarilla.....	36
	7.4. Hiidenjoen sisäisen kuormituksen laskeminen	36
8	TUTKIMUSTULOKSET	36
	8.1. Jatkovatoimiset happimittarit	36

8.2. Kannettava happimittari	38
8.3. Vesinäytteet	40
8.4. Tutkimustuloksiin vaikuttavat tekijät	42
8.4.1. Sääolosuhteet	43
8.4.2. Hiidenjoen virtaama	44
8.4.3. Tutkimustulosten epävarmuustekijät ja tulevat kehitystarpeet.....	45
8.5. Tutkimuksesta tiedottaminen	46
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	47
9.1. Yhteenvedo tutkimustuloksista	47
9.2. Hiidenjoen sisäisen kuormituksen määrä.....	49
9.3. Tulosten yleistettävyys ja luotettavuus	50
10 EHDOTUS HIIDENJOEN KUNNOSTUSTOIMENPITEIKSI	51
10.1. Hiidenjoen tulevaisuus	51
10.2. Hiidenjoen kunnostustoimenpiteet	52
LÄHTEET	54

Liite 1 Tutkimusalueen kartta

Liite 2 Vesinäytteiden tuloksia

1 JOHDANTO

Runsaaslukuiset sisävesistömme ovat aina olleet oleellinen osa suomalaista luontoa. Vesistöjä on käytetty ravinnon hankkimiseen, kulkemiseen ja rahdin kuljetukseen. Suomessa alkoi 1800-luvun lopussa voimakas teollistuminen, ja teollistumisen melko vapaa kehitys jatkui aina 1960-luvulle saakka vesiensuojelunäkökohtia juurikaan huomioimatta.

Suomen vesilaki tuli voimaan 1961 käsittäen muun muassa vesistön rakentamista, vesivoimaa ja sääntelyä sekä vesistöjen käyttöä kulkuväylänä ja uitossa. Laki otti kantaa myös jätevesien johtamiseen ja viemärointiin. Maanviljelysinsinööripiireissä oli jo tuolloin vesiasiantuntemusta ja vesilain myötä piireistä tuli alueidensa vesiensuojeluviranomaisia. Vuonna 1970 perustettiin vesihallitus, jonka alaisille vesipiireille siirtyivät alueelliset vesivarojen käyttöön ja hoitoon liittyvät tehtävät. Kehittyvän viranomaisvalvonnan ja ohjauksen ansiosta vesistökuormituksen jatkuva kasvu saatiin vihdoon kuriin 1970-luvun jälkipuolella. Parempi kehityssuunta oli mahdollista erityisesti jätevesien puhdistamisen ansiosta. (Pohjois-Pohjanmaan ELY 10.6.2010.)

1.1.2012 voimaan tullut uusi vesilaki (587/2011) turvaa vesivarojen ja vesiympäristön tarkoituksenmukaisempaa käyttöä ja ehkäisee käytöstä koituvia haittoja. Laissa on muun muassa ruoppauksiin ja ojituksiin sekä vesistöjen kunnostuksen helpottamiseen liittyviä muutoksia. (Ympäristöministeriö 28.3.2012.)

Pintavesien tila kiinnostaa ihmisiä. Varsinkin reittivesistöt kulkevat monesti asutuskeskittymien lävitse, jolloin vesistössä tapahtuvat muutokset ovat kaikkien havaittavissa. Etelä-Suomen virtavedet ovat usein sameita valuma-alueiden savisesta maaperästä johtuen. Savimaat ovat myös suurelta osin maatalouskäytössä, ja peltoviljelystä aiheutuvan hajakuormituksen tiedetään olevan suurin yksittäinen vesistöjen kuormittaja niin typen kuin fosforinkin osalta. Metsä- ja turvemaiden ojitukset aiheuttavat kiintoaine- ja humuskuormitusta. Lisäksi teollisuuden ja asutuskeskittymien aikaisemmat runsaat ravinnekuormitukset näkyvät yhä vesistöjen pohjilla.

Vesistöjen liiallisesta ravinnekuormituksesta aiheutuva rehevöityminen vaikuttaa voimakkaasti vesistöjen käytettävyyteen. Hämeenlinnan seudun vesistöistä valtaosa on tyydyttävässä tai välttävissä tilassa. Monin paikoin kärsitään rehevöitymisestä, umpeenkasvusta ja sinilevähaitoista. Nykyiset toimet ovat riittämättömiä vesistöjen tilan parantamiseen. Hyvän tilan saavuttaminen edellyttää pikaisia, määrätietoisia ja pitkäaikaisia vesiensuojelutoimia. (Vanajavesikeskus n.d.)

Sisäinen kuormitus on hyvin tunnettu ja tutkittu ongelma järvissä ja järvi-en osalta ongelmaan on kehitetty myös monenlaisia kunnostusmenetelmiä. Jokien osalta vastaavanlainen on maassamme vielä tutkimatonta aihealuetta. Virtavesissä on toteutettu runsaasti ruoppauksia erinäisiin tarkoituksiin. Varsinaiset virtavesien kunnostukset ovat kuitenkin kohdistuneet lähinnä jokien ja purojen kalataloudelliseen kunnostukseen. Viime aikoina on myös ryhdytty tutkimaan vanhojen teollisuuslaitosten läheisten jo-

kiosuuksien sedimenttien haitta-aineita ja niiden kunnostusmahdollisuuksia. Virtaava vesi tuo kuitenkin monenlaisia haasteita kunnostushankkeisiin.

Hämeenlinnan seudun vesistöjen tilaa on ryhdytty parantamaan Vanajavesikeskuksen toimesta, joka on vuonna 2010 perustettu laaja-alainen ja monipuolinen Kanta-Hämeen suurhanke. Keskuksen toiminta tähtää erityisesti alueen järvien ja jokien kuntoon saamiseen. Vanajavesikeskus on perustettu pysyväksi keskuksiksi, joka hankkeistaa, koordinoi, hankkii rahoitusta ja verkostoituu sekä toteuttaa hoitotoimia maastossa. (Vanajavesikeskus n.d.) Vanajavesikeskus on toiminut alkuun Hämeen liiton alaisuudessa. Vanajavesisäätiön säädekirjan allekirjoitusten 11.6.2012 sekä säätiölle myönnetyn perustamisluvan ja sääntöjen vahvistamisen myötä 17.9.2012 kaikki toiminnot siirtyivät vuoden 2014 aikana Vanajavesisäätiölle. (Vanajavesikeskus 17.9.2012.)

2 TYÖN TAVOITTEET, TOTEUTUS JA TYÖNJAKO

Tämä opinnäytetyö on konkreettinen osoitus siitä, että vesistön tilassa havaittuun ongelmaan pyritään etsimään ratkaisua. Tutkimuksellinen opinnäytetyö on osa Vanajavesikeskuksen organisoimaa selvitystyötä, jonka tarkoituksena on tutkia Janakkalan Hiidenjoen syvänteiden tilaa ja selvittää keinoja joen sisäisen kuormituksen pienentämiseksi.

2.1. Tavoitteet ja toteutus

Opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää aiheutuuko Janakkalan Hiidenjoen syvänteistä sisäistä kuormitusta vesistöön. Työn pääpaino on kesän 2012 aikana joelta otettavien vesinäytteiden ja joen syvänteiden pohjanläheiseen veteen asennettavien jatkuvatoimisten happimittareiden (jäljempänä loggerit) antamilla tuloksilla. Tutkimuksilla kartoitetaan joen hapettomien syvänteiden määrä ja laajuus sekä syvänteiden hapettomuusjaksojen kesto. Tutkimustuloksia verrataan aiempien kesien tuloksiin sekä tämän kesän säätilanteeseen ja joen virtaamaan. Tämän perusteella arvioidaan sääolosuhteiden ja joen hydrologis-morfologisten ominaisuuksien vaikutusta Hiidenjoen syvänteistä aiheutuvaan sisäiseen kuormitukseen.

Työssä keskitytään joen happi- ja fosforipitoisuuksien kesäaikaisiin vaihteluihin tutkimuskohteiden eri syvyyksillä ja kyseisten vedenlaatuominaisuuksien merkitykseen vesistön sisäisen kuormituksen ilmentäjinä. Joen sisäisen kuormituksen aiheuttaman teoreettisen fosforikuormituksen määrä lasketaan syvänteiden pohjan pinta-alan ja syvänteiden veden laadun perusteella. Tämän avulla arvioidaan sisäisen kuormituksen merkitystä suhteessa Hiidenjoesta lähtevän fosforin kokonaiskuormitukseen.

Jos Hiidenjoella havaitaan kesän 2012 tutkimusten perusteella voimakasta sisäistä kuormitusta, on vesistön tilan parantamisen kannalta tärkeää tietää keskeisimpien sisäistä kuormitusta aiheuttavien syvänteiden sijainnit. Vesistöön kohdistuvia sisäisen kuormituksen kunnostustoimia voidaan tällöin kohdentaa oikeaan paikkaan. Opinnäytteessä selvitetään keinoja joen si-

säisen kuormituksen pienentämiseksi ja joen tilan parantamiseksi sitä kautta. Työssä esitetään vesistöjen pohjasedimenttien mahdollisia kunnostustoimenpiteitä ja arvioidaan toimenpiteiden soveltuvuutta Hiidenjoen syvänteiden tilan parantamiseen.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa (luvut 3–5) käsitellään jokiympäristön ominaispiirteitä, vesistön sisäistä kuormitusta ja vesistökuunnostuksia esimerkkikohteineen. Luku 6 pohjautuu tutkimuksen kohdetta käsitteleviin aikaisempiin selvityksiin joen kuormittuneisuudesta ja vedenlaadun tutkimustuloksista. Lukujen 3–6 teossa on käytetty lähdeluettelossa mainittuja painettuja julkaisuja, internet-sivuja ja Hiidenjoen aikaisempia vedenlaadutuloksia. Pääosa tutkimuksen teossa käytetystä aineistosta on hankittu kesällä 2012 toteutettujen maastokäyntien yhteydessä otetuista vesinäytteistä ja happimittauksista. Tutkimuksen teossa käytettiin myös Hämeen ELY-keskuksen kartta-aineistoja, Ilmatieteen laitoksen säähavaintoja sekä alan asiantuntijoiden henkilökohtaisia tiedonantoja.

2.2. Yhteistyötahot

Vesiensuojelutyö vaatii usean tahon yhteistyötä. Tutkimuksen suunnitteluun osallistuivat toukokuussa 2012 pidetyssä aloituspalaverissa Vanajavesikeskuksen pääsihteeri Sanni Manninen-Johansen ja vesistöasiantuntija Suvi Mäkelä, Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman (LBA) tutkija Lauri Arvola, Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen (Kvvy) limnologi Reijo Oravainen, Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY) vesistöasiantuntija Kari Rannisto, Janakkalan kunnan ympäristöpäällikkö Heikki Tamminen ja Kernaalan osakaskunnan puheenjohtaja Markku Keijälä. Vanajavesikeskus kutsui yhteistyötahot koolle tutkimuksen suunnittelutilaisuuteen, hankki työssä tarvittavat välineet opinnäytteen tekijälle sekä kilpailutti ja rahoitti vesinäytteenotot laboratoriotutkimuksineen.

LBA tilasi Yhdysvalloista tutkimuksen teossa käytetyt loggerit, varmisti loggereiden oikeanlaisen toiminnan ja sääti ne toimintakuntoon joelle asennusta varten. Lisäksi LBA:n asiantuntijat auttoivat loggereista saatujen tulosten käsittelyssä.

Vanajavesikeskus valitsi tarjouskilpailun perusteella Kvvy:n vesinäytteiden ottajaksi ja analysoijaksi. Kvvy:ltä tuli näytteenotoissa tarvittava osaaminen, välineet ja kalusto. Vesinäytteiden ottajana toimi yhdistyksen näytteenottaja ja näytteenoton kirjurina opinnäytetyön tekijä. Vesinäytteet analysoitiin Kvvy:n akkreditoidussa tutkimuslaboratoriossa Tampereella.

Kernaalan osakaskunnan tehtävänä on hoitaa ja valvoa Kernaalanjärven sekä Hiiden- ja Puujoen kalavesiä. Osakaskunta osallistui loggereiden hankintakustannuksiin ja asennuksiin.

Opinnäytetyön laatija vastasi tutkimuksen tiedottamisesta vesilläliikkuville ja lehdistölle sekä toimi vesinäytteenotoissa kirjurina ja loggereiden tulosten tallentajana. Työn laatija kokosi eri lähteistä saatavilla olevat tutkimukseen vaikuttavat tulokset, käsitteli aineistot käyttökelpoiseen muotoon

ja teki tulosten perusteella johtopäätökset tutkimuksen onnistumisesta. Tutkimuksen ja opinnäytetyön teon kannalta oli tärkeää, että työn laatijalla oli sekä Hiidenjoen paikallistuntemus että vesiensuojelualan huippuosaajien asiantuntemus tukena.

3 JOKIYMPÄRISTÖN OMINAISPIIRTEET

Tässä luvussa tarkastellaan jokiympäristön hydrologisten ja morfologisten ominaisuuksien merkitystä vesistön tilaan. Vesistöjen tyypittely ja luokittelu kuvaavat vesistön ominaisuuksia ja ovat pohjana erilaisille seuranta- ja toimenpideohjelmille. Luokittelussa käytettäviä vedenlaadun raja-arvoja voidaan käyttää muun muassa vesistöjen vesinäytetulosten arvioinnissa. Luvussa esitetty teoria on kohdistettu tutkimusalueeseen kappaleissa 6.1 ja 6.3.

3.1. Morfologian merkitys vedenlaatuun

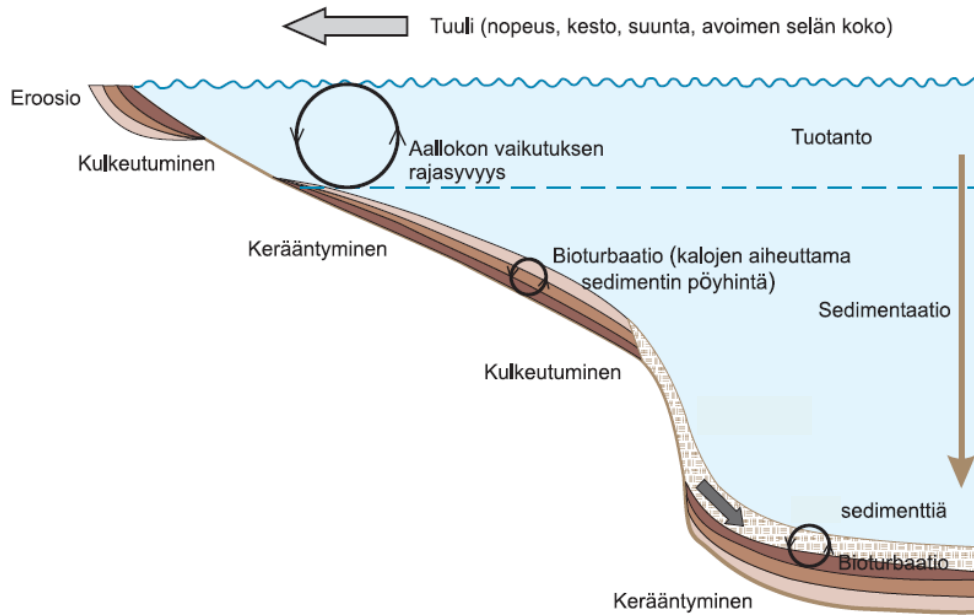
Jokiympäristön toiminnallinen kokonaisuus muodostuu valuma-alueesta ja jokiuomasta. Tähän kokonaisuuteen vaikuttavat alueen hydrologia (veden määrä, liikkuminen ja esiintyminen), morfologia (maaston rakenne), geokemia (maaperän kemiallinen koostumus) ja ekologia (eliöstö ja vuorovaiikutussuhteet). (Pohjois-Pohjanmaan ELY 15.6.2011.)

EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EC) edellyttää jokivesistöjen morfologisten tekijöiden mittaamista. Näillä tarkoitetaan joen syvyyden ja leveyden vaihtelua, pohjan rakennetta ja laatua sekä rantavyöhykkeen rakennetta. (Pohjois-Pohjanmaan ELY 16.6.2011.) Morfometrialla on huomattavaa vaikutusta vesistön kemiaan, fysiikkaan ja biologiaan. Vesistön pinta-ala, syvyysuhteet, syvyysvyöhykkeiden tilavuudet ja rannan rikkinaisuus vaikuttavat suuresti esimerkiksi vesistöjen luontaiseen kykyyn vastaanottaa ulkoista kuormitusta (Eloranta 2005, 18).

Vesistön rantavyöhykettä kuluttavat mm. aallokko, virtaukset sekä jään liikkeet. Näiden voimien johdosta pohja-aineksia erodoituu rantavyöhykkeestä, kulkeutuu eteenpäin ja jää lopulta syvimpiin osiin (Kuva 1). Jokivesistöissä vallitsevat olot ja veden laatu vaihtelevat joen eri osissa. Toisaalla vesi voi olla sameampaa esimerkiksi runsaista valumavesistä johtuen ja toisaalla taajamasta peräisin oleva kuormitus voi olla suurempi vesistön tilaan vaikuttava tekijä. Yläjuoksulle kohdistuva runsas kuormitus saattaa näkyä kesäisin esimerkiksi sinileväkasvustoina ja joen virtauksen myötä ongelma siirtyy vähitellen alajuoksulle päin. Laajoissa ja pitkänmallisissa vesistöissä, joissa veden viipymäkin on pitkä ja sisäinen kuormitus ei ole merkittävää, voidaan havaita myös veden fosforipitoisuuden alenemista joen päävirtaussuunnassa. (Eloranta 2005, 18–19.)

Jokivesistön virtaaman jäädessä keväällä vähäiseksi, syvänteiden pohjanläheinen vesi ei saa riittävää happitäydennystä kesän ajaksi. Sama koskee järviä keväisin ja syksyisin, jos järveden täyskierto jää heikon tuulisuuden ja virtsausolojen vuoksi vaillinaiseksi. Mahdollisen syvänteen happikadon myötä monet vedessä ja sedimentissä olevat kemialliset yhdisteet

kuten fosfori muuttuvat liukoiseen muotoon, jolloin vaikutus kohdentuu vesistön biologiaan. (Mäkelä 2004, 7.)



Kuva 1. Vesistön rantavyöhykettä ja pohjaa muovaavia voimia. (Eloranta 2005, 19)

3.2. Sedimentaatio-olosuhteet

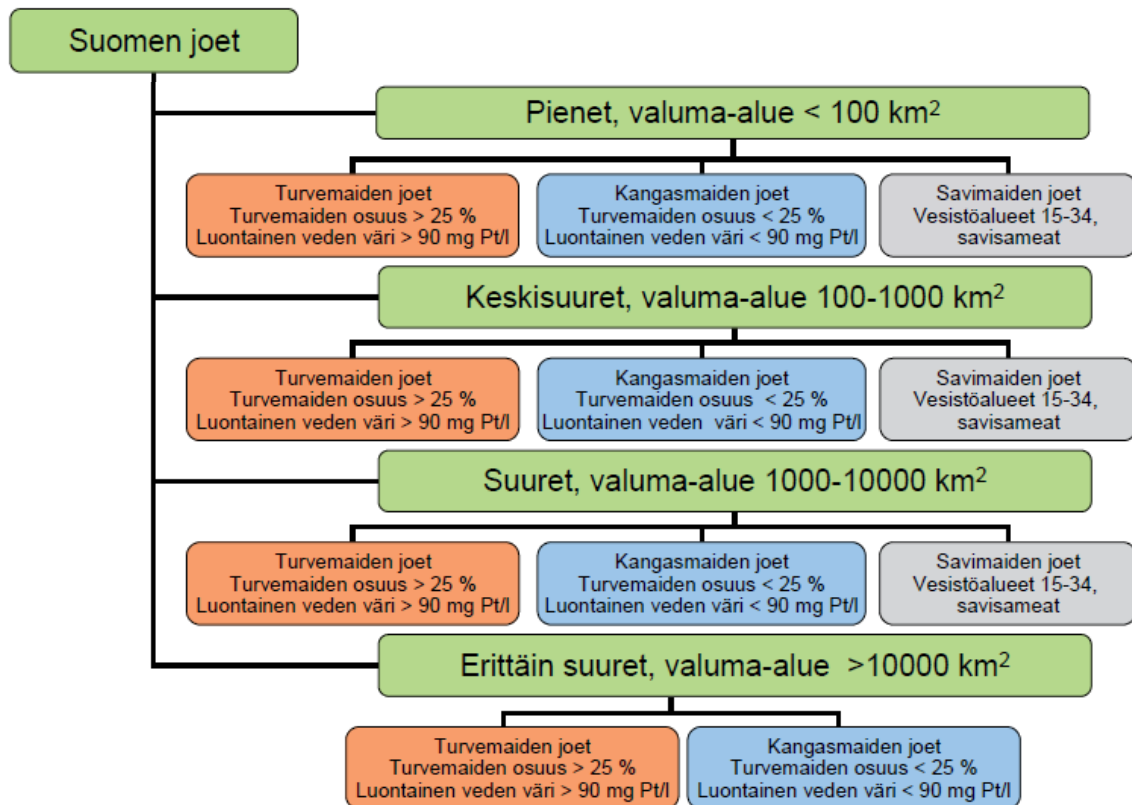
Hienojakoinen kiintoaines kulkeutuu vedessä pitkiäkin matkoja ennen pohjasedimentin pinnalle laskeutumistaan. Järvialueiden pohjat voidaan jakaa neljään tyyppiin: eroosio- eli kulumispohjiin, transportaatio- eli kulkeutumispohjiin, akkumulaatio- eli kerääntymispohjiin sekä ns. Winnowing- eli sekoittumispohjiin. Eroosiopohjille ei keräänny hienojakoisia sedimenttejä aallokon aiheuttaman kulutuksen ollessa niin voimakasta. Transportaatiopohjilla sedimentoituminen on epäjatkuvaa, koska voimakkaat tuulet ja suuremmat virtaamat katkaisevat sen. Akkumulaatiopohjilla sedimentoituminen on jatkuvaa. Winnowingpohjat ovat matalia ja runsasta vesikasvillisuutta sisältäviä lahdelmia. (Häkanson & Jansson 1983, 35–43.)

Rannan jyrkkyys, aallokon voimakkuus ja vesistön syvyysuhteet määrittelevät pääosin eroosio- ja transportaatiopohjien laajuudet (Eloranta 2005, 18). Jokiympäristössä merkittävää on myös se, onko joen varrella järvimäisiä levennyksiä tai järviä, jotka toimivat sedimentaatioaltaina ja vesistön virtaamahuippujen tasaajina.

Jokiympäristön rannan läheisellä kasvillisuudella on myös tärkeä rooli joen morfologiassa ja sedimentoitumisoloissa. Kasvien juuret sitovat rannanläheisiä maa-aineksia ja kasvillisuuden ansiosta tapahtuu hienojakoisten hiukkasten sedimentoitumista. Kasvillisuus, kuten myös uomaan kaatuneet puut, hidastavat veden virtausnopeuksia ja toimivat virtausohjaimina. (Järvenpää 2004, 24.)

3.3. Jokien tyypittely

Suomen pintavedet on jaoteltu maantieteellisten ja luonnontieteellisten ominaispiirteidensä mukaan 11 eri tyyppiin (Kuva 2). Tyypittely kuvaa pintavesien ominaispiirteitä ilman ihmistoiminnan vaikutusta ja on yksi vesistön ekologisen tilan luokittelun perusvaiheista. Tyypittelyn avulla vesistölle voidaan asettaa oma luontaisiin ominaisuuksiinsa perustuva tavoitetilä. Tyypittelyn tärkeimpiä tekijöitä ovat muun muassa valuma-alueen maaperä, vesistön koko ja syvyys. (Suomen ympäristökeskus 7.12.2010; Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuoteen 2015, 41–46.)



Kuva 2. Suomen jokien tyypittely. (Suomen ympäristökeskus 7.12.2010)

3.4. Vesistöjen luokittelu

Pintavetemme on luokiteltu ekologisen ja kemiallisen tilansa perusteella vuodesta 2008 asti. EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin ja sitä toteuttavan suomalaisen lainsäädännön ansiosta ihmistoiminnan vaikutuksia vesistön tilaan arvioidaan nykyisin entistä tarkemmin. Sitä ennen Suomen pintavedet luokiteltiin yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan. Vesistöjä tarkasteltiin enemmän ihmisen tarpeiden, kuten raakaveden hankinnan, virkistyskäytön ja kalastuksen kannalta. Varhaisin vesistöjen luokittelutapa on perustunut veden ravinteikkuuteen ja ennen kaikkea kokonaisfosforin pitoisuuteen. Luokitukset eivät siten ole keskenään vertailtavissa. (Suomen ympäristökeskus 18.6.2012.)

3.4.1. Vesistön rehevyyden luokittelu

Ravinteikkuutta on käytetty pitkään vesistöjen rehevyyden luokittelun kriteerinä, ja veden kokonaisfosforipitoisuus lienee käytetyin parametri. Muita luokitteluperusteita ovat veden kokonaistyyppipitoisuus, klorofyllin määrä ja kasviplanktonin perustuotanto. Alapuolella esitettyjen Forsbergin ja Rydingin vuonna 1980 määrittelemien rehevyysluokkien raja-arvot koskevat vain järvien vedenlaatua, mutta antavat suuntaa myös jokivesien laadun arviointiin.

Järvien rehevyys- eli trofia- eli trofialuokat ja rehevyysluokkien raja-arvot kokonaisfosforin osalta (Forsberg & Ryding 1980, 189–207):

- oligotrofinen eli karu, < 15 µg/l
- mesotrofinen eli keskiravinteinen, 15–25 µg/l
- eutrofinen eli runsasravinteinen, 25–100 µg/l
- hypertrofinen eli erittäin runsasravinteinen, < 100 µg/l

Vesistön rehevyydustason luokittelu ei ole aina yksinkertaista, sillä eri luokitteluperusteiden arvot saattavat sijoittaa saman järven eri luokkaan. Lisäksi usein on ollut käytettävissä vain yksittäisten vesinäytteenottojen tuloksia, jolloin luokittelun varmuus heikkenee. Ravinnepitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti eri vuodenaikoina ja myös vesistön eri osissa. Yksittäinen mittaustulos saattaa poiketa suuresti koko vuoden keskiarvosta ja kertoo vain kyseisen alueen sen hetkisestä veden laadusta.

3.4.2. Vesistön yleinen käyttökelpoisuus

Hämeen vesistöjen viimeisin käyttökelpoisuusluokitus on vuosilta 2000–2003. Luokitus perustui vesistöissä sijaitsevien havaintopaikkojen vedenlaatutietoihin. Vesistöjen käyttökelpoisuutta virkistykseen on arvioitu happitalouden, happamuuden, humusleiman ja rehevyyden perusteella (Taulukko 1). Luokitusta tehtäessä on myös huomioitu veden alkaliniteetti ja väriluku sekä tarvittaessa muitakin vedenlaatumuuttujia. (Hämeen ELY 19.1.2010b.)

Vesistön käyttökelpoisuusluokka (erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono) määräytyi vesistön luontaisen vedenlaadun ja ihmisen toiminnan vaikutusten perusteella. Käyttökelpoisuusluokitus antoi yleiskuvan vesien keskimääräisestä vedenlaadusta sekä soveltuvuudesta vedenhankintaan, kalavesiksi ja virkistyskäyttöön. Esimerkiksi veden suuri humuspitoisuus laski käyttökelpoisuusluokkaa, vaikka vesistö olisi luontaisesti humuspitoinen. Humus ylipäättään nähtiin vesistön virkistyskäyttöarvoa heikentävänä tekijänä. (Hämeen ELY 19.1.2010b.)

Taulukko 1. Yleisen käyttökelpoisuusluokituksen luokkarajat tietyillä parametreilla. (Suomen ympäristökeskus 14.8.2009)

	I Erittäin hyvä	II Hyvä	III Tyydyttävä	IV Välttävä	V Huono
Kokonaisfosfori (µg/l) (sisävedet)	<12	<30	<50	50-100	>100
Happipitoisuus (%) päällyksivedessä	80 - 110	80-110	70-120	40-150	vakavia happi- ongelmia
Alusveden hapettomuus	ei	ei	satunnaista	esiintyy	yleistä

3.4.3. Vesistön ekologisen ja kemiallisen tilan luokittelu

Vuonna 2000 voimaan tulleen EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin pääta-voitteena on kaikkien vesien hyvän ekologisen ja kemiallisen tilan saavuttaminen vuoteen 2015 mennessä. Vesistöjen suunnitelmallisen hoidon ta-voitteena on myös ehkäistä pintavesimuodostumien tilan huononeminen ja parantaa sekä ennallistaa niitä, ja vähentää vaarallisten aineiden päästöistä aiheutuvaa pilaantumista. (Euroopan komissio 24.3.2010.) Vuonna 2001 direktiivin liitteeksi lisättiin luettelo vesipolitiikan alan prioriteettiaineista (päätös N:o 2455/2001/EY), joiden aiheuttaman veden pilaantumisen eh-käisemiseksi on ryhdyttävä toimiin (Euroopan parlamentti ja neuvosto 15.12.2001). Lisäksi vuonna 2009 on tullut voimaan EU:n direktiivi hai-tallisten aineiden ympäristölaatuunormeista (2008/105/EY), jolla asetetaan yläraja 33 haitallisen aineen pitoisuudelle vesistöissä. Tarkoituksena on suojella vesiympäristöä haitta-aineiden riskeiltä, ja määritellä normien avulla pintavesien hyvä kemiallinen tila. (Ympäristöministeriö 13.1.2009.)

Kemiallisen tilan luokittelu

Pintavesiemme luokittelu tapahtuu nykyisin vesipolitiikan puitedirektiivin edellyttämällä tavalla. Kemiallisen tilan luokittelussa vesien vaarallisten ja haitallisten aineiden pitoisuuksia verrataan lainsäädännössä asetettuihin ympäristölaatuunormeihin (Kuva 3). Kemiallisten ominaisuuksien mukaisia vedenlaatuluokkia on vain kaksi: hyvä tila ja hyvää huonompi tila. (Suomen ympäristökeskus 6.11.2008.)

Vesistöjen kemialliseen laatuun vaikuttavat koko ajan monet eri tekijät jo-ko hetkellisesti tai pitkäaikaisesti (Hämeen ELY 19.1.2010a). Veden ke-mialliset ominaisuudet kertovat melko tarkasti vesistönosan näytteenoton-aikaisesta vedenlaadusta. Muuttujat kuitenkin vaihtelevat nopeasti esimer-kiksi sääolojen vaikutuksesta. Mitä useammin vesinäytteitä otetaan, sitä varmemman kuvan vesistön kemiallisista ominaisuuksista saa. Vesistön kemia ja biologia ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa. Esimerkiksi veden ravinteikkaus määrää pitkälti vesistön leväntuotannon määrän ja ravintei-den lisäksi muun muassa pH vaikuttaa huomattavasti vesistön eliölajis-toon. (Mäkelä 2004, 8.)

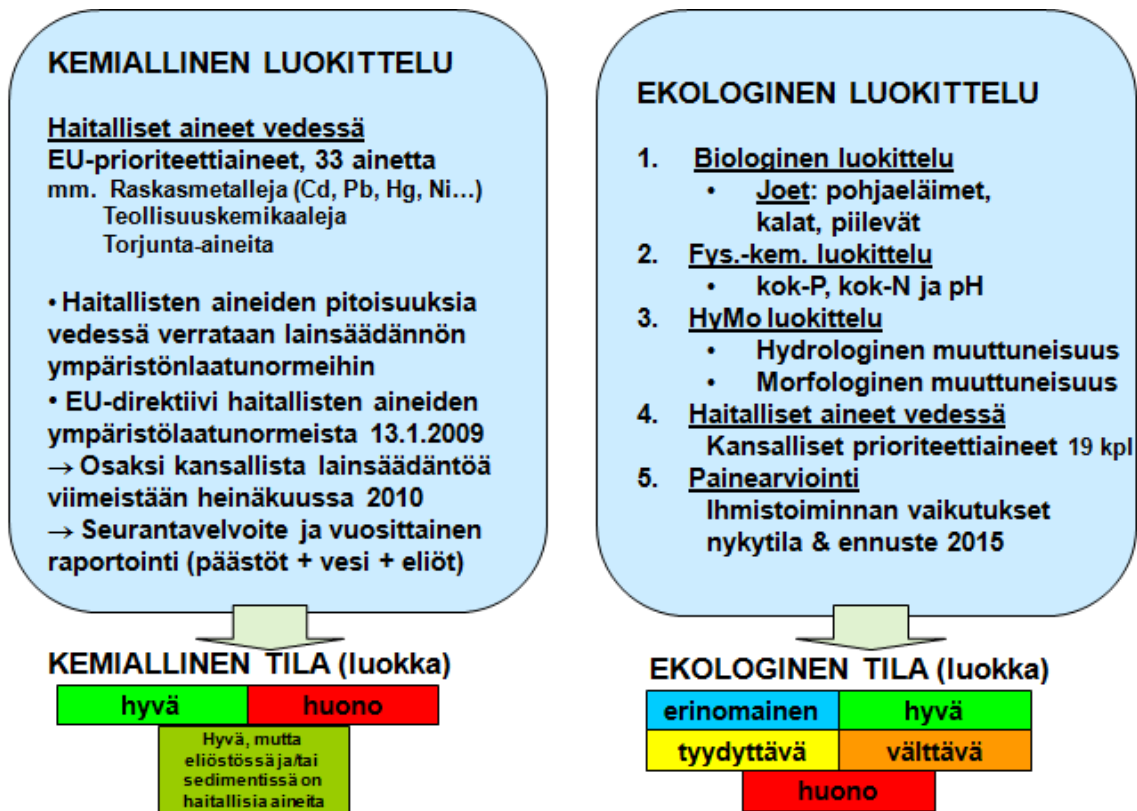
Ekologisen tilan luokittelu

Ekologisen tilan luokittelussa tarkastellaan vesimuodostumassa elävien eliöiden, vesikasvien ja kalojen tilaa verrattuna olosuhteisiin, joissa ihmistoiminnan vaikutuksia ei pystytä havaitsemaan. Ympäristöhallinto on julkaissut vuonna 2009 ohjeistukset pintavesien ekologisen tilan luokitteluun. (Vuori, Mitikka & Vuoristo 2009, 3-6.) Taulukossa 2 on esimerkki ohjeistuksissa julkaistusta vedenlaadun luokittelumuuttujien luokkarajoja kuvaavasta taulukosta jokivesien osalta. Kullekin kuvassa 2 esitetylle jokityyppille on olemassa omat vedenlaadun vertailuolot ja luokkarajat. Jokien ekologisessa luokittelussa käytetään järvistä poiketen koko vuoden vedenlaatu-arvoja, jolloin vuosittaista mediaaniarvoa verrataan luokkarajoissa esitettyihin arvoihin.

Vedenlaatuaineistojen vähäisyyden, luonnossa esiintyvien suurten vaihtelevien ja kriteeristön puutteellisuuden vuoksi päätös vesistön ekologisesta luokasta on usein tehtävä asiantuntijoiden harkintaan perustuen. Pintavedet on luokiteltu ekologisen tilansa osalta viiteen luokkaan: erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä ja huono. (Suomen ympäristökeskus 6.11.2008; Vuori ym. 2009, 3-6.)

Hydrologis-morfologisen tilan luokittelu

Vesistöjen hydrologis-morfologisen luokittelun ensimmäisessä vaiheessa karsitaan pois sellaiset järvet ja joet, joiden tila on erinomainen tai hyvä eli ne vastaavat lähes luonnontilaista vesistöä. Vesistöissä, jotka arvioidaan voimakkaasti muutetuiksi tai keinotekoisiksi, tehdään yksityiskohtaisempi hydrologis-morfologisten tekijöiden arviointi. Tällöin selvitetään voidaan-ko vesistön hyvä tila saavuttaa tekemällä toimenpiteitä, joista ei kuitenkaan aiheudu merkittävää haittaa vesistön nykyisille tärkeille käyttömuodoille. Vesistö nimetään voimakkaasti muutetuksi, mikäli riittäviä toimenpiteitä ei pystytä löytämään. Seuraavaksi tarkastellaan onko voimakkaasti muutettu vesistö hyvässä saavutettavissa olevassa tilassa. Vesistön ollessa hyvää huonommassa tilassa, tunnistetaan ja toteutetaan kustannustehokaimmat tilan parantamistoimenpiteet. (TPO-projekti 27.6.2008, 4.)



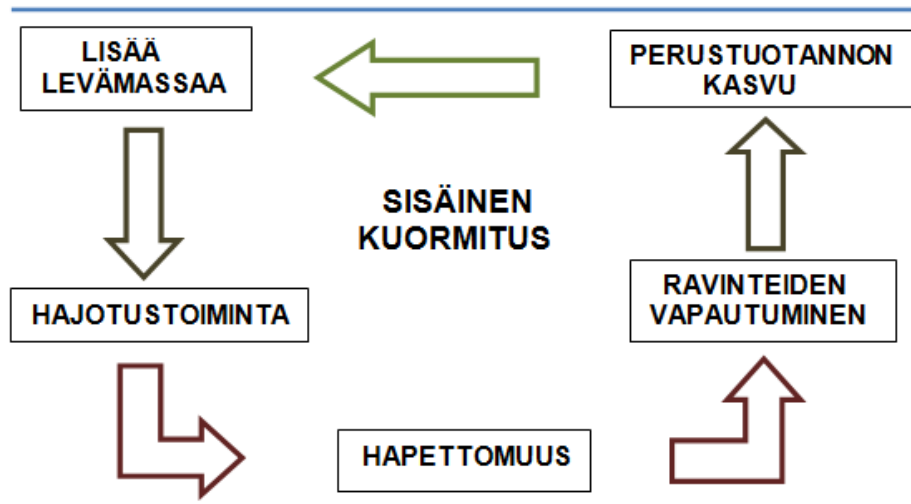
Kuva 3. Suomen jokien luokittelu. Mukailtu Hämeen ympäristökeskuksen esitysaineistosta. (Hulkko 5.3.2009)

4 VESISTÖN SISÄINEN KUORMITUS

Tässä luvussa tarkastellaan vesistöjen sisäisen kuormituksen mekanismien syntyä ja ilmiön merkitystä vesistön tilan kannalta. Aineisto käsittelee varsinaisesti järvissä esiintyvää sisäistä kuormitusta, mutta sama teoria on sovellettavissa myös jokisyvänteisiin. Tarkastelu kohdistuu vesistöjen pohjanläheiseen veteen ja sedimenttiin sekä happi- ja fosforipitoisuuksien kesaikaiseen vaihteluun.

Hyväkuntoisessa ja tasapainoisessa vesistössä veden ravinnepitoisuus pysyy melko vakaana, vaikka sinne tulisi enemmän ravinteita kuin lähtevien vesien mukana poistuu. Vesistön pohjasedimentti toimii tehokkaana ravinteiden sitojana ja varastona, ja ravinteiden vuotuisen nettosiirtymän tulisi olla vedestä sedimenttiin päin. (Eloranta 2005, 24–25.)

Vesistön rehevöitymisen perussyihin kuuluu sedimenttiin kerääntyneiden ravinteiden purkautuminen takaisin vesifaasiin (Kuva 4). Tämän ns. sisäisen kuormituksen ylittäessä sedimentoituvan fosforin määrän vuositasolla, alkaa myös veden fosforipitoisuus kasvaa. Rungas sisäinen kuormitus saa aikaan vesistön perustuotannon (a-klorofylli) sekä muun tuotannon (vesikasvit ja kalat) lisääntymistä. Orgaanisen aineen hajotustoiminta ja sedimentin kaasuntuotanto alkavat lisääntyä ja sen myötä ilmenee happikatoja. Sisäinen kuormitus voimistuu edelleen happikatojen ja bakteeritoiminnan vuoksi, jolloin vesistön tila pahenee entisestään. (Eloranta 2005, 25; Väisänen 2005, 30.)

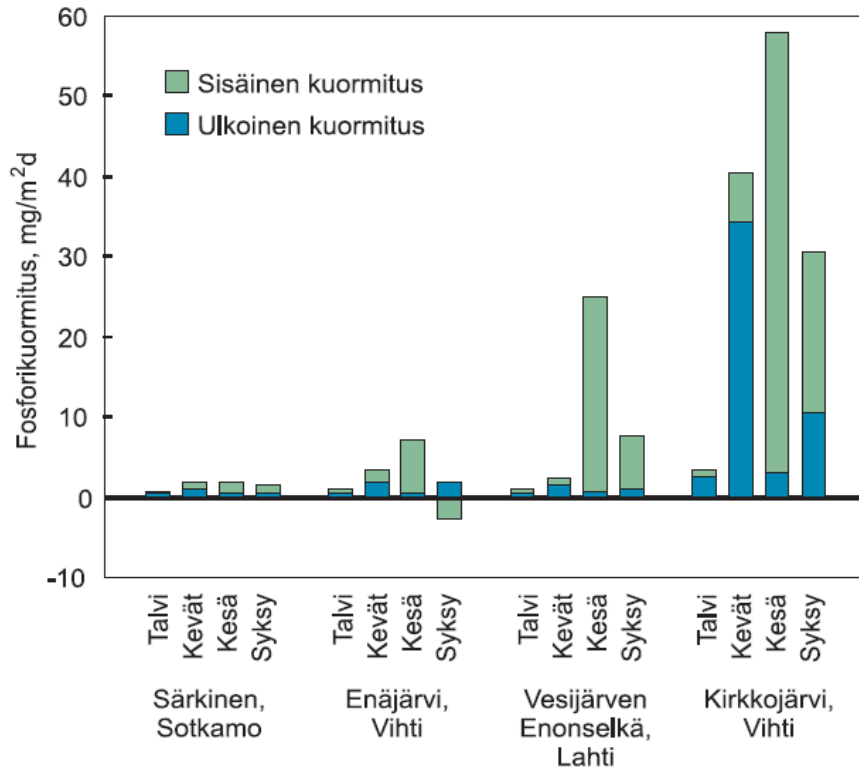


Kuva 4. Havainnekuva vesistön sisäisestä kuormituksesta. Mukailtu Itämeriportaalin kaaviokuvasta. (Rantajärvi 4.3.2008)

Merkittävä osa hajotustoiminnasta tapahtuu sedimentin aktiivisessa pintakerroksessa. Jos sedimentti pääsee matalammilla alueilla sekoittumaan esimerkiksi tuulen vaikutuksesta, voi fosforia liueta myös veden seassa leijuvista sedimenttihiutaleista. Tällöin fosforin liukeneminen voi olla vielä suurempaa kuin pelkästään sedimentin pintakerroksesta liuetessa. Sedimentistä voi vapautua ravinteita myös erityisesti särkikalojen etsiessä ruokaa vesistön pohjalta. Lisäksi fosforin vapautuminen ja sisäinen kuormitus voivat voimistua vesikasvien ja levien yhteystoiminnan nostaessa veden pH-arvon reilusti emäksiselle puolelle. (Hagman 2010, 8.)

Piste- ja hajakuormituksen vähentyessä sisäinen kuormitus on usein merkittävämpi tekijä vesistön nykytilassa kuin sinne tuleva uusi kuormitus. Vesistöjen ravinnekuormituksen lähde vaihtelee kuitenkin paljon vuodenaikojen välillä. Sisäisen kuormituksen maksimit ajoittuvat kevättalveen ja kesäkerrostuneisuuden loppuajaksi, jolloin sedimentin ja alusveden happitilanne on heikoimmillaan. Keväällä vesistöihin tulee pääosin ulkoista kuormitusta, kun taas kesällä sisäinen kuormitus voi olla huomattavasti merkittävämmässä osassa (Kuva 5). Ilmavirran (1990, 78–81) esittämät laskelmat esimerkkijärvien ulkoisen ja sisäisen fosforikuormituksen vuodenaikavaihteluista perustuvat Enäjärven osalta vuosina 1979 ja 1981 tehtyihin bruttosedimentaation määrityksiin. Enonselän tulokset perustuvat vuoden 1988 kahteen bruttosedimentaatiolaskelmaan. Kirkkojärven määritelmät ovat vuosilta 1987 ja 1988, ja Särkisen kesältä 1988 (Ilmavirta 1990, 78).

Myös Etelä-Pohjanmaalla sijaitseva Lappajärvi on hyvä esimerkki voimakkaasti sisäkuormitteisesta järvestä. Lappajärven sisäistä kuormitusta syntyy sekä kesällä että talvella. Järven kesäaikaisen sisäisen kuormituksen on laskettu olevan noin 5–10 -kertainen ulkoiseen kuormitukseen verrattuna (Palomäki 2001, 16). Monet esimerkkikohteet osoittavat, että järvien sisäinen kuormitus on hyvin tunnettu ja tutkittu ongelma. Sen sijaan jokiympäristöstä ei ole aiemmin tehty vastaavia tutkimuksia, koska myöskään happikatoja ei ole juurikaan havaittu jokivesissä.



Kuva 5. Eräiden järvien sisäisen ja ulkoisen fosforikuormituksen määriä eri vuodenaikoina järven pinta-alayksikköä kohti (Ilmavirta 1990, 81).

4.1. Sisäisen kuormituksen keskeisimmät vedenlaadun muuttujat

Vesistön tilan ja sisäisen kuormituksen kannalta tärkeimpinä arviointikriteereinä voidaan pitää happitaloutta ja rehevyystasoa. Ne määräävät varsin pitkälle myös vesistön arvon kalavetenä ja virkistyskäytössä. (Kernaalanjärvi n.d.) Kesäaikainen vesistön runsas humuksisuus ja ravinteikkaus lisäävät usein hapen kulutusta, jolloin haitalliset vaikutukset ulottuvat koko ekosysteemiin.

4.1.1. Kokonaisfosforin pitoisuus

Luonnossa ei esiinny fosforia vapaana, vaan fosforihapon suoloina. Se kulkeutuu luontoon fosforipitoisten kivilajien rapautumisen seurauksena ja ihmistoiminnan vaikutuksesta. Se esiintyy vesissä tavallisesti hyvin pieninä pitoisuuksina ja yhdisteiksi sitoutuneena. Sisävesissä fosforia esiintyy liuenneena fosfaattifosforina ja eloperäiseen ainekseen sitoutuneena orgaanisena fosforina. Veden sisältämien eri fosforimuotojen määrää kutsutaan kokonaisfosforipitoisuudeksi, jonka yksikkönä käytetään yleensä mikrogrammaa/litra ($\mu\text{g/l}$ tai mg/m^3). (Pohjois-Pohjanmaan ELY 17.6.2011; Hämeen ELY 11.1.2011.)

Fosfori on typen ohella vesien perustuotannon ja myös rehevöitymisen kannalta tärkein ravinne. Järvien rehevyystaso määritellään kuitenkin fosforin perusteella, koska se on useimmiten järvivesien minimitekijä eli perustuotannon kasvua rajoittava tekijä.

Järvien rehevyytason arvioinnissa käytetään yleensä pintaveden kesäkuukausien kokonaisfosforipitoisuutta. Karuimpien järvien pintaveden pitoisuus voi olla alle 5 µg/l. Lievää rehevyyttä osoittaa pitoisuustaso 12–30 µg/l, jolloin alusvedessä voi alkaa ilmetä happivajaus. Järviä, joiden päällysveden fosforipitoisuus on 30–50 µg/l, voidaan pitää rehevinä. Erittäin rehevien, ihmisen kuormittamien järvien pitoisuus voi nousta jopa yli 100 µg/l. Vesistön alusveden korkeat fosforipitoisuudet ilmentävät huonon happitilanteen aikaansaamaa fosforin liukenemisesta sedimentistä. (Pohjois-Pohjanmaan ELY 17.6.2011; Hämeen ELY 11.1.2011.)

Jokivesille esitettyjen vedenlaadun raja-arvojen soveltamisessa on huomattava, että luokittelun tulisi perustua vähintään neljän vuotuisen vesinäytteenottokerran seuranta-aineistoon (Taulukko 2). Luokkaa määriteltäessä tulisi tarkastella useamman vuoden ravinteiden mediaaniarvoja. (Vuori ym. 2009, 18.) Lisäksi kaikille jokityypeille on olemassa omat vedenlaadun vertailuolot ja luokkarajat. Taulukon 2 vedenlaatumuuttujien arvot koskevat vain suurten kangasmaiden jokia.

Taulukko 2. Suurten kangasmaiden jokien vedenlaadun luokittelumuuttujat; kokonaisfosfori (kok. P), kokonaistyyppi (kok. N) ja pH. Luokkarajat: E/H = erinomainen/hyvä, H/T = hyvä/tydyttävä, T/V = tyydyttävä/välttävä, V/Hu = välttävä/huono. (Vuori ym. 2009, 56.)

Muuttuja	Kausi	Yksikkö	Vertailuolot	Luokkarajat			
				E/H	H/T	T/V	V/Hu
kok. P (vuosimediaani)	vuosi	µg/l	<15	15	35	55	85
kok. N (vuosimediaani)	vuosi	µg/l	<335	335	800	1400	2400
pH-minimi (keskiarvo)	vuosi		>5,8	5,8	5,6	5,1	4,9

4.1.2. Happipitoisuus

Veden liukoinen happi (O₂) on tärkein veteen liuenneista kaasuista ja välttämätön vesieliöiden selviytymiselle. Happipitoisuus ratkaisee yleensä luonnonvesien eliöstön laadun ja määrän. Vedessä on merkittävä happivajaus happipitoisuuden laskiessa alle 5 mg/l ja happivajaus on suuri pitoisuuden ollessa vain 3–0,4 mg/l (Taulukko 3). Kun vedessä ei esiinny lainkaan liukoista happea, on kyseessä happikato. (Suomen ympäristökeskus 14.12.2011; Hämeen ELY 14.1.2011.) Täydellinen hapettomuus on selvä osoitus vesistön sietotason ylitymisestä. Vesistön heikko happipitoisuus kertoo rehevyydestä ja orgaanisen aineksen kuormituksesta.

Alentuneessa happipitoisuudessa (hapen kyllästysprosentti 80–20 %) vesieliöt alentavat aktiivisuuttaan ja liikkuvat vähemmän. Kun happisaturaatio on enää 6–20 %, kalat aloittavat anaerobisen energiantuotannon ja alentavat perusaineenvaihdunnan tasoa. Happisaturaation ollessa noin 5 %, eliöiden kasvussa voidaan havaita muutoksia ja kalat alkavat menettää tasapainoaan. Useimmat kalalajimme välttäväkin alueita, joilla happipitoisuus on pienempi kuin 5 mg/l. Kun happisaturaatio laskee alle 3 %:n, kalat ovat jo liikkumatta vesistön pohjalla ja kalakuolemat ovat todennäköisiä. Jotkut pohjaeläinlajit sietävät hyvin alhaisia happipitoisuuksia, mutta myös pohjaeläinten kuolleisuus lisääntyy voimakkaasti pohjanläheisen veden happipitoisuuden laskiessa alle 2 mg/l. (Aquaflow n.d.; Suomen ym-

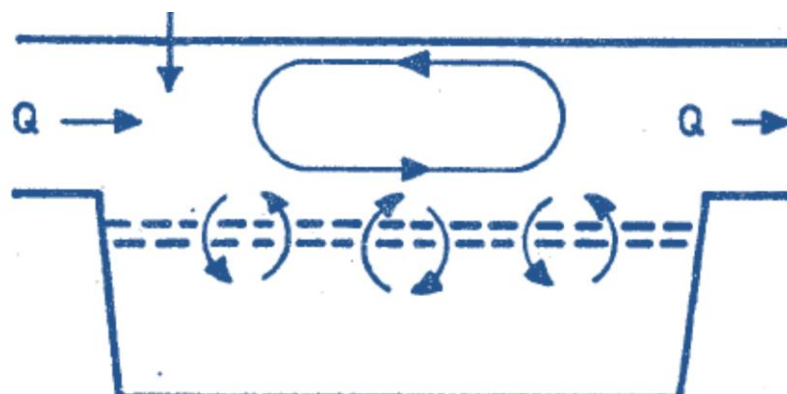
päristökeskus 14.12.2011.) Tällaisten haitallisten reaktioiden syntyminen vaimenee huomattavasti, jos vesistön pohjanläheisen veden happipitoisuus säilyy 3-4 mg/l (Lappalainen & Lakso 2005, 162). Vesistön sisäinen kuormitus eli fosforin vapautuminen sedimentistä voi alkaa, kun veden happipitoisuus laskee alle 2 mg/l (Hagman 2010, 30).

Taulukko 3. Vesistöjen happitilanteen luokittelu pinta- ja alusveden hapekkuuden mukaan. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry, n.d.)

Vesistön happitilanne	Pintavesi	Alusvesi
Erinomainen	> 80 % tai > 8 mg/l	> 5 mg/l
Hyvä	> 70 % tai > 8 mg/l	1-5 mg/l
Tyydyttävä	< 80 % tai < 8 mg/l	pohjalla happi loppu, muutoin alusvesi hapellista
Välttävä	< 50 % tai < 5 mg/l	koko alusvesi hapeton
Huono	lähes hapeton	ajoittain happikatoja

Veden hapekkuus on riippuvainen lämpötilasta, koska hapen liukoisuus veteen paranee lämpötilan laskiessa. Myös tuulisuusolot ja vesistön syvyysuhteet vaikuttavat merkittävästi veden happipitoisuuksiin. Pintaveden lämpötilan ollessa kesällä 18–20 °C, on happipitoisuus Suomen oloissa normaalisti 8–9 mg/l ja hapen kyllästysaste 80–90 %. (Hämeen ELY 14.1.2011.)

Vesistöjen elokuisen lämpötilakerrosteisuuden vallitessa alusvesi ei saa riittävää happitäydennystä ilmakehästä tai virtaveden ollessa kyseessä joen vähäinen virtaama (Q) ei kulkeudu jokisyvänteisiin asti (Kuva 6). Alusveden happi kuluu pohjasedimentin aiheuttaman hapenkulutuksen ja päällysvedestä pohjalle vajoavan aineksen hapenkulutuksen takia. Eloperäiset ainekset käyttävätkin usein hapen loppuun sedimentistä muutaman millimetrin syvyydeltä. Tästä huolimatta alusvedessä voi olla vielä happea runsaasti. Sedimentin hapenkulutuksen aiheuttama happikato etenee pohjan läheisistä vesikerroksista kohti pintaa. Rehevöityminen lisää pohjalle vajoavan eloperäisen aineksen määrää ja sedimentin lisääntynyt hapenkulutus puolestaan heikentää edelleen alusveden happitilannetta. Ilmiötä voidaan kuvata happipitoisuuden alenemisena ajan funktiona. Vesistöjen happitilanne on heikommillaan kerrosteisuusajan lopulla elokuussa. Tämä ajankohta sopii siksi parhaiten myös happitilanteen tutkimiseen. (Suomen ympäristökeskus 14.12.2011, Oravainen 1999, 4.)



Kuva 6. Havainnekuva elokuisen lämpötilakerrosteisuuden aikaisista virtausoloista joen syvänteissä. (Lappalainen 1978, 22.)

Levien voimakas perustuotanto voi aiheuttaa rehevien vesistöjen päällysveteen hapen ylikyllästyksen, jolloin veteen vapautuu happea enemmän kuin siihen voi liueta. Tämä näkyy rehevissä rantavesissä vedenpinnan happikuplina. (Hämeen ELY 14.1.2011.) Myös alusveden hapettomuuden voi havaita aistinvaraisesti. Happikadon aikainen eloperäisen aineksen hajoitus tapahtuu anaerobisesti. Tällöin pohjasta voi vapautua veteen metaanikaasua ja eliöille myrkyllistä rikkivetyä. (Suomen ympäristökeskus 14.12.2011.) Alusvedestä otettu näyte haisee tällöin todella pahalta ja pohjalla olleet välineet tai esineet saattavat olla mustuneita.

4.2. Sisäisen kuormituksen mittaaminen ja todentaminen

Vesistön sisäisen kuormituksen arvioiminen on paljon ulkoisen kuormituksen arviointia vaikeampaa, koska sedimentin ja veden välinen ainevirta on kaksisuuntaista. Kevään ja syksyn täyskiertojen aikana sedimenttiin pääasiassa sitoutuu fosforia, kun taas talvi- ja kesäkerrostuneisuuden aikaan sedimentin pelkistyneet olosuhteet mahdollistavat fosforin vapautumisen yläpuoliseen veteen. Vesistön fosforipitoisuuksista ja vallitsevasta kuormitustilanteesta tehtävien laskelmien perusteella voidaan arvioida tuleeko kunnostustoimet kohdistaa itse vesistöön vai valuma-alueelta tulevan ulkoisen kuormituksen pienentämiseen. (Eloranta 2005, 25; Väisänen 2005, 33, 34.)

Ainetaselaskelmissa tarkastellaan useimmiten järven fosforin tulokuormaa, lähtökuormaa ja sedimentoitumista, joiden perusteella voidaan määrittellä sisäisen kuormituksen määrä. Ainetaselaskelmien kannalta on oleellista pidemmäksi aikaa sedimentoituvan aineksen määrällä eli nettosedimentaatiolla. Käytännössä tämä määritetään tulevan ja lähtevän ainevirtaaman erotuksena. Fosforin sedimentaatiosta on kehitetty erilaisia matemaattisia malleja, joilla pyritään määrittämään fosforin pidättymiskerroin. Pidättymiskertoimen avulla voidaan laskea järvestä poistuva fosforikuorma. (Granberg 2004, 6; Väisänen 2005, 33, 34.)

Virtavedet ovat yleensä hyvin sekoittuneita ja siksi hapekkaita ja tasalämpöisiä pinnasta pohjaan. Vuodenaikojen mukaan vaihtelevat virtausolot ja jokien morfologia vaikuttavat kuitenkin suuresti virtavesissä esiintyviin eroihin. Syvempien jokiosuuksien kesäaikainen kerrostuneisuus ja veden pintavirtaus tekevät joista paikoitellen järvien kaltaisia. Jokisyvänteiden sisäisen kuormituksen arviointiin voidaankin soveltaa samoja periaatteita kuin järviin.

5 VESISTÖKUNNOSTUS

Vesistökuunnostuksia on tehty maassamme 1970-luvun alusta lähtien (Maa- ja metsätalousministeriö 2004, 9). Vesistökuunnostuksella tarkoitetaan vesistössä tai sen välittömässä läheisyydessä tehtäviä toimia, joiden tarkoituksena on vesistön tilan ja käyttökelpoisuuden säilyttäminen tai pa-

rantaminen. Kunnostukset ovat kohdentuneet aluksi vain järviin, jolloin ne nähtiin lähinnä virkistyskäyttöarvon parantamisena. Nykyään vesipolitiikan puitedirektiivi on tuonut yhä enemmän myös ympäristönsuojelullista näkökulmaa esiin vesistökuunnostuksiin. (Lehtinen, Sammalkorpi, Harjula & Ulvi 2002, 8.)

Rehevyyden koetaan useimmiten suurimmaksi järvien käyttöarvoa heikentäväksi tekijäksi. Vesistön rehevöityminen seuraa tavallisesti pitkään jatkunutta runsasta ulkoista kuormitusta, jolloin vesistön luontainen ravinteiden sietokyky ylittyy. Rehevöitymisen seurausilmiöitä ovat mm. happikadot, levähaitat, sisäinen kuormitus, rantojen liettyminen, kalakantojen muutokset, kalojen makuhaitat, pyydysten limoittuminen ja liiallinen vesikasvillisuus. Vesistön tilan pysyvä parantaminen vaatii aina ulkoisen ravinnekuormituksen pienentämistä eli valuma-alueella tehtäviä toimia. Järven sisäisillä toimenpiteillä puututaan lähinnä ongelmasta aiheutuviin seurauksiin, eikä varsinaiseen rehevöitymisen syyhyn. (Lehtinen ym. 2002, 9).

Vedenpinnan nosto ja hapetus tai ilmastus ovat olleet yleisimpiä koko järven tilaan vaikuttavia kunnostustoimenpiteitä (Maa- ja metsätalousministeriö 2004, 16). Pienimuotoisemmat ruoppaukset ja vesikasvien niitot ovat yleisiä helpon toteutettavuutensa vuoksi. Vaikutukset kohdistuvat tällöin enimmäkseen oman rannan virkistyskäyttöarvon parantumiseen. Järvien suojelelyhdistykset ja osakaskunnat toteuttavat usein myös ravintoketjukunnostuksia, jolloin toimina ovat hoito- ja tehokalastukset sekä kalanpoikasistutukset. Viimeisimpiä kokeiltuja ja kehitystyötä edelleen vaativia kunnostustoimenpiteitä ovat muun muassa järvivesien kemiallinen käsittely, sedimentin pöyhintä sekä kipsi- ja savipeitto. Jos vesistöjen tilaa halutaan parantaa pysyvästi, on tehtävä samanaikaisesti kuormituksen pienentämistoimia valuma-alueella ja itse vesistössä on käytettävä monia rinnakkaisia kunnostusmenetelmiä.

5.1. Virtavesien kunnostus

Virtavesikunnostukset ovat maassamme melko uusi asia ja kunnostukset ovat kohdistuneet vielä viime vuosiin asti lähinnä jokien ja purojen kalataloudelliseen kunnostukseen. Korkeimman hallinto-oikeuden vuonna 1977 tekemä päätös enteili ensimmäisen kerran parempaa tulevaisuutta virtavesille. Koskien perkaus katsottiin päätöksessä vesistön käytölle haitalliseksi muun muassa kalojen vaelluksen kannalta. 1980-luvulla virtavesien kalataloudellisesta kunnostustarpeesta tehtiin useita maakuntakohtaisia selvityksiä, joissa esitettiin kunnostuskohteita ja annettiin ohjeita kunnostusten toteuttamisesta. Tästä yleistyneet virtavesikunnostukset käsittivät pääasiassa koskialueiden kunnostuksia paremmiksi kalojen kululle ja lisääntymiselle. Toisaalta on pyritty poistamaan tarpeettomia patoja, jotka ovat kalojen nousuesteinä tai rakentamaan niiden yhteyteen kalojen nousun mahdollistava reitti. (Maa- ja metsätalousministeriö 2004, 7.)

2000-luvulla virtavesikunnostuksiin on tullut mukaan luonnonmukaisen vesirakentamisen käsite. Tarkoituksena on virtavesiympäristön monimuotoisuuden säilyttäminen ja parantaminen. Kunnostuksessa pyritään edis-

tämään ja hyödyntämään virtavesien omia prosesseja. (Maa- ja metsätalousministeriö 2004, 12-13.)

Viime vuosina virtavesissä on ryhdytty tutkimaan myös vanhojen teollisuuslaitosten läheisten jokiosuuksien kunnostusmahdollisuuksia. Monien pitkään toiminnassa olleiden laitosten edustan vesialueille on kertynyt runsaasti erilaisia haitta-aineita, jotka saattavat vahingoittaa ekosysteemiä ja kertyä muun muassa kaloihin. Pilaantuneiden sedimenttien tilaa ja puhdistustoimenpiteiden kannattavuutta arvioidaan edelleen esimerkiksi Kymijoen, koska virtaava vesi tuo omat haasteensa kunnostukseen. Kunnostustoimenpiteistä voi mahdollisesti olla enemmän haittaa kuin hyötyä, jos joen pohjaan kertyneet haitta-aineet pääsevät liukenemaan vesistöön.

Tällä hetkellä merkittävimpien virtavesiemme kalataloudelliset kunnostuskohteet alkavat olla kertaalleen kunnostettuja ja toiminta on suuntautunut valuma-alueelle ja pienvesiin. Suomalaisten virtavesikunnostusten teoriapohja on myös lisääntynyt huomattavasti 2000-luvulla erilaisten julkaisujen ja oppaiden ansiosta. (Eloranta 2010, 22.) Valitettavasti julkaisut käsittelevät toistaiseksi vain virtavesien kalataloudelliseen kunnostamiseen liittyviä ulottuvuuksia, eikä vesiensuojelullista puolta tuoda niissä juurikaan esiin. Virtavesien sisäisestä kuormituksesta ja kunnostusmenetelmistä ei ole olemassa aikaisempaa julkaistua tutkimustietoa.

Virtavesikunnostuksen päätavoitteena on aina parantaa kohteen ekologian tilaa kohti haitallista ihmistoimintaa edeltänyttä tilaa. Kunnostuksen lähtökohtana onkin virtavesityypin tunnistaminen. (Eloranta 2010, 35, 36.) Kunnostuksen kannalta on oleellista tunnistaa joen luontaiset piirteet aina tapauskohtaisesti, kuten vesipolitiikan puitedirektiivissäkin ohjeistetaan. Joen ominaisuuksia tulee tarkastella laajasti kunnostustavoitteita asetettaessa. Neljällä osatekijällä on vaikutusta kunnostustavoitteen saavuttamiseen: veden laadulla, uomamorfologialla, hydrologialla ja biologisilla tekijöillä. Samoja tekijöitä käytetään direktiivin mukaisesti myös vesistön ekologian tilan arvioinnissa. Näiden tekijöiden ominaisuuksia tarkastelemalla voidaan arvioida myös mahdollisia kunnostusmenetelmiä ja niiden vaikutuksia joen ekosysteemiin. (Järvenpää 2004, 22.)

5.2. Syvänteiden kunnostusmenetelmät

Tässä kappaleessa käsitellään järvien alusveten ja sedimenttiin kohdistettuja kunnostustoimenpiteitä, joilla pyritään vähentämään vesistön sisäistä kuormitusta. Teoriaosuuden teossa käytettiin painettuja julkaisuja ja internet-sivuja. Kunnostuskohteiden tietoja ja toimenpiteiden kokeilusta saatuja tuloksia pyrittiin hankkimaan ensin lähdeaineistoista. Työ osoittautui kuitenkin haastavaksi, koska toteutetut kunnostustoimenpiteet kohdistuvat pääsääntöisesti koko järviveteen. Sedimenttiin kohdistuneista kunnostuksista on vain vähän julkaistua tietoa tai monet menetelmät ovat vielä parhaillaankin tutkittavana. Sedimenttikunnostuksista pyrittiin hankkimaan tietoa sähköpostikyselyin alan asiantuntijoilta Suomen ympäristökeskuksesta, alueellisilta ELY-keskuksilta, Helsingin yliopistolta, vesiensuojeluyhdistyksiltä, Vesijärvisäätiöltä ja Kemiralta. Tiedonhaun tuloksena oli joitakin henkilökohtaisia tiedonantoja, mutta käytännössä ei lainkaan uutta

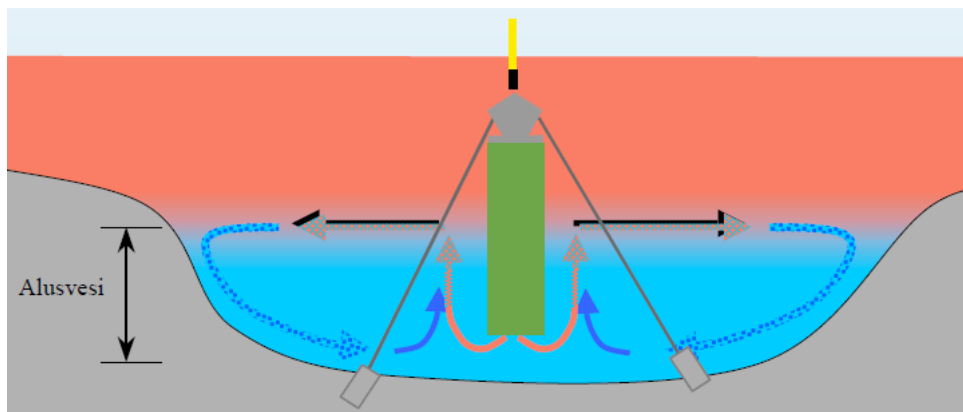
tietoa mahdollisesti jokiympäristöön soveltuvista menetelmistä. Tämä vahvisti sitä käsitystä, että opinnäytetyön aihealue on todella maassamme aiemmin tutkimatonta.

5.2.1. Alusveden hapettaminen

Hapetusta on käytetty pitkään lähinnä järvien kunnostusmenetelmänä. Tarkoituksena on estää rehevöitymisen seurauksena syntyvää alusveden hapettomuutta ja parantaa sitä kautta järven kokonaistilaa. Hapetuksen perusajatuksena on turvata aerobisten kuluttaja- ja hajottajaorganismien hahensaanti ja hajotuskyky sekä estää samalla haitallisten anaerobisten prosessien syntymistä. Samalla edistetään hiilen ja typen tervettä kiertoa järvessä sekä hidastetaan liiallista fosforin kiertoa. Vesistön happipitoisuuden nostamisella voidaan estää kalakuolemia, parantaa vesieliöiden elinmahdollisuuksia ja alentaa rehevyyttä vähentämällä sisäistä fosforikuormitusta. (Lappalainen & Lakso 2005, 153.)

Hapetusmenetelmiä ja teknisiä laitteita on lukuisia. Hapetus voidaan myös kohdistaa koko vesimassaan, pintaveteen tai alusveteen. Kun hapetus tapahtuu johtamalla ilmaa veteen, puhutaan usein ilmastuksesta. Hapekasta päällysvettä johdettaessa järven alusveteen voidaan puhua alusveden kiertäyshapetuksesta (Kuva 7). (Lappalainen & Lakso 2005, 153.) Oikein mitoitettulla laitteella syvänteiden alusveden happipitoisuus voidaan pitää riittävänä ($> 3 \text{ mg/l}$) kesän ja talven kerrostuneisuusaikana. Menetelmän hankinta- ja käyttökustannukset saattavat nousta ainakin ensimmäisenä vuonna yli 10 000 €:n, ja myöhemminkin aiheutuu kustannuksia laitteen käytöstä ja huollosta.

Alusveden poistamisesta puhutaan, jos alusvettä johdetaan painovoimaisesti tai pumppaamalla esimerkiksi alapuoliseen vesistöön. Tällöin on kyseessä eräänlainen hapetuksen sovellus, jossa alusvesi korvautuu hapekkaammalla pintavedellä. Lisäksi veteen voidaan lisätä happea kemikaalina. (Lappalainen & Lakso 2005, 153; Ulvi 2005, 203.)



Kuva 7. Havainnekuva Mixox -laitteella toteutetusta syvänteiden hapetuksesta. (Vesi-Eko Oy 2011)

Hapetuksesta kunnostusmenetelmänä ei ole valmiita sovelluksia virtaveisiin. Jokiuoman syvänteisiin kohdistuvassa hapen lisäyksessä kannattaa

kuitenkin jollakin tavalla hyödyntää hapekkaamman pintaveden virtausta. Syvänteen yläpuolisen jokiuoman pintavirtausta voisi ohjata putkituksella tai jonkin luiskan avulla kohti alusvettä. Reittivesistössä tämä tulee toteuttaa vielä siten, että joelle asennettavista rakennelmista ei ole haittaa veneilijöille ja vesistön muulle käytölle.

5.2.2. Happikalkkikäsittely

Vesistön happipitoisuutta voidaan pyrkiä lisäämään kemiallisella käsittelymenetelmällä. Tähän tarkoitukseen toimii paikallisesti esimerkiksi rakeinen kalsiumperoksidi (CaO_2) eli syvänteen happikalkkikäsittely. Kalsiumperoksidi levitetään veneestä vesistöön halutulle syvännealueelle. Aine uppoaa rakeisen koostumuksensa ansiosta pohjasedimenttiin. Se hajoaa hitaasti reagoidessaan veden kanssa, jolloin vapautuu happea ja kalsiumhydroksidia. Sedimentin pintakerrokseen vapautuvan hapen ansiosta fosfori sitoutuu uudelleen rautayhdisteisiin. Happipitoisuuden nousu kasvattaa aerobisten mikrobien määrää ja hajotustoiminta vilkastuu. Kalsiumperoksidi on ympäristölle turvallinen. (Nykänen 4.3.2009; Nykänen 2009, 14.)

Menetelmällä on muutamia etuja. Kalsiumperoksidi luovuttaa happea pitkän aikaa. Happikalkin käyttö on helppoa ja siksi työvoiman ja levittämiskaluston tarvekin on vähäinen. Huoltokustannuksia ei ole. Käsittely ei muuta sedimentin rakennetta, koska pohjaa ei tarvitse pöyhiä koneellisesti. Veden pH-arvon nousukaan ei ole kovin suurta, joten veden laatu ei heikkene edes väliaikaisesti. Happikalkkia syntyy teollisuuden sivutuotteena, minkä vuoksi se on melko edullista. Jos annostuksena on 500 kg/ha, niin menetelmän kemikaalikustannukset ovat noin 2 000 € (vuonna 2008). (Nykänen 4.3.2009; Nykänen 2009, 14.)

Kunnostuskohteet

Happikalkkikäsittelyä on kokeiltu toistaiseksi Suomessa vasta muutamissa kohteissa. Etelä-Pohjanmaalla, Lappajärven kunnostushankkeen yhteydessä vuosina 1999–2002 kalsiumperoksidin käyttöä tutkittiin laboratoriossa. Tutkimusten mukaan happikalkki nosti veden happipitoisuutta sedimentin pinnalla, ja happipitoisuus palautui kontrollinäytteiden tasolle vasta kolmen kuukauden jälkeen. Alusveden pH-arvo nousi laboratorionkokeissa erittäin korkeaksi (> 12) ja myös pysyi korkeana tutkimuksen loppuun asti. Korkea pH aiheutti fosforin vapautumista sedimentistä, mikä mitätöikin kokeilun positiiviset vaikutukset. (Savola & Rautio 2003, 39, 40.)

Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitoksella on ollut viime vuosina käynnissä tutkimus, jolla selvitetään kalsiumperoksidin käyttömahdollisuuksia järvisyvänteiden happimäärän lisäämisessä. Tutkimuksia on tehty ensin laboratorio-olosuhteissa. Vuoden 2008 lokakuussa happikalkkikäsittelyä testattiin pienellä Lohjan Rapulammella (Kuva 8), jonka pinta-ala on noin 2500 m². Lammelle levitettiin 125 kg rakeista kalsiumperoksidia (50 g/m²). Tämän jälkeen lammesta haettiin sedimentti- ja vesinäytteitä kerran viikossa ja myöhemmin kerran kuussa. Seuranta jatkettiin kesään 2009 saakka. (Nykänen 2009, 14.)



Kuva 8. Kalsiumperoksidin levitystä Lohjan Rapulammella. (Nykänen 4.3.2009)

Happikalkkikäsittelyllä havaittiin olevan positiivisia vaikutuksia Rapulampeen. Orgaanisen aineksen hajotus kiihtyi. Haittavaikutuksia, kuten fosforin liikkeelle lähtöä sedimentistä tai veden pH:n nousua ei ollut havaittavissa. Aiemmat laboratoriotutkimukset osoittivat myös, että sedimentin pinnanläheinen happipitoisuus nousi ja aerobisten bakteerien määrä lisääntyi. Sedimentin pH:n nousua 8–9:ään havaittiin vasta suuremmilla kalsiumperoksidin annostelumäärillä (75 g/m²). Sedimentin tilavuudessa ei havaittu muutoksia, vain vähäisiä kerrostumia pinnalla. Tutkijoiden mielestä kalsiumperoksidin käytöllä voitaisiin korvata kalliita syvänteiden hapetuslaitteita. (Nykänen 4.3.2009; Nykänen 2009, 14.)

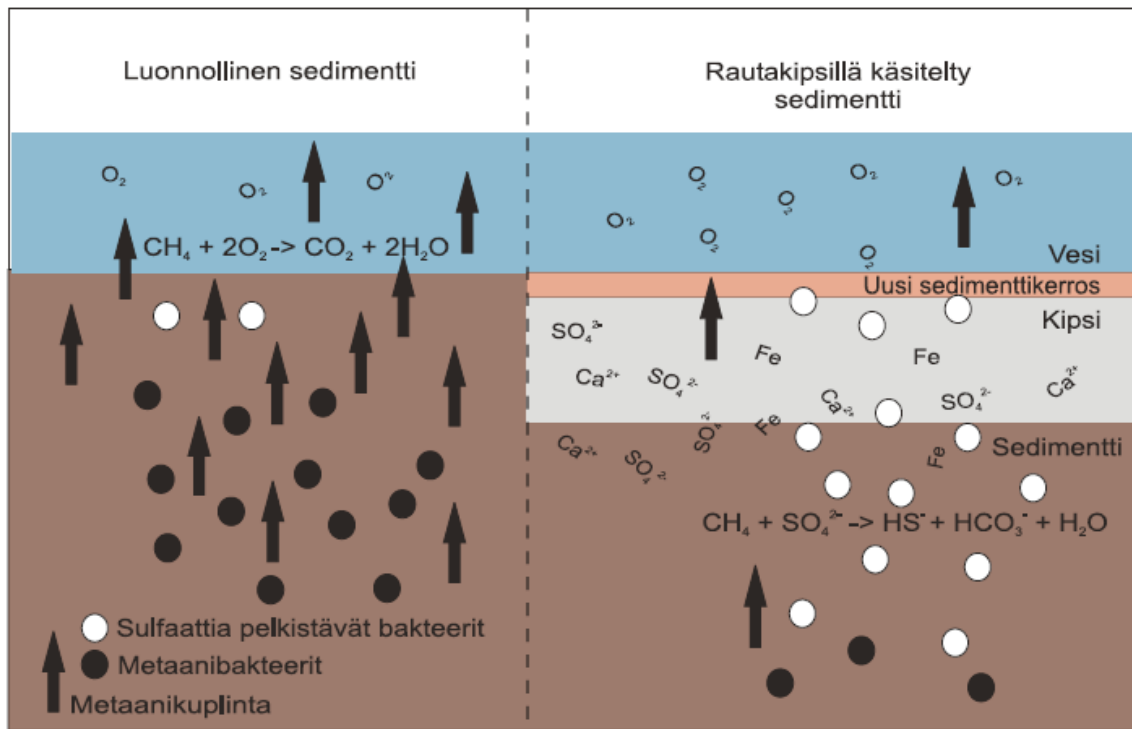
5.2.3. Rautakipsipeitto

Rautakipsin käyttö sedimentin kunnostuksessa voidaan rinnastaa fosforin kemialliseen saostukseen. Käsittelyllä pyritään lisäämään sedimentin fosforinpidätyskykyä. Sedimenttiin lisätystä kipsistä liukenee vähitellen kalsiumia, ja muodostuvat kalsiumfosfaattimineraalit parantavat sedimentin kykyä pidättää fosforia (Kuva 9). Myös rauta sitoo fosforia sekä vesimassasta että sedimentistä. Kipsi tiivistää sedimenttiä ja estää sen pölyämistä. Sedimentin pinnalle muodostuu eräänlainen suojakalvo, joka vähentää metaanibakteerien toimintaa ja kaasujen muodostusta. Samalla kipsi edistää sulfaattia pelkistävien rikkibakteerien aktiivisuutta sedimentin pinnassa ja kohentaa hapetus-pelkistys -tilannetta. (Varjo & Salonen 2005, 311; Salo & Palomäki 2006, 10, 11.)

Koko järven mittakaavassa toteutettu rautakipsikäsittely poistaa vedestä kiintoainetta ja fosforia, jolloin vesi myös kirkastuu ja sen fosforipitoisuus laskee. Pelkän syvänteen pohjasedimentin kipsikäsittelyn ansiosta vesistön sisäinen fosforikuormitus pienenee murto-osaan aikaisemmasta. Kipsin liukeneminen vesistöön heikkenee vähitellen ja arvioiden mukaan kipsi-

kerroksen teho loppuu 4–6 vuoden kuluttua kipsauksesta. (Varjo & Salonen 2005, 313.)

Kipsikäsitely soveltuu parhaiten melko pieniin kunnostuskohteisiin, joissa on selkeä huonon sedimentin syväne. Kipsiä levitetään syvänteeseen noin 0,5–1 cm:n paksuinen kerros. Käsittelyn kustannukset ovat noin 2 500 €/ha 50 tonnin annostuksella (vuonna 2005). Kuljetus- ja levityskustannukset ovat noin 1 000 euroa/ha. Käsiteltävän alueen tarkka syvyyskäyrien mukainen rajaus ja kohteen sedimenttitutkimus ovat suositeltavia toimenpiteitä ennen kipsausta. (Varjo & Salonen 2005, 313; Salo & Palomäki 2006, 10, 11.)



Kuva 9. Havainnekuva rautakipsikäsitelyn vaikutuksista sedimenttiin. (Varjo & Salonen 2005, 311)

Kunnostuskohteet

Ensimmäinen kipsikäsitely toteutettiin Jokioisten Laikkalammella vuonna 1998. Lammi on pienikokoinen (0,7 ha) ja syvä (14 m) pohjavesiallas, joka oli kuormittunut erittäin pahoin. Lammessa on pysyvät kerrostuneisuusolot ja vain pintavesi oli hapekasta. Lampeen levitettiin 23 m³ kipsiä eli pohjalle tuli keskimäärin 0,5 cm paksuinen kerros. Käsittely kaksinkertaisti lammen näkösyvyyden ja alensi pinta- ja väliveden fosforipitoisuuksia huomattavasti useaksi vuodeksi. Sen sijaan pahoin saastuneen alusveden ja sedimentin kokonaisfosfori- ja liukoisen fosforin pitoisuudet ovat vähitellen nousseet melko korkeiksi. (Varjo & Salonen 2005, 313, 314.)

Lappajärven kunnostushankkeen yhteydessä tutkittiin laboratorio-oloissa myös rautakipsin käyttöä vesistökuunnostuksessa. Tutkimusten mukaan rautakipsi nosti veden happipitoisuutta aivan sedimentin pinnalla, ja happipitoisuus palautui kontrollinäytteiden tasolle vasta kolmen kuukauden

jälkeen. Alusveden pH-arvo nousi laboratorionkokeissa erittäin korkeaksi (> 12), mutta tasaantui viikossa normaaliksi. Rautakipsi pidatti hieman sekä liukoista että kokonaisfosforia hapellisissa olosuhteissa mutta ei enää hapettomissa. (Savola & Rautio 2003, 39, 40.)

Sedimentin kipsausmenetelmää on kehitetty Turun yliopistossa, joka teki Uudenkaupungin Kaukjärven syvänteellä kesällä 2003 kipsipeittokokeen erityisesti pohjan eliöstön tutkimiseksi. Kaukjärvi oli ihanteellinen tutkimuskohde, koska siellä on kaksi erillistä samankaltaista syväntettä. Kipsikoe tehtiin toiseen syvänteeseen ja toista käytettiin vertailupaikkana. Kipsiä levitettiin kesäkuun alkupuolella syvänteeseen 10 tonnia, jolloin kerroksen paksuudeksi tuli 0,5–1 cm. Levitetyn kipsimäärän kustannukset olivat 2000–3000 € (vuonna 2003). Tutkimus osoitti, että kipsauksella ei ole haitallisia vaikutuksia järven eliöistöön. (Vakka-Suomen Sanomat 1.11.2007.)

Tammelan Mustialanlammilla toteutettiin pohjasedimentin kipsikäsittely vuonna 2004. Lammi on melko pienikokoinen (23 ha) ja lyhytviipymäinen (30 vrk). Lammissa on selkeä syvänteen (16,8 m) ja voimakasta sisäistä kuormitusta. Kipsi puhallettiin lammin syvänteeseen (150 t/3 ha) hienojakoisena ja kuivattuna jauheena, ja tarkoituksena oli erityisesti vähentää ravinteiden liukenemistä pohjasedimentistä. Rautakipsi maksoi tuolloin noin 50 €/tonni. Kun kuljetus- ja levityskustannukset huomioidaan, niin menetelmän kokonaiskustannuksiksi muodostuu noin 4 500 €/ha (vuonna 2004). (Varjo & Närvänen 2008, 38–40.)

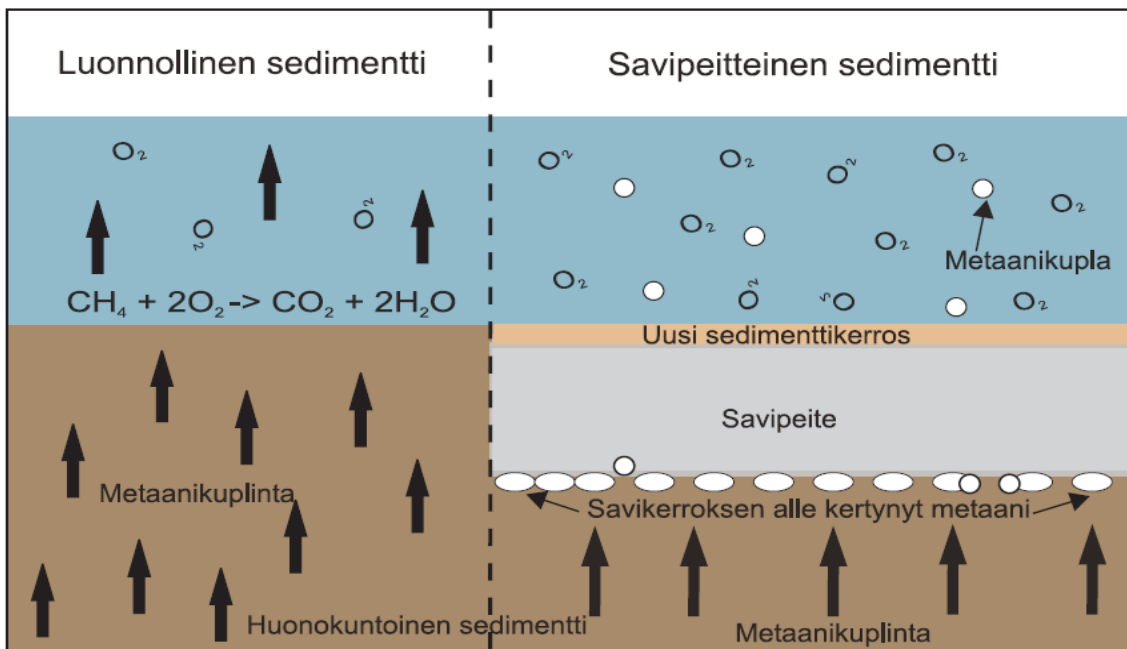
Mustialanlammien kipsikäsittelyn jälkeisestä tilan seurannasta vastasi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) vuosina 2004–2007. Veden pH on pysynyt samalla tasolla koko ajan. Pohjanläheisen veden happitilanne näytti parantuneen huomattavasti aiemmasta, vaikkakaan aiempia vertailutuloksia ei ollut kovin paljon käytössä. Alusveden fosforipitoisuudet pienenevät huomattavasti, eivätkä ole kohonneet jälkiseurannan aikana. Sedimenttiin sitoutuneen kokonaisfosforin määrä on kasvanut noin 25 % kipsikäsittelyn seurauksena. Suurin osa tästä fosforista on sitoutunut rautayhdisteisiin, mikä on seurausta kipsin sisältämän raudan fosforinsitomistehokkuudesta. Lammin näkösyvyys on yli kaksinkertaistunut ja alusvedessä aikaisemmin ollut voimakas rikkivedyn haju on kadonnut kipsikäsittelyn myötä. (Varjo & Närvänen 2008, 40–43.)

5.2.4. Savipeitto

Savipeittomenetelmän tavoitteena on järven sisäisen fosforikuormituksen kierteen katkaisu eristämällä syvänteen sedimentti puhtaalla savella. Orgaaninen aines hajoaa savella hitaasti anaerobisesti, jolloin hajoamistuotteena muodostuu pääasiassa metaania. Tiivis savikerros estää kaasujen vapautumisen, jolloin metaani kerääntyy savikerroksen alle kaasukupliksi (Kuva 10). Kuplien koon kasvaessa ne läpäisevät savikerroksen ja vapautuvat ilmakehään. Purkautumiskohta tiivistyy pian uudelleen kiinni. Jatkossa uusi sedimentoitava aines kertyy savipeitteen päälle ja sedimentin hapentarve laskee. (Pekkarinen 2005, 319.)

Savipeiton alla lisääntyvää kaasunmuodostumista voidaan vähentää merkittävästi ennen savipeittoa tehtävällä kemikaloinnilla. Ensisijaisesti on käytetty rakeisessa muodossa olevaa ferrisulfaattia ($\text{Fe}^2(\text{SO}_4)^3$). Aine levitetään veneestä vesistöön halutun syvänealueen laajuudelle. Rauta ja sulfaatti osallistuvat pelkistyneissä olosuhteissa orgaanisen aineen hajotukseen ja vähentävät sitä kautta metaanin muodostumista. (Pekkarinen 2005, 319.)

Ferrisulfaattia annostellaan noin 100 g/m^2 tai jos käytetään Kemwater FERIX-3:a, on kemikaalin tarve $0,5 \text{ kg/m}^2$ eli 5 t/ha. Sedimentin yläpuolisessa vesikerroksessa saattaa esiintyä käsittelyn yhteydessä pH-arvon alenemista ja kohonneita rautapitoisuuksia. Lisäksi savipeiton käyttö on perusteltua vain, jos riittävän hyvälaatuista savea saadaan otettua peitettävän alueen läheltä. Edullisinta olisi siirtää savimassaa pumppaamalla sitä putkea pitkin järven matalalta osalta syvänealueelle. Savi tulisi levittää pohjalle noin 5–10 cm paksuiksi kerrokseksi. (Pekkarinen 2005, 319.)



Kuva 10. Havainnekuva savipeittokäsittelyn vaikutuksista sedimenttiin. (Pekkarinen 2005, 319)

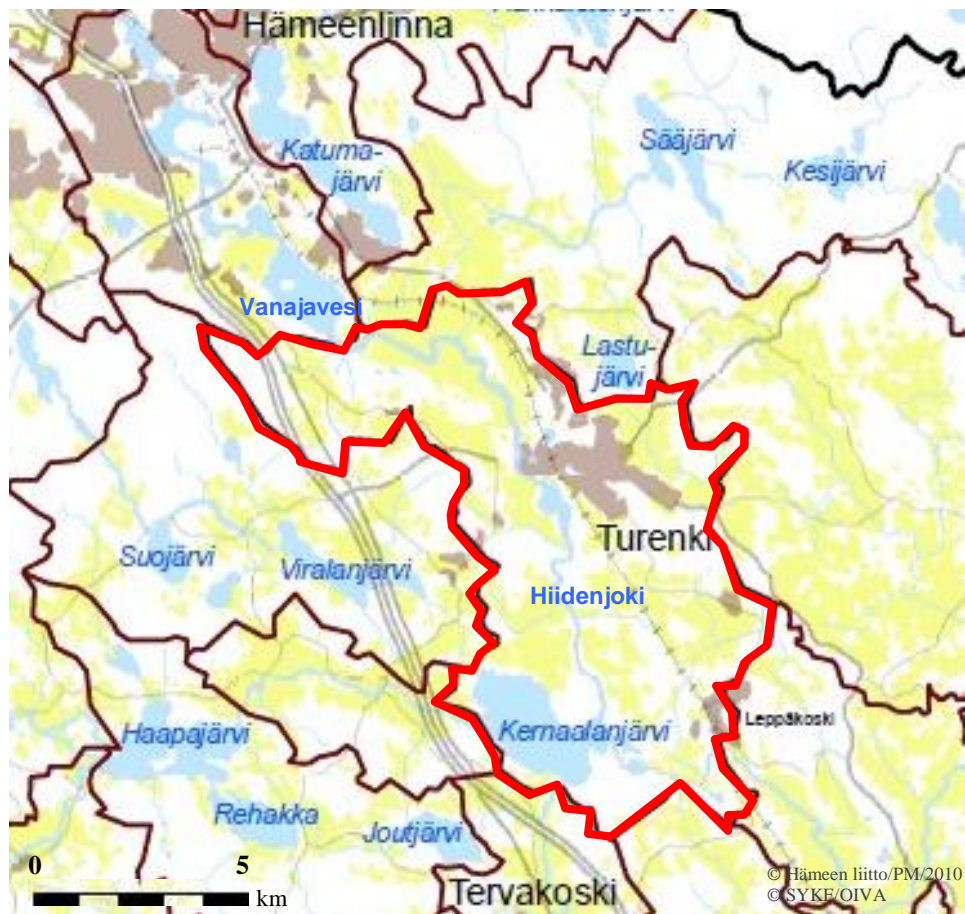
Kunnostuskohteet

Tuusulanjärven pohjasedimentin kunnostusmahdollisuuksia tutkittiin järvellä tehdyillä kenttäkokeilla vuosina 1993–1997. Tutkimuksia tehtiin sekä järven syvänteelle rakennetuissa koealtaissa että laboratoriossa. Kokeilla testattiin järven syvänteen savipeiton vaikutuksia sisäisen fosforikuormituksen vähentämiseen. Savipeittokoealueen savi otettiin matalammalta hyväkuntoiselta pohjalta imuruoppaus- ja massapumppaustekniikoilla. Savi levitettiin 5–10 cm paksuiksi kerrokseksi. Tutkimuksissa seurattiin pohjakäsittelyjen välittömiä vaikutuksia sedimentin yläpuolisen veden laatuun. Laboratoriokokeilla tutkittiin myös fosforin vapautumisnopeutta. Savipeiton pitkäaikaisvaikutuksia tutkittiin pohjaeläimistä, sedimentin huokosvedestä ja kaasunmuodostuksesta. (Sommarlund, Pekkarinen, Kansanen, Vahtera & Väisänen 1998, 18–21.)

Tutkimustulosten mukaan Tuusulanjärven syvänteelle tehty savipeitto vähensi fosforin vapautumista sedimentistä merkittävästi. Savipeiton alta vapautunut kaasu tosin heikensi sedimentin fosforinpidätyskykyä alkuvaiheessa. Ferrisulfaatilla käsitelty sedimentti ja sen päälle tehty noin 5 cm paksu savipeitto vähensivät huonon happitilanteen vallitessa syvänteestä vapautuvan fosforin määrää jopa 75–80 %. Savipeiton teho säilyy pitkään, jos samanaikaisesti pystytään vähentämään ulkoisen kuormituksen määrää, jolloin peiton päälle ei enää kerääny uutta kiintoainesta niin paljon. (Sommarlund ym. 1998, 87, 88.)

6 TUTKIMUKSEN KOHDE

Opinnäytetyön tutkimusalueena on Janakkalan Hiidenjoki, joka on osa Kanta-Hämeen, Päijät-Hämeen ja Pirkanmaan alueille sijoittuvaa Vanajaveden reittivesistöä ja kuuluu Kokemäenjoen vesistöön. Reitin eteläiset haarat yhtyvät Janakkalan Kernaalanjärvessä, joka laskee Hiidenjokea pitkin Vanajaveden Miemalanselkään Hämeenlinnan ja Janakkalan rajalla (Kuva 11). Hiidenjoen pituus on noin 15 km ja keskimääräinen leveys noin 50–60 metriä. Joen virtausnopeus on hidas johtuen Kernaalanjärven ja Vanajaveden välisestä vähäisestä korkeuserosta, mikä saakin joen näyttämään paikoin järvimäiseltä. (Hämeen ELY 22.1.2010.)



Kuva 11. Janakkalan Hiidenjoen lähivaluma-alueen raja (punaisella).

Hiidenjoen reitti mutkittelee pääosin luonnon helmassa (Kuva 12). Vakiuista asutusta sijaitsee lähinnä vain Turengin ja uudehkon Alikartanon asuinalueen kohdalla. Loma-asuntoja on siellä täällä joen varsilla. Joella rantautuminen on enimmäkseen vaikeaa soistuneiden ja tiiviin kasvillisuuden peittämien rantojen vuoksi. Hiidenjoella kulkee virallinen venereitti sekä opastein ja palveluin varustettu Hiiden melontareitti. (Hiiden melontareitit 2006.) Myös virkistyskalastus on suosittua Hiidenjoella.



Kuva 12. Hiidenjoen luusua. Toisella puolella avautuu Vanajaveden Miemalanselkä.

6.1. Hiidenjoen ominaispiirteitä

Hiidenjokiuoma ympäristöineen on topografialtaan melko tasaista. Koska jokiuoma ei juurikaan laske koko 15 kilometrin matkallaan, on myös joen keskivirtaama varsin heikko, noin $17 \text{ m}^3/\text{s}$ (Paakkinen 2011, 32).

Hiidenjoki on luokiteltu hydrologis-morfologiselta tilaltaan erinomaiseksi. Tämä siksi, että joella ei ole patojen tai muiden rakenteiden aiheuttamia noususteitä eikä niistä aiheutuvaa rakennettua putouskorkeutta. Myös joen rakennetun osuuden prosentuaalinen määrä on pieni suhteessa rantaviivan pituuteen. Lisäksi joen virtaaman vuorokausittainen vaihtelu normaalin vesitilanteen keskivirtaamaan verrattuna on pientä ja virtaama on melko luonnontilaista. (Hämeen ELY-keskus 2010, 102, 103.)

Jokiympäristöä hallitsevat sedimentoitumisolojen kannalta vaihtelevat transportaatiopohjat, ja paikoin matalammilla eroosiopohjilla ei tapahdu virtauksen vuoksi sedimentoitumista lainkaan. Hiidenjoen syvimät alueet, kuten Holmukreeninlahden syväne, toimivat ainakin ajoittain joen akkumulaatiopohjina, jonne kiintoainesta kerrostuu pohjanläheisten vesivirtausten ollessa niin heikkoja. Suurimmat virtaamat ulottuvat kuitenkin myös syvänteen alusveteen ja sekoittavat näin ollen veden kerrosteisuuden sekä sedimentin. Akkumulaatiopohjien sedimentin hapenkulutus on voimakasta ja pohjanläheisen veden uusiutuminen hidasta. Tämän vuoksi akkumulaatiopohja-alueet ovat myös herkkiä happikadoille. (Suomen ympäristökeskus 14.12.2011.)

6.2. Hiidenjoen syvyyskartoitus

Monet virastot ja laitokset ovat tehneet aikojen saatossa Suomen sisävesien syvyyskartoituksia. Viime vuosina syvyyskartoitusten teosta on vastannut Suomen ympäristökeskus yhdessä alueellisten ELY-keskusten kanssa. Pääasiallisia luotauskohteita ovat olleet suurimmat järvet. Nykyisin syvyyskartoitukseen liittyvä suunnittelu, mittaus ja tiedonkeruu pystytään tekemään veneestä GPS-paikantimen ja kaikuluotaimen avulla erityistä luotausolosuhteet sietävää tietokonetta apuna käyttäen. Kaikki syvyysaineistot ovat koottuna ympäristöhallinnon paikkatietoaineistoihin, josta tiedot löytyvät syvyyspisteinä, -käyrinä ja -vyöhykkeinä. Syvyysaineistoja voidaan hyödyntää muiden kartta-aineistojen yhteydessä ja niitä voidaan muokata käyttötarkoituksen mukaan. (Suomen ympäristökeskus 15.5.2012.)

Hämeen ympäristökeskus on kartoittanut Hiidenjoen pohjan muodot vuonna 2006 tehdyillä kaikuluotauksilla (Ranta-aho 2006). Kaikuluotauksien tuloksina saadut joen syvyyskäyrät ovat käytettävissä tässä työssä numeerisena kartta-aineistona. Syvyyskäyrien hyödyntämisen hankaluutena voidaan pitää aineiston varsin yleispiirteistä syvyysjakaumaa, jolloin joen pohjan muotoja ei pystytä tarkastelemaan kovin tarkasti. Hiidenjoella tehdyn kaikuluotauksen tulokset on esitetty mittausvälein 0–1,5 m, 1,5–3 m, 3–6 m ja 6–10 m. Vesistön syvyystiedot ja erityisesti syvimmät alueet on esitetty opinnäytteen liitekartalla 1.

6.3. Hiidenjoen veden laatu

Hiidenjoki on eutrofinen eli runsasravinteinen vesistö, joka lienee myös luontaisesti rehevä (Jutilla 2008). Hiidenjoki on luokiteltu jokityypiltään suureksi kangasmaiden joeksi (Suomen ympäristökeskus 7.12.2010). Joen vedenlaatu on välttävä (Hämeen ELY 22.1.2010). Viimeisimmän vesistön yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan joen tila on myös välttävä Valtion ympäristöhallinto 24.10.2011). Vedenlaatua heikentävät voimakkaasti luonnontasosta kohonnut rehevyytaso, runsas humusisuus ja ajoittaiset happitalouden häiriöt. Toisaalta Hiidenjoki on luokiteltu vuonna 2008 ekologiselta tilaltaan tyydyttäväksi ja kemialliselta tilaltaan hyväksi (Kaipainen, Jutilla, Bilaltdin & Frisk 2009, 10; Suomen ympäristökeskus 6.11.2008).

Hiidenjoen vesi on peruslaadultaan ruskeaa ja runsas humuksista. Vedenlaatu muuttuu nopeasti valumatilanteen mukaan. Vesi samenee voimakkaasti ja ravinnetaso kohoaa, kun valumat ovat runsaita. Lämpivirtauksesta ja joen topografiasta johtuen kerrosteisuusolot ovat vaihtelevat. Joen talvinen happitalanne säilyy yleensä melko hyvänä, mutta kesäaikana syvänteiden alusvedessä on havaittavissa merkittävää happivajausta ja jopa happikatoja. (Paakkinen & Piironen 20.12.2010, 5.)

Veden pH on järvi-vesien normaalilla tasolla, mutta kesäisin pH kohoaa usein voimakkaan levätuotannon takia. Vesistön erittäin reheville vesille ominaiset kesäiset fosforipitoisuudet mahdollistavat voimakkaan levätuotannon ja levää todetaankin usein runsaasti kesäisin. Niin klorofyllipitoi-

suus kuin fosforipitoisuuskin on Hiidenjoen osalta ominainen erittäin reheville vesille. Hiidenjoessa todetaan ajoittain myös lievää hygieenistä nuhraantumista ja hygieeninen vedenlaatu onkin vaihdellut erinomaisesta välttävään. Uimiseen vesi soveltuu kuitenkin hygieenisen laatunsa osalta hyvin. (Paakkinen & Piironen 20.12.2010, 5; Kernaalanjärvi n.d.)

6.4. Hiidenjokeen tuleva kuormitus

Hiidenjoelle tulevasta virtaamasta noin puolet on peräisin Puujoesta, johon on johdettu muun muassa Leppäkosken taajaman jätevedenpuhdistamolta tulevia vesiä (Liite 1). Puujoen vesi on peruslaadultaan sameahkoa, ravinteikasta ja hieman hygieenisesti likaantunutta. Toinen puoli Hiidenjoen virtaamasta tulee Kernaalanjärvestä, johon laskevista joista kuormittavin on Tervajoki. Jokeen on johdettu vesiä muun muassa Tervakosken taajaman jätevedenpuhdistamolta ja edelleen Tervakosken paperitehtailta. (Paakkinen 2011, 17, 21, 25, 28.)

Hiidenjokea ovat kuormittaneet pitkään teollisuuden jätevedet, jätevedenpuhdistamoiden purkuvedet sekä maataloudesta ja haja-asutuksesta peräisin oleva hajakuormitus. Hiidenjokeen tuleva pistekuormitus on pienentynyt huomattavasti 1980-luvun puolivälissä Tervakoski Oy:n paperitehtaiden jätevesien biologisen käsittelyn ansiosta. Lisäksi Turengin Sokeritehtaan kausiteollisuus päättyi kokonaan vuonna 1998. (Paakkinen 2011, 12, 28.) Myös asutusjätevesien puhdistaminen on aikojen saatossa tehostunut huomattavasti. Janakkalan jätevesien käsittely on keskitetty nykyään yhteen paikkaan Turengin jätevedenpuhdistamolle, kun Tervakosken ja Leppäkosken taajamien jätevedet on johdettu loppuvuodesta 2010 asti siirtoviemärillä Turenkiin (Janakkalan Vesi 20.12.2010).

6.5. Hiidenjoen tutkimustulokset

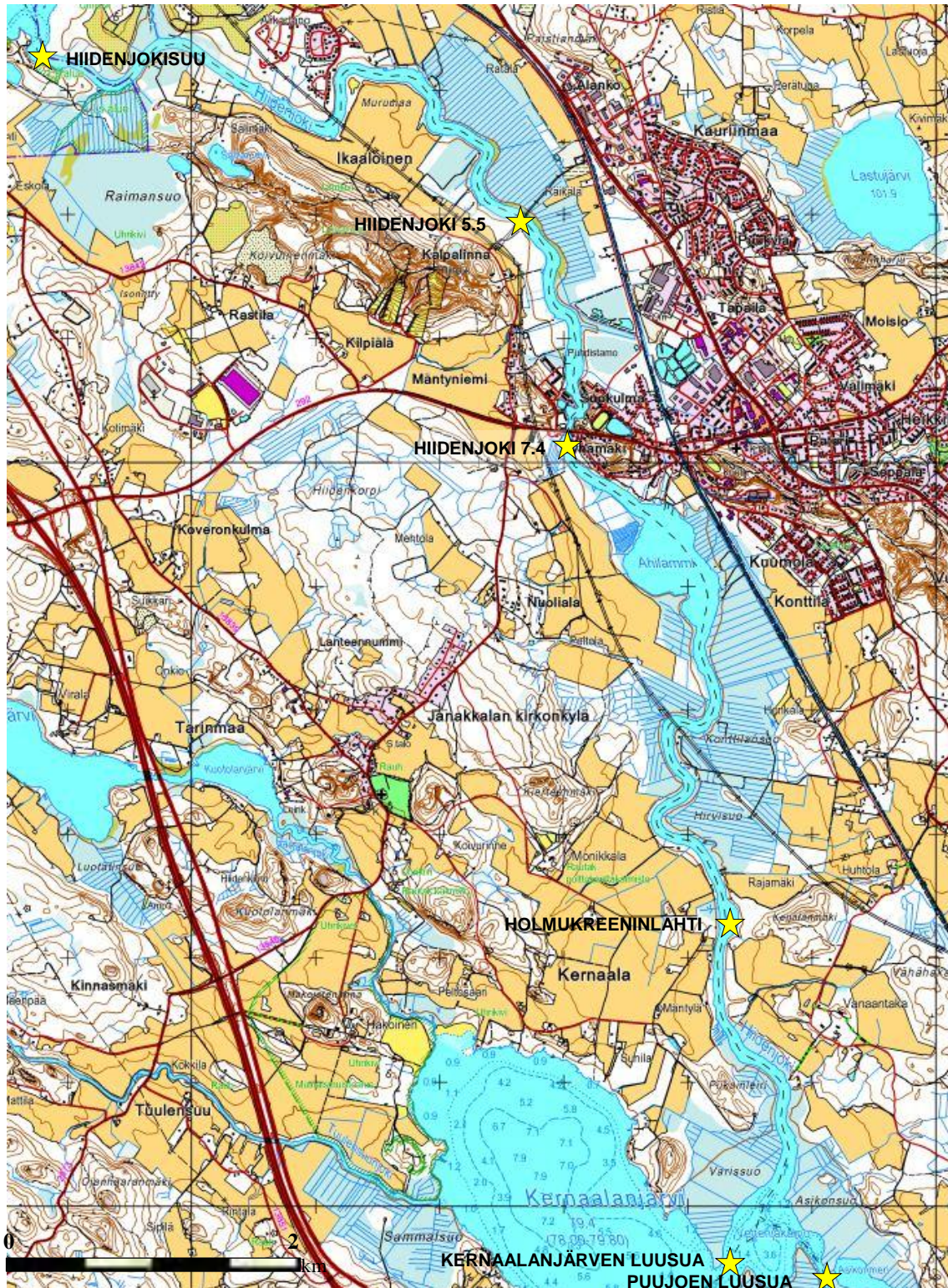
Hiidenjoesta on vesinäytteiden tutkimustuloksia 1970-luvulta saakka. Tutkimukset liittyvät pääosin vesihallituksen vuonna 1977 hyväksymään tarkkailuohjelmaan. Vuonna 2010 laadittiin uusi yhteistarkkailuohjelma, johon osallistuu 12 kuormittajaa. Hiidenjoen yläpuolisten alueiden osalta yhteistarkkailuohjelmassa ovat mukana Turengin keskuspuhdistamo ja Tervakoski Oy. Vanajaveden yhteistarkkailun velvoitteet perustuvat kuormittajille myönnettyihin ympäristölupiin. (Paakkinen 2011, 1.)

Vanajaveden yhteistarkkailuohjelman mukaisesti havaintopaikkojen vedenlaatua tarkkaillaan lopputalvella, keväällä, loppukesällä ja syksyllä (Paakkinen 2011, 2). Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys on toiminut vesinäytteiden ottajana ja analysoijana. Vuonna 2010 yhteistarkkailun mukaisia vesinäytteitä otettiin Hiidenjoelta jopa seitsemän kertaa (Taulukko 4). Kuvassa 13 on esitetty kaikki Hiidenjoella sijaitsevat tutkimuspisteet, joista on otettu vesinäytteitä.

Virtaavan veden sisäinen kuormitus Janakkalan Hiidenjoessa

Taulukko 4. Vanajaveden yhteistarkkailuohjelman näytteenotto-ohjelma Hiidenjoella vuonna 2010. (Paakkinen 2011, 2.)

	alku- talvi	loppu- talvi	kevät	alku- kesä	keski- kesä	loppu- kesä	syksy
Hiidenjoki 7.4	x	x	x	x	x	x	x
Vanajav. Hiidenjokisuu	x	x	x		x	x	x



Kuva 13. Hiidenjoen vesinäytteiden tutkimuspisteet. (Maanmittauslaitos, Maastokartta-rasteri 1:50 000, 26.10.2012.)

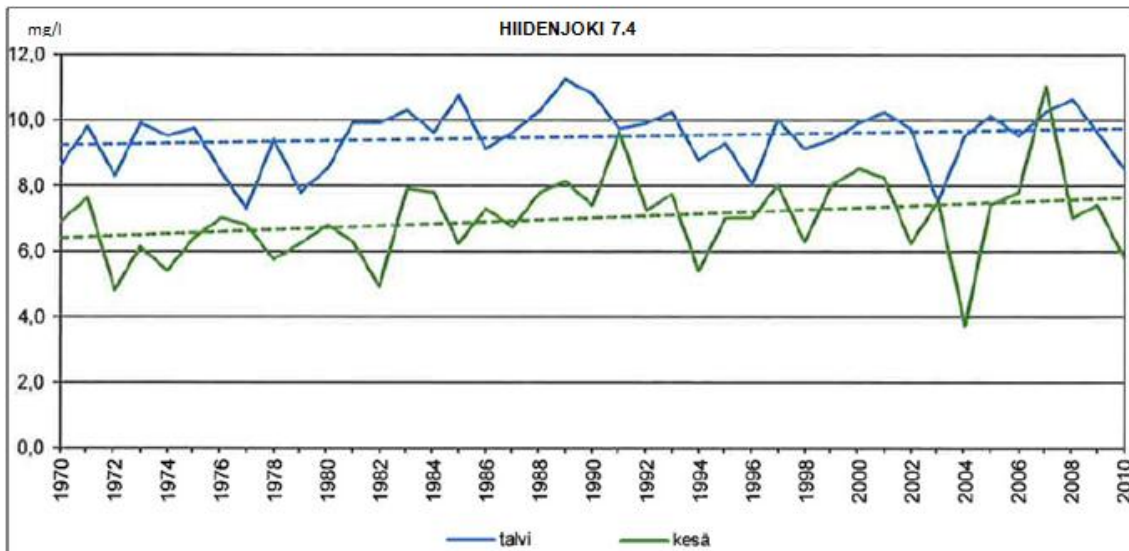
Hiidenjoesta on säännöllisiä vesinäytteiden tutkimustuloksia kolmesta kohteesta. Ylin näytepiste, Hiidenjoki 7.4, sijaitsee Turengin kohdalla, jolloin jokeen ei vielä kohdistu Turengin jätevedenpuhdistamon tai entisen sokeritehtaan kuormitusta. Toinen näytepiste, Hiidenjoki 5.5, sijaitsee noin kaksi kilometriä alempana, Turengista tulevan kuormituksen alapuolella (Kuva 14). Alin näytepiste on Hiidenjokisuussa, Miemalanselän eteläosassa. (Paakkinen 2011, Liite 2/1; Valtion ympäristöhallinto 24.10.2011.)



Kuva 14. Hiidenjoki Turengin jätevedenpuhdistamon jälkeen. Miemalanselälle on matkaa 5,5 km.

6.5.1. Vesinäytteiden tutkimustulokset vuosilta 1970–2010

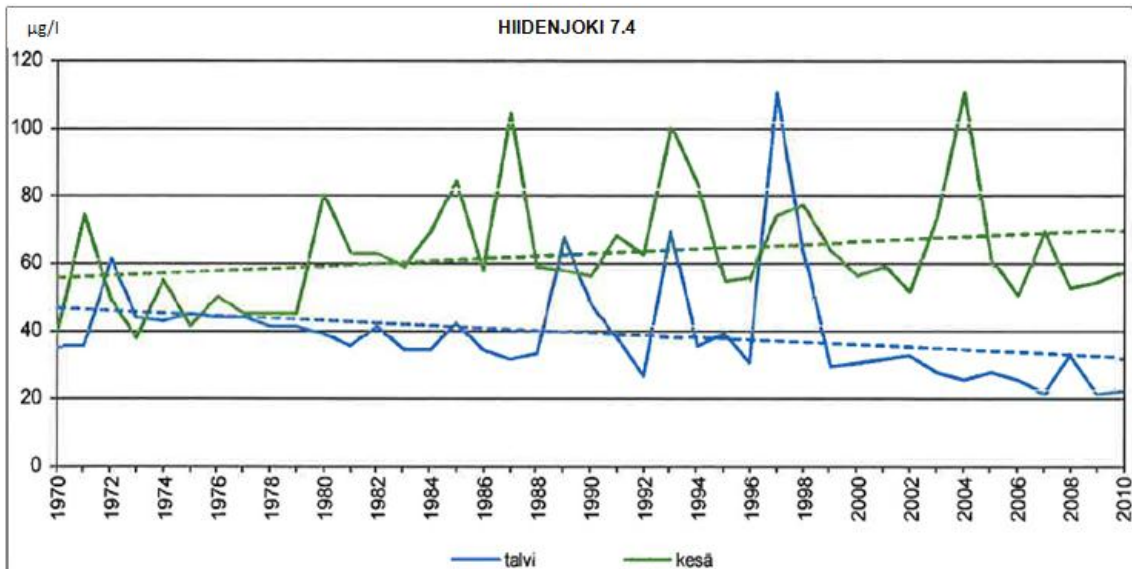
Turengin kohdalla sijaitsevan Hiidenjoen havaintopaikan (7.4) pintavedestä otettujen vesinäytteiden tutkimustuloksista on havaittavissa selvästi Hiidenjoen kuormittuneisuus aikojen saatossa. Toisaalta pitkällä aikavälillä Hiidenjoen keskimääräinen happipitoisuus on kuitenkin lievästi parantunut (Kuvio 1). Joen happitilanne parantui erityisesti 1980-luvun puolivälissä Tervakosken paperitehtaiden jäteveden puhdistuksen biologisen käsittelyn ansiosta. Tällöin happea kuluttavaa orgaanista ainesta pääsi vesistöön aiempaa vähemmän. (Paakkinen 2011, 29.)



Kuvio 1. Hiidenjoen happipitoisuus (mg/l) vuosina 1970–2010. (Paakkinen 2011, 30.)

Hiidenjoen pintaveden fosforipitoisuudet laskevat talvisin pääsääntöisesti lievästi rehevien vesien tasolle ja talviaikaiset fosforipitoisuudet ovat pienentyneet pitkällä aikavälillä (Kuvio 2). Keväällä veden fosforipitoisuus lähtee nousuun ja saavuttaa maksimin yleensä elokuussa. Kesäajan fosforipitoisuudet ovat jatkaneet nousuaan pitkällä aikavälillä jokeen kohdistuvan runsaan hajakuormituksen vuoksi. (Paakkinen 2011, 29, 30.) Jokien osalta ei olekaan yleisesti havaittavissa vastaavaa fosforipitoisuuksien pitkän aikavälin alenemista kuten järvissä, mutta jokivesien suurimmat maksimiarvot näyttäisivät kuitenkin hieman alentuneen (Hämeen ELY-keskus 2010, 96). Hiidenjoen korkeat fosforipitoisuudet näkyvät muun muassa sateisen kesän 2004 tuloksissa, kun valumavedet toivat runsaasti ravinteita pelloilta (Paakkinen 2011, 29, 30). Toisaalta silloin veden happipitoisuuskin oli alhaalla, joten korkeat fosforipitoisuudet ovat voineet aiheutua osittain myös sisäisestä kuormituksesta. Joen kesäaikaiset vesinäytetulokset ovat ylittäneet melko säännöllisesti suurille kangasmaiden joille annettun välttävän vedenlaatuluokan fosforipitoisuuden raja-arvon 55 µg/l.

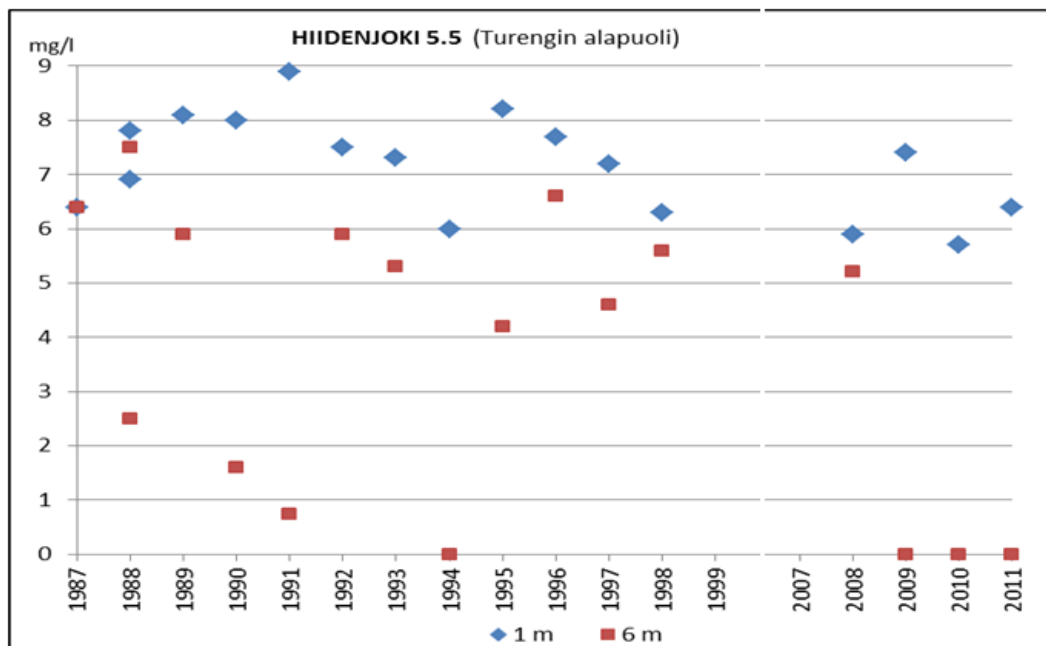
Jokivesien ravinnepitoisuudet ovat tyypillisesti hieman korkeampia kuin järvien, ja pitoisuudet yleensä kasvavat alajuoksulle päin mentäessä (Hämeen ELY-keskus 2010, 96). Hiidenjoen fosforipitoisuuksissa ei näy juurikaan vaihtelua eri näytepisteiden kesken. Turengin jätevedenpuhdistamonkin vaikutus fosforikuormitukseen jää laskennallisesti hyvin vähäiseksi. Ajoittaiset kokonaisfosforin pitoisuusnousut Turengin yläpuolisen ja alapuolisen näytepisteen välillä ovat olleet vain 1–12 µg/l. (Paakkinen 2011, 31.) Toisaalta alajuoksulle päin kertyvällä kuormituksella on vaikutusta esimerkiksi pintaveden hapenkulutukseen. Veden mukana kulkeutuvasta orgaanisesta aineksesta valtaosa hajoaa päällyksvedessä ja näin ollen enin osa veden liukoisesta hapesta myös kuluu jo päällyksvedessä (Lappalainen 1978, 11–12).



Kuvio 2. Hiidenjoen fosforipitoisuus (µg/l) vuosina 1970–2010. (Paakkinen 2011, 30.)

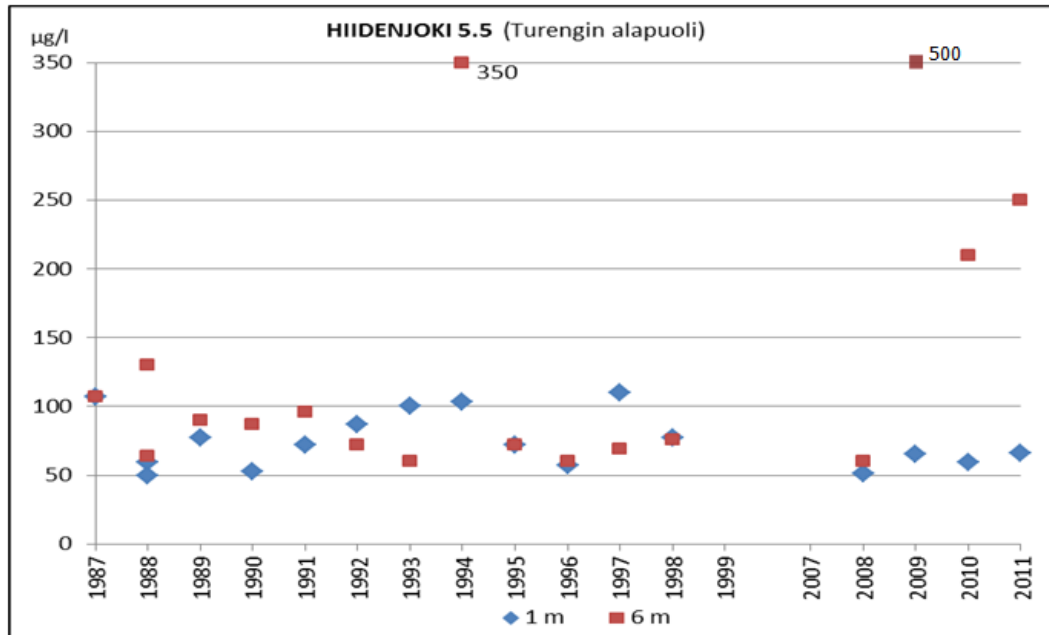
6.5.2. Tutkimustulokset joen eri syvyyksiltä vuosina 1987–2011

Viimeisimpien lämpimien ja vähäsateisten kesien vesinäytteiden tulokset ovat osoittaneet, että joen korkeat ravinnepitoisuudet eivät selity yksistään jokeen tulevasta runsaasta ulkoisesta kuormituksesta. Joessa on syvänteitä, joissa alusvesi menee hapettomaksi kesän lämpimien ja vähäsateisten jaksojen aikana (Kuvio 3). Hiidenjoen virtausnopeus on luonnostaankin hyvin hidas, mutta varsinkin kesällä vähäisen virtaaman aikana joessa on mitä ilmeisimmin usein vain pintavirtausta. Hiidenjoen syvyys on Turengin alapuolisen näytepisteen (Hiidenjoki 5.5) kohdalla 7,1 metriä, ja vesinäytteet on otettu yhden sekä kuuden metrin syvyyksistä (Valtion ympäristöhallinto 24.10.2011).



Kuvio 3. Hiidenjoen happipitoisuus (mg/l) joen eri syvyyksistä otetuissa elokuuisissa vesinäytteissä vuosina 1987–2011.

Hiidenjoen alusveden hapettomissa oloissa syvänteiden pohjasedimenttiin kerrostuneista ravinteista varsinkin fosfori pääsee vapautumaan veteen ja aiheuttaa näin ollen sisäistä kuormitusta vesistöön (Kuvio 4). Kesällä 2009 joen syvänteissä oli havaittavissa happikatoa ja erittäin voimakasta sisäistä kuormitusta. Kesällä 2010 joen syvänteiden fosforipitoisuus nousi edelleen 3-kertaiseksi pintaveteen verrattuna ja sama toistui kesällä 2011. Myös Hiidenjokisuusta otetuista vesinäytteistä todettiin kesällä 2010 pohjan läheistä happikatoa ja melko voimakasta sisäistä kuormitusta. Pohjanläheisen veden fosforipitoisuus oli kohonnut lähes nelinkertaiseksi pintaveteen verrattuna. (Paakkinen 2011, 30, 31.)



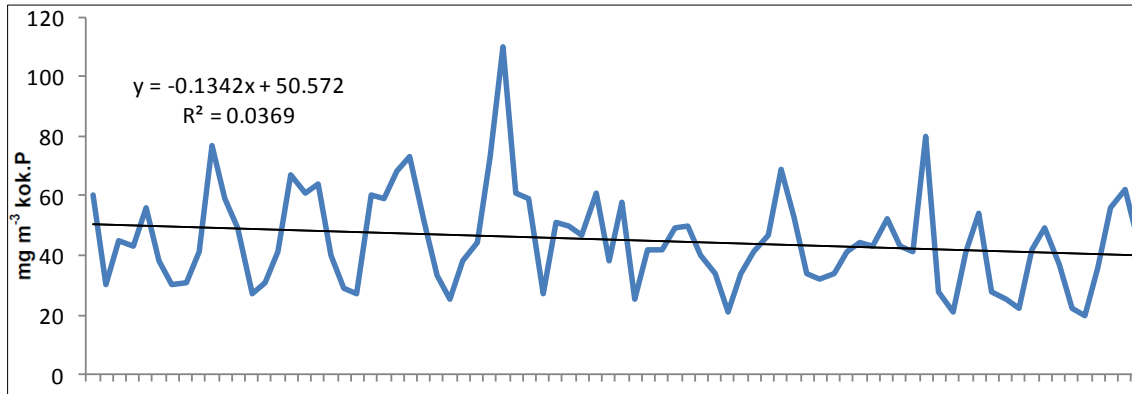
Kuvio 4. Hiidenjoen fosforipitoisuus (µg/l) joen eri syvyyksistä otetuissa elokuisissa vesinäytteissä vuosina 1987–2011.

6.5.3. Hiidenjoesta lähtevä fosforin kokonaiskuormitus

Hämeen ELY-keskus on laatinut vuonna 2010 Hämeen vesistöjen toimenpideohjelman, joka on osa vesienhoidon suunnittelua ja sen taustalla olevaa vesipolitiikan puitedirektiivin toimeenpanoa. Tavoitteena on kaikkien vesistöjen hyvä tila vuoteen 2015 mennessä. Janakkalan Hiidenjoki on ollut toimenpideohjelman yhtenä tarkastelukohteena. Hiidenjoen valuma-alueen pinta-alan (2192 km²) ja vuosittaisen fosforikuormituksen (51 600 kg/v) perusteella on laskettu joen keskimääräinen fosforipitoisuus. Joen fosforipitoisuuden mediaani on ollut 47 mg/m³ (=µg/l) vuosina 2000–2007. (Hämeen ELY-keskus 2010, 4, 90, 100.)

Kuvio 5 havainnollistaa joen kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelua vuosina 2000–2011. Tuloksissa on havaittavissa lievää kokonaisfosforipitoisuuksien alentumista viime vuosikymmenen aikana, koska joen keskimääräistä fosforipitoisuutta kuvaavan viivan kulmakerroin on negatiivinen (-0,1342). Pitoisuuksien pienentyminen ei ole kuitenkaan tilastollisesti vielä kovinkaan merkittävää.

Vesistöjen fosforiainevirtaamat vaihtelevat huomattavasti eri vuosina ja myös vuodenajoittain valumatilanteen sekä hajakuormituksen mukaan. Hiidenjoen keskimääräinen fosforiainevirtaama oli 42 kg/d vuonna 2010 ja 52 kg/d vuonna 2009. Pistekuormitus selittää vain pienen osan ainevirtaamasta, sillä Hiidenjokeen kohdistuva pistemäinen fosforikuormitus oli vuonna 2010 vain 2,5 kg/d. Joen keskimääräinen fosforipitoisuus (42 µg/l) oli samana vuonna hieman suurempi kuin Puujoen alajuoksulla (35 µg/l) ja selvästi pienempi kuin Tervajoella (62 µg/l). (Paakkinen 2010, 29, 31.)



Kuvio 5. Hiidenjoen kokonaisfosforipitoisuuksien (mg/m^3) vaihtelu vuosina 2000–2011. (Arvola 26.10.2012)

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä luvussa kerrotaan Hiidenjoella kesän 2012 aikana toteutetun tutkimuksen menetelmistä. Pääosa tutkimuksen teossa käytetystä aineistosta on hankittu maastokäyntien yhteydessä otetuista vesinäytteistä ja happimittauksista sekä joelle asennetuista loggereista. Tutkimuksilla kartoitetaan joen syvänteiden hapettomuusongelman laajuutta.

7.1. Jatkuvatoimisten happimittareiden asennus ja toiminta

Hiidenjoelle asennettiin toukokuussa 2012 kaksi jatkuvatoimista happimittaria (Kuva 15). Loggereista toinen sijoitettiin joen yläjuoksulle Holmukreeninlahden syvänteeseen, jonka tiedettiin olevan joen syvimpiä kohteita (Liite 1). Toinen loggeri asennettiin Turengin alapuoliseen näytepisteeseen Hiidenjoki 5.5, koska kyseisestä kohteesta oli jo olemassa aiempaa tutkimustietoa joen eri syvyyksiltä.

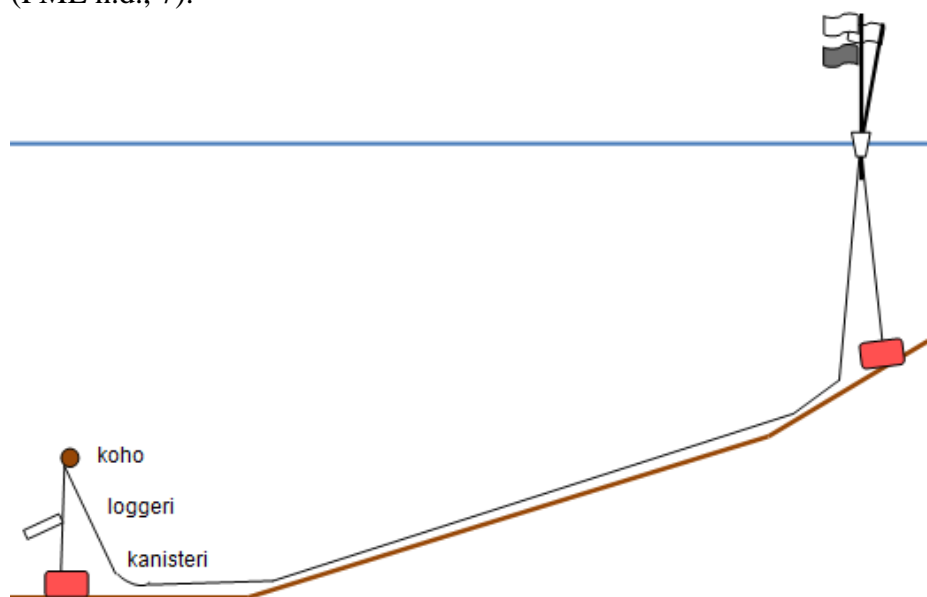
Amerikkalaisen Precision Measurement Engineering (PME) yrityksen valmistamat miniDOT Logger -laitteet mittaavat veden happipitoisuuden lisäksi lämpötilan. Loggerit havainnoivat parametrejä 10 minuutin välein ja tekevät kuuden tunnin välein uuden tiedoston. Mittaustulokset tallentuvat muistikortille. Laite toimii 3,6 voltin litiumparistolla, on 19 cm pitkä ja sitä ympäröi valkoinen vesitiivis muovisuojus. (PME n.d., 5–7.)



Kuva 15. MiniDOT Logger.

Loggerit asennettiin joelle siten, ettei niiden toiminta häiriinny tai laitteet sotkeudu esimerkiksi ohi kulkevien veneiden perämoottoreihin (Kuva 16). Merkkipoiju ankkuroitiin hiekalla täytetyn mehukanisterin avulla joen rannan tuntumaan. Merkkipoijusta lähti pohjaanlaskeutuva naru kohti joen syvännettä, jossa loggeri oli asennettuna metrin pohjasta ylöspäin. Tämä onnistui siten, että narun päähän asennettiin loggeria kannatteleva koho, siitä metrin päähän loggeri ja siitä taas metrin päähän kanisteri ankkuriksi.

Automaattisiin näytteenottimiin kertyneet tiedot käytiin purkamassa vesinäytteenottojen yhteydessä. Käytännössä loggeri painoineen nostettiin ylös veneeseen, laite kuivattiin ja muovisuojus avattiin. Viimeisimmät mittaustiedot tallennettiin nappia painamalla, jonka jälkeen virta katkaistiin. Muistikortin sisältämä tiedosto kopioitiin kannettavalle tietokoneelle. Muistikorttia ei tyhjennetty kesken havainnointijaksosa, koska sen kapasiteetti riittää hyvin tallentamaan koko kesäkauden mittaustulokset. Samoin yhden laitekohtaisen pariston on tarkoitus riittää koko mittausajanjaksolle (PME n.d., 7).



Kuva 16. Havainnekuva Hiidenjoelle asennetuista loggereista.

7.2. Vesinäytteenotot

Hiidenjoelta otettiin tutkimuksen teon aikana vesinäytteitä viidestä eri kohteesta (Kuva 13). Kahden ylimmän vesinäytepisteen, Kernaalanjärven ja Puujoen luusuan, tutkimustuloksista pystytään vertailemaan Hiidenjoelle tulevan kuormituksen jakaantumista. Kernaalanjärven luusuan vesinäytetuloksia ei käsitellä tämän tutkimuksen teon yhteydessä. Puujoen luusuan syvänteestä (9 m) saadut vesinäytetulokset toimivat tämän tutkimuksen vertailuarvoina. Vesinäytteitä otettiin lisäksi Holmukreeninlahden syvänteeltä (10 m), Turengin alapuolisesta näytepisteestä Hiidenjoki 5.5 (syvyys 7 m) ja Hiidenjokisuun syvänteeltä (8 m) joen alajuoksulta.

Vesinäytteet otettiin Limnos-vedennoutimella kevästä syksyyn asti vähintään kerran kuukaudessa (Kuva 17). Heinä-elokuussa, kun joen happitilanne oli heikoimmillaan, vesinäytteitä otettiin kahden viikon välein. Näytteet otettiin jokaisen tutkimuskohteen pintavedestä (1 m), vesifaasin keskivaiheilta ja pohjanläheisestä vedestä (-1 m). Tässä tutkimuksessa hyödynnetään vain näytteistä tutkittuja veden kokonaisfosforipitoisuusarvoja, koska ne ilmentävät syvänteiden mahdollista sisäistä kuormitusta.

Vesinäytteiden ottoajat täsmentyivät kesän kuluessa, koska pidemmän aikavälin säätila vaikutti oleellisesti näytteenottotiheyteen. Näytteenottopäivästä pyrittiin myös valitsemaan vähäsateisin, jotta loggereihin kertyneet havainnot pystyttiin tallentamaan näytteenoton yhteydessä tietokoneelle. Vesinäytteet otettiin seuraavina päivinä: 31.5, 5.7, 26.7, 8.8, 22.8. ja 11.9.2012.



Kuva 17. Holmukreeninlahden vesinäytteenottoaika sekä kohteeseen asennetun loggerin merkkipoiju.

7.3. Happimittaukset kannettavalla happimittarilla

Hiidenjoen tutkimuskohteista mitattiin vesinäytteenottojen yhteydessä veden happipitoisuudet kannettavalla YSI-happimittarilla. Laite laskettiin veteen halutulle syvyydelle mittausanturin johtoon merkittyjen syvyyksien perusteella. Mittarin lukeman annettiin stabiloitua hetken ja mittaus kirjattiin ylös. Happipitoisuudet mitattiin pintavedestä (1 m), vesifaasin keskivaiheilta ja pohjanläheisestä vedestä (-1 m). Hapettomuusaikana alusveden happipitoisuutta mitattiin metrin välein, jotta pystyttiin selvittämään hapettomuuden laajuutta.

7.4. Hiidenjoen sisäisen kuormituksen laskeminen

Tutkimuksen sisäisen kuormituksen laskelmien lähtötietoina käytettiin Holmukreeninlahden syvänteen pinta-ala ja tilavuustietoja sekä kesän aikana otettujen vesinäytteiden fosforipitoisuuksia. Holmukreeninlahdelta vapautuneen fosforin määrä laskettiin neliometriä kohden, ja hapettomien syvänteiden kokonaispinta-alaa apuna käyttäen laskettiin Hiidenjoen syvänteistä vapautuneen fosforin kokonaismäärä. Laskelmassa on tarpeen yleistää Hiidenjoen syvänteet kuormittavuudeltaan samankaltaisiksi. Tällöin saadaan Hiidenjoen syvänteiden aiheuttaman sisäisen kuormituksen maksimimäärä kesän 2012 osalta.

8 TUTKIMUSTULOKSET

Tässä luvussa kerrotaan Hiidenjoen loggereiden, happimittausten ja vesinäytteiden antamista tuloksista kesältä 2012. Tutkimustuloksia verrataan kesän säätilanteeseen ja joen virtaamaan.

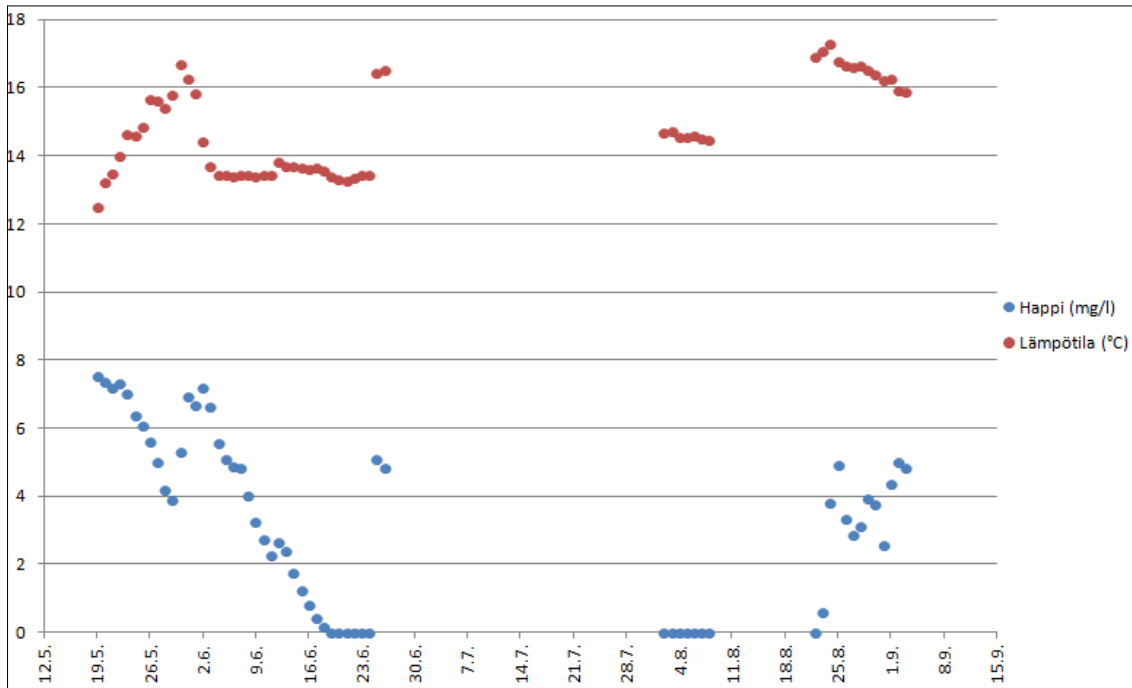
8.1. Jatkuvatoimiset happimittarit

Loggereiden oli tarkoitus antaa tarkkaa tietoa joen syvänteiden happipitoisuudesta koko kesän ajalta. Teknisten ongelmien vuoksi tulosten havainnointi laitteissa keskeytyi kuitenkin aika ajoin. Ensimmäinen ja pisin havainnointijakso kesti reilun kuukauden, 26.6. asti. Toinen havainnointijakso ajoittui heinäkuun ensimmäiselle viikolle ja kolmas 22.8.–3.9.2012. Loggereiden tallentamista pohjanläheisen veden lämpötila- ja happipitoisuustuloksista on laskettu vuorokausittaiset keskiarvot kyseisille havainnointijaksoille.

Holmukreeninlahden loggeri sijaitsi noin yhdeksän metrin syvyydessä. Syvänteen happitilanne (Kuvio 6) alkoi heikentyä tasaisesti kesäkuun alusta asti ja 6.6. happivajaus oli jo merkittävä (< 5 mg/l). 10.6. happivajaus oli suuri (< 3 mg/l) ja ensimmäisen kerran syvänteen happipitoisuus oli täysin hapeton 18.6. Hapettomuutta kesti viikon ajan, jonka jälkeen syvänteen happitilanne kohentui Juhannuspäivänä alkaneen sateisemman viikon ansiosta.

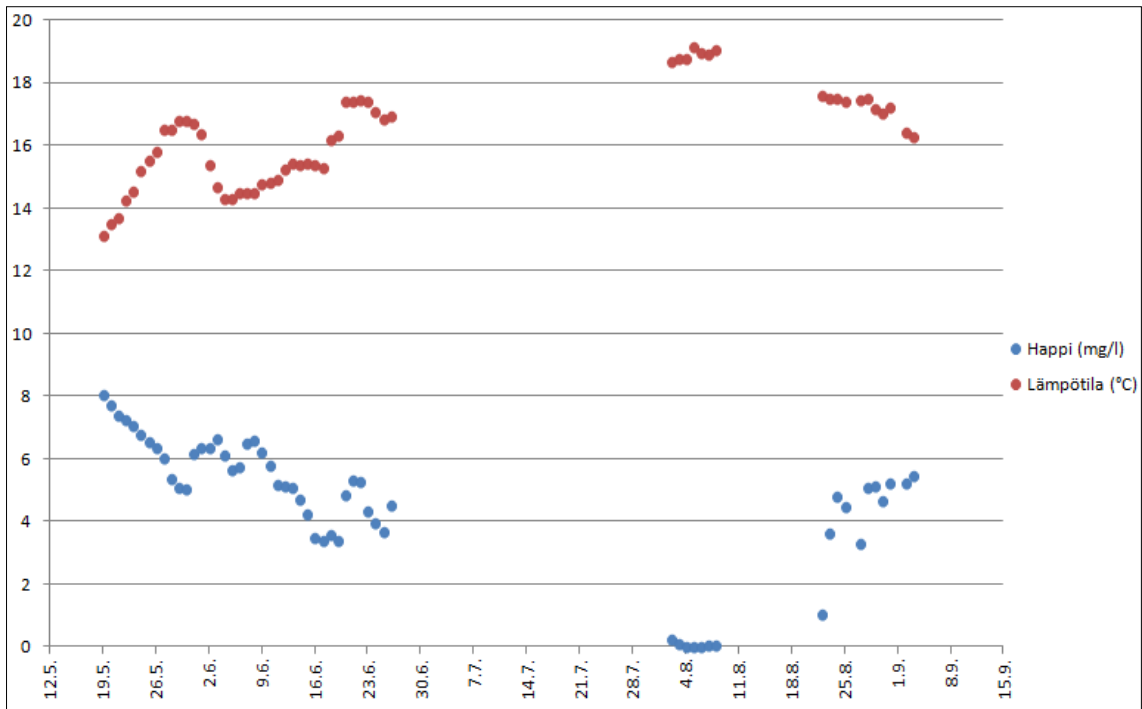
Holmukreeninlahden toisella havainnointijaksolla, elokuun ensimmäisellä viikolla, syvänteessä oli loggerin mittaustulosten mukaan täysin hapetonta. 22.8. oli myös hapetonta. Syvänteen happitilanne alkoi parantua oleelli-

semmin 24.8. ollen tuolloin 3,8 mg/l. Pohjanläheisen veden happivajaus pysyi merkittävänä havainnointijakson loppuun asti. Heikoimpien happitilanteiden aikana pohjanläheisen veden lämpötila oli alhaisempi kuin veden happipitoisuuden parantuessa.



Kuvio 6. Holmukreeninlahden syvänteen pohjanläheisen veden lämpötila (°C) ja happipitoisuus (mg/l) 19.5.–3.9.2012.

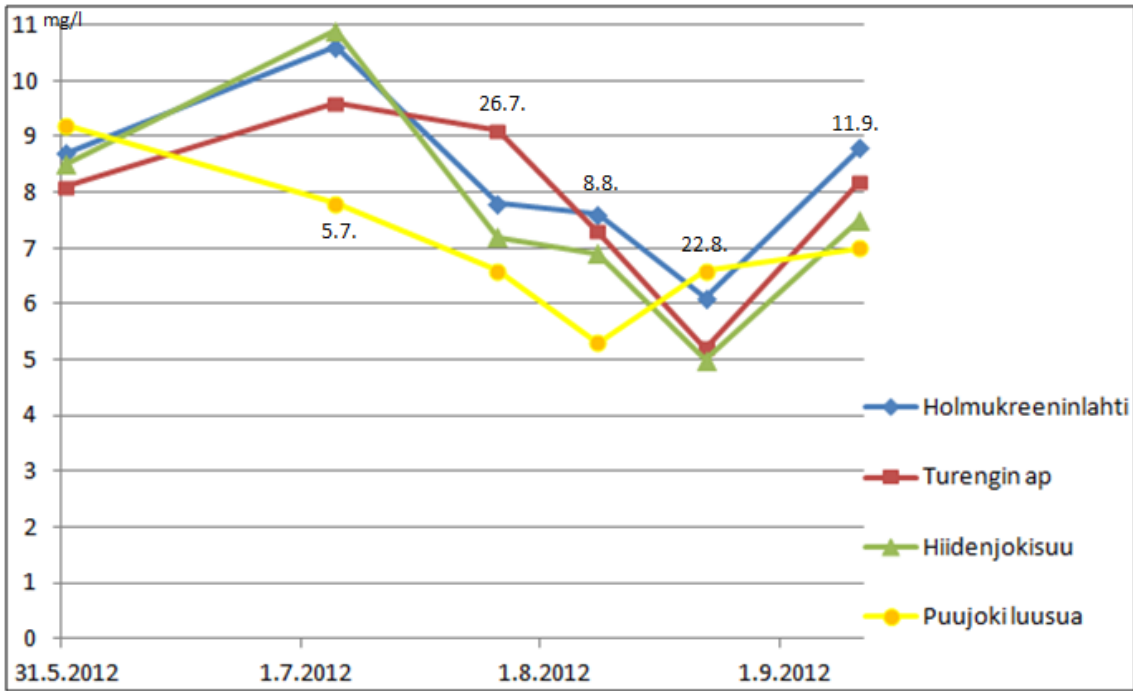
Turengin alapuolisen (Hiidenjoki 5.5) näytepisteen loggeri sijaitsi 6–6,5 metrin syvyydessä. Syvänteen happitilanne (Kuvio 7) säilyi kohtalaisena 13.6. saakka, jonka jälkeen happivajaus alkoi olla merkittävää. Syvänteen happipitoisuus pysyi heikohkona ensimmäisen havainnointijakson loppuun saakka. Toisella havainnointijaksolla 2.–8.8. syvänteen pohjanläheisen veden happipitoisuus oli 0,2–0 mg/l eli käytännössä hapeton koko ajan. Elokuun 22. päivään mennessä syvänteen happitilanne oli parantunut hieman ollen tuolloin 1 mg/l. Happivajaus pysyi merkittävänä elokuun loppuun asti. Syyskuussa happitilanne alkoi kohentua. Kohteen pohjanläheisen veden lämpötila nousi melko tasaisesti kesän myötä ja seurasi pintavesien lämpötilojen muutoksia.



Kuvio 7. Turengin alapuolisen syvänteen pohjanläheisen veden lämpötila (°C) ja happipitoisuus (mg/l) 19.5.–3.9.2012.

8.2. Kannettava happimittari

Vesinäytteenottojen yhteydessä mitatut veden happipitoisuudet on esitetty pintaveden osalta kuviossa 8 ja pohjanläheisen veden osalta kuviossa 9. Kohteiden pintavesi oli hapekkainta kesäkuussa; 8,1–10,9 mg/l. Happitilanne oli heikoimmillaan elokuussa ollen Hiidenjokisuun näytteenottopisteellä vain 5,0 mg/l. Pintaveden alhaiset happipitoisuudet ovat osoitus vesistön rehevyydestä ja ajankohdan runsaasta happea kuluttavasta orgaanisesta aineksesta. Alajuoksulle kertyvän ravinnekuormituksen lisäksi Hiidenjokisuun heikointa happitilannetta voidaan selittää myös sillä, että joki on loppuosastaan pitkään matalampaa kuin yläjuoksun jokiuoma, jolloin myös suhteellinen hapenkulutus voimistuu. Viimeisellä näytteenottokerralla joen pintaveden happipitoisuusarvot olivat jälleen palautuneet kohtalaisiksi.



Kuvio 8. Pintaveden (1 m) happipitoisuus (mg/l) Hiidenjoen vesinäytteenottopisteissä kesällä 2012.

Pohjanläheisen alusveden happitilanne alkoi heikentyä selkeästi syvimpien tutkimuskohteiden osalta jo kesäkuun aikana (Kuvio 9). Holmukreeninlahden syvänteessä veteen liunneen hapen pitoisuus oli 5.7. tehdyissä mittauksissa vain 2,7 mg/l. Kolmella seuraavalla mittauskerralla Holmukreeninlahden ja Puujoen syvänteen olivatkin jo hapettomia. 22.8. tehtyjen mittausten ajoitus oli todella hyvä, koska kyseisenä päivänä syvänteet olivat vielä hapettomia ja happitilanne alkoi vähitellen parantua seuraavana päivänä.

YSI-happimittarin mittaustarkkuus on $\pm 0,1$ mg/l. Laite ei kuitenkaan näytä täysin nollatulosta lainkaan, vaan mittari antaa hapettomissakin oloissa lukemaksi 0,2 tai 0,3 mg/l. Tästä johtuen kaaviokuvassa esitetyt lukemat saattavat antaa paremman kuvan kuin syvänteiden happitilanne todellisuudessa oli. Tuloksia tarkasteltaessa täytyy myös huomioida se, että happilukemat ja vesinäytteet otettiin noin metriä syvänteiden pohjaa ylempää. Pohjasedimentin pinnallahan hapettomuus olisi ollut vielä selkeämmin ja pidempään havaittavissa. Vesinäytteet otetaan yleensä kuitenkin metrin pohjan yläpuolelta, joten tulosten vertailtavuuden ja kuormituslaskelmien teon kannalta on hyvä, että kaikki arvot ovat samalta syvyydeltä.

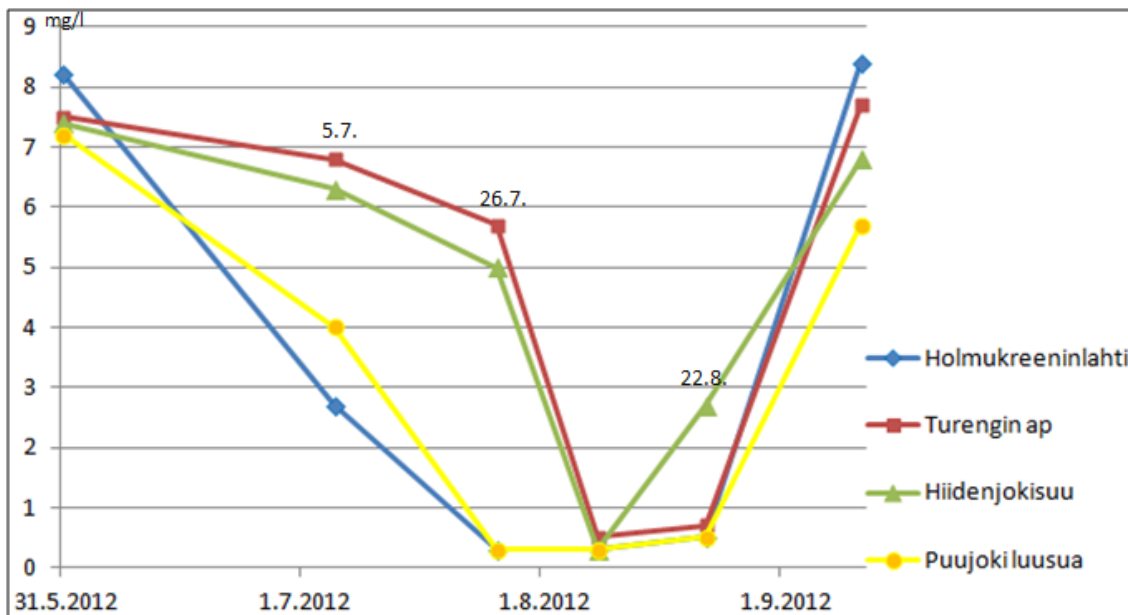
Hapettomuusaikana alusveden happipitoisuutta mitattiin metrin välein, jotta pystyttiin selvittämään hapettoman alueen laajuutta. Taulukossa 5 on esitetty Holmukreeninlahden ja Puujoen luusuan syvänteiltä 8.8. mitatut happipitoisuudet. Holmukreeninlahden syvänteellä oli tuolloin hapeton kuudesta metrillä alaspäin asti ja Puujoen vertailusyvänteellä jopa viidestä metrillä alaspäin. Jos sisäisen kuormituksen rajana pidetään happipitoisuutta 2 mg/l, niin käytännössä jopa vieläkin laajemmilla alueilla on oma vaikutuksensa pohjasta vapautuvien ravinteiden määrään.

Taulukko 5. Holmukreeninlahden ja Puujoen luusuan syvänteiden happipitoisuudet (mg/l) joen eri syvyyksillä 8.8.2012.

	9 m	8 m	7 m	6 m	5 m	4 m
Holmukreeninlahti	0,3	0,3	0,3	0,2	2,6	
Puujoen luusua		0,3	0,2	0,2	0,2	4,5

Matalammissa tutkimussyvänteissä, Turengin alapuolisella näytepisteellä ja Hiidenjokisuussa, pohjanläheisen alusveden happitilanne alkoi heikentyä selkeästi vasta heinäkuun lopussa. 8.8. Turengin alapuolisen syvänteen happipitoisuus oli loggerin mukaan 0,0 mg/l ja happimittarin mukaan 0,5 mg/l. 22.8. tehdyissä mittauksissa lukemat olivat 1,0 mg/l ja 0,7 mg/l. Kyseisen syvänteen hapettomuuden kesto pystytäänkin rajaamaan melko tarkasti välille 1.8.–22.8. ja vain syvimmän metrin laajuiselle alueelle. Toki käytännössä laajemmalla alueella on vaikutusta pohjasta vapautuvien ravinteiden määrään.

Hiidenjokisuun pohjanläheisen veden happitilanne mukaili pitkälti Turengin alapuolisen näytepisteen tuloksia hapettomuuden alkamisen suhteen. 8.8. Hiidenjokisuun syvänteen happipitoisuus oli happimittarin mukaan 0,3 mg/l. Myös 22.8. happivajaus oli vielä suurta, mutta merkittävästi parantunut edelliseen mittaustulokseen verrattuna. Tämä saattaa johtua alajuoksun paremmista virtausoloista tai Vanajaveden Miemalanselän vaikutuksesta.



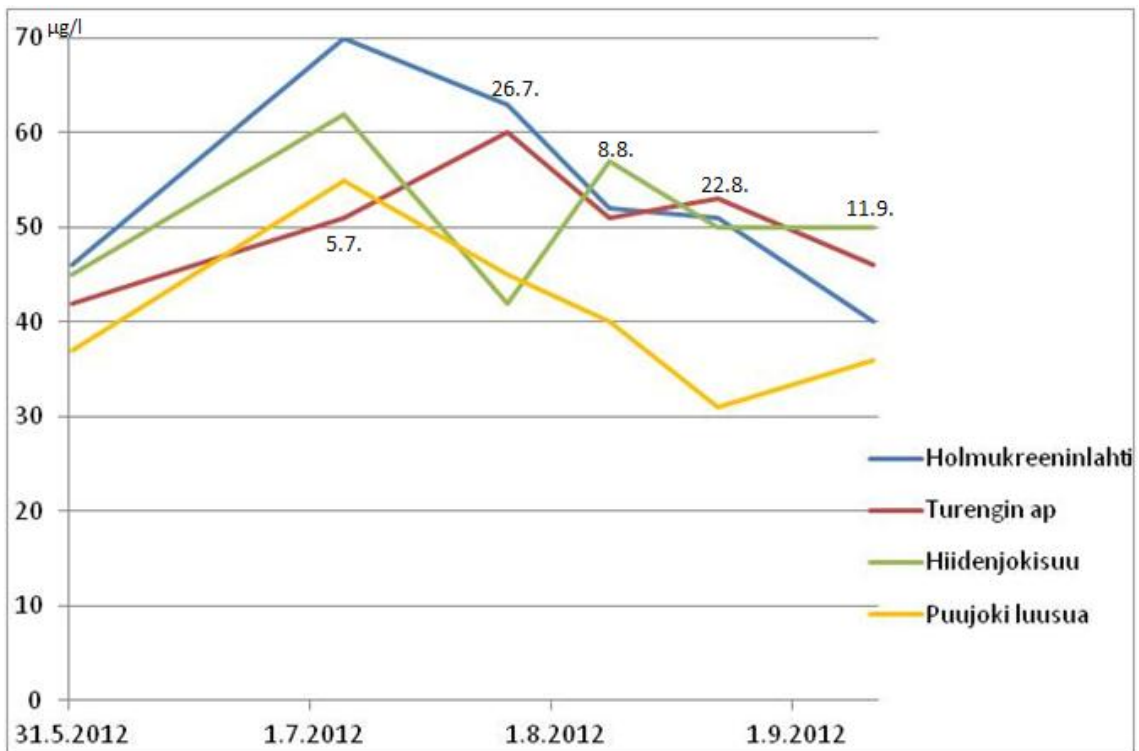
Kuvio 9. Pohjanläheisen veden happipitoisuus (mg/l) Hiidenjoen vesinäytteenotto-
teissä kesällä 2012.

8.3. Vesinäytteet

Tässä työssä käytetään Hiidenjoen kokonaisfosforipitoisuustulosten arviointiin pintavesien ekologisen luokittelun suurten kangasmaiden jokien kokonaisfosforin luokkarajoja. Suurten kangasmaiden jokien vedenlaatu voidaan luokitella kokonaisfosforin osalta erinomaiseksi, kun kokonais-

fosforipitoisuus on < 15 µg/l, hyväksi kokonaisfosforipitoisuuden ollessa 15–35 µg/l, tyydyttäväksi, kun kokonaisfosfori on 35–55 µg/l, välttäväksi kun kokonaisfosforipitoisuus on välillä 55–85 µg/l ja huonoksi, kun kokonaisfosforipitoisuus ylittää 85 µg/l. (Vuori ym. 2009, 56.)

Pintaveden kokonaisfosforipitoisuus oli Hiidenjoen tutkimuskohteissa kesäkuun alussa 42–46 µg/l eli tyydyttävän vedenlaadun tasolla (Kuvio 10). Kesän korkeimmat fosforipitoisuudet (71 µg/l) mitattiin pintaveden osalta Holmukreeninlahdelta 5.7. Hiidenjoen tutkimuskohteiden pintaveden fosforipitoisuudet pysyttelivät heinä-elokuussa pääosin välillä 50–63 µg/l. Syyskuun puolella Hiidenjoen kokonaisfosforipitoisuudet tasaantuivat 40–50 µg/l. Syksyn runsaat sateet ovat todennäköisesti pitäneet joen kokonaisfosforipitoisuudet korkeina, koska valuma-alueelta on tullut runsaasti ulkoista kuormitusta vesistöön.



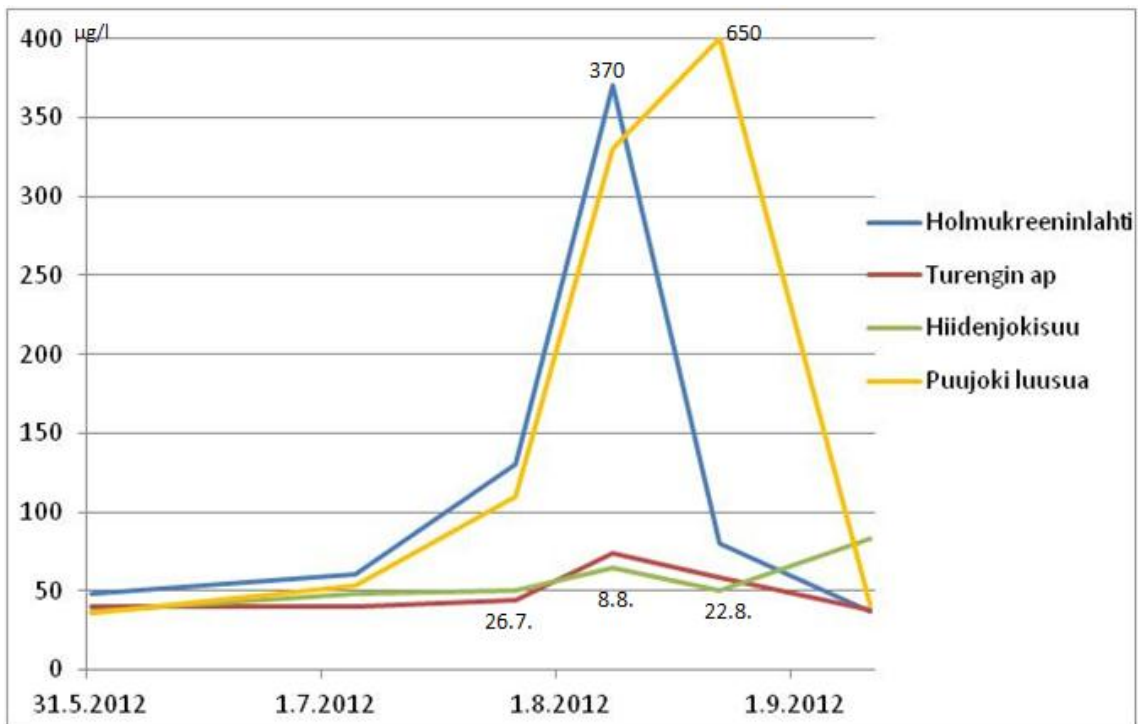
Kuvio 10. Pintaveden (1 m) kokonaisfosforipitoisuus (µg/l) Hiidenjoen vesinäytteenotuspisteissä kesällä 2012.

Pohjanläheisen veden kokonaisfosforipitoisuus oli kesäkuun alussa Hiidenjoen tutkimuskohteissa 37–48 µg/l (Kuvio 11). Syvimpien tutkimuskohteiden osalta fosforipitoisuuksissa oli havaittavissa kohtalaista nousua jo heinäkuun alusta alkaen. 26.7. Holmukreeninlahden syvänteen pohjanläheisen veden kokonaisfosforipitoisuus oli jo 130 µg/l. Sisäisen kuormituksen aiheuttamat suurimmat kokonaisfosforipitoisuudet mitattiin elokuussa. Holmukreeninlahdelta 8.8. mitatut pitoisuudet ylittivät kesäkuun alun lähtöarvot yli seitsenkertaisesti. Puujoen vertailusyvänteen sisäinen kuormitus voimistui vielä tämänkin jälkeen. Pohjanläheisen veden kokonaisfosforipitoisuus oli 22.8. tehdyissä mittauksissa jopa 18-kertainen kesäkuun alun lähtöarvoihin verrattuna. Holmukreeninlahden syvänteessäkin oli havaittavissa vielä tuolloin kohonneita fosforipitoisuuksia (80 µg/l),

mutta sisäinen kuormitus oli juuri päättymäisillään. Syvänteen happitilannekin alkoi elpyä 23.8.

Syvänteiden sisäinen kuormitus näkyi pohjanlähteisten vesinäytteiden tuloksissa myös erittäin suurina fosfaattifosforin määrinä. Tämä heijastaa labiilin eli helposti liukenevan fosforin siirtymistä vesimassaan alusveden happitilanteen heikentyessä. Hapettomuutta ilmentää myös Holmukreeninlahdelta 8.8. otetussa pohjanlähteisessä vesinäytteessä ollut selvä rikkivedyn haju. Seuraavalla näytteenotokerralla (22.8.) hapettomuutta ja metaanikaasun sekä rikkivedyn vapautumista pohjasta oli jatkunut jo sen verran pitkään, että syvänteen loggeria kannatellut naru oli mustunut.

Matalammissa tutkimussyvänteissä pohjanlähteen alusveden kokonaisfosforipitoisuus pysyi tasaisena elokuun alkuun asti. Hapettomuusaikana näissäkin tutkimuskohteissa oli havaittavissa lievää fosforipitoisuuksien nousua. Turengin alapuolisen näytenpisteen pohjanlähteen veden kokonaisfosforipitoisuus oli 74 µg/l eli lähes kaksinkertainen kesäkuun alun lähtöarvoon verrattuna.



Kuvio 11. Pohjanlähteen veden kokonaisfosforipitoisuus (µg/l) Hiidenjoen vesinäytteenotuspisteissä kesällä 2012.

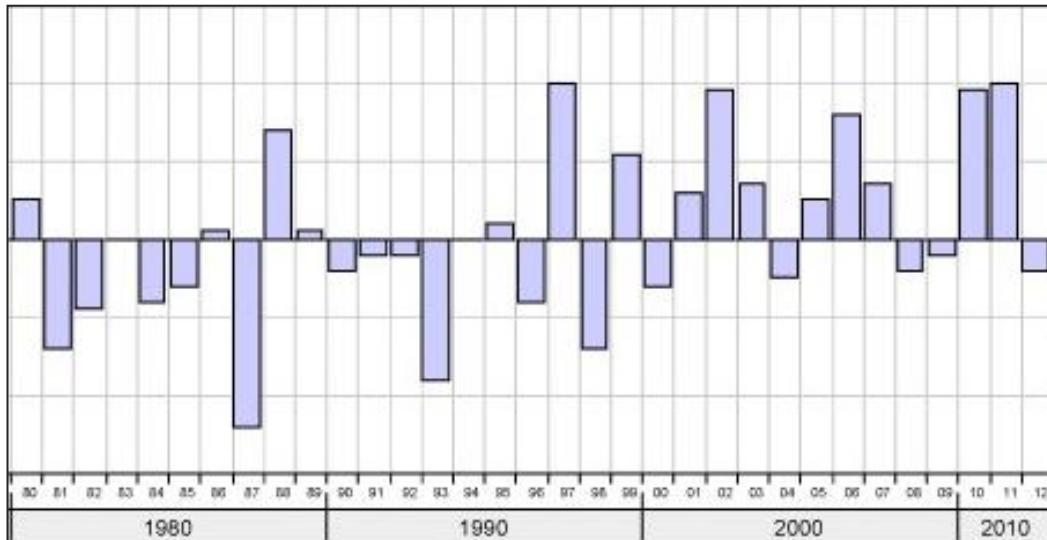
8.4. Tutkimustuloksiin vaikuttavat tekijät

Vuosittain ja vuodenajoinn vaihtelevilla sääolosuhteilla on suuri vaikutus vesistöjen vedenlaatuun. Esimerkiksi keväisten sulamisvesien määrä, sadanta, tuulisuus, valaistusolot ja lämpötila ovat keskeisiä kesäaikaiseen vedenlaatuun vaikuttavia meteorologisia tekijöitä. (Hämeen ELY 19.1.2010a.) Suomessa kesäaikaan lukeutuvat kesä-, heinä- ja elokuu, ja termisen kesän aikana vuorokauden keskilämpötila pysyy 10 asteen yläpuolella (Ilmatieteen laitos 3.9.2012).

8.4.1. Sääolosuhteet

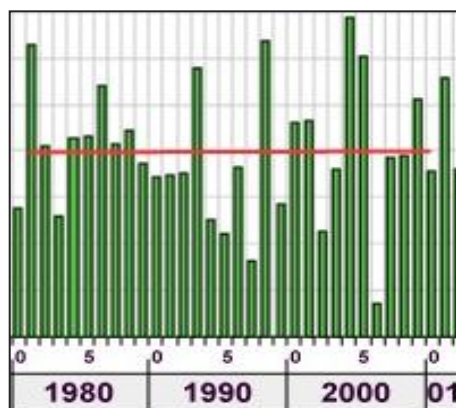
Vuodet 1980–2012

Aikaisempien kesien keskilämpötiloja voi vertailla Helsingin Kaisaniemen ja Sodankylän havaintopaikkojen osalta 1900-luvun alusta lähtien (Kuvio 12). Ajanjakson viiden lämpimimmän kesän joukkoon ovat lukeutuneet vuodet 2011, 2010, 2002 ja 1997. Kyseisinä vuosina kesän keskilämpötilat olivat 18,1–18,3°C, kun vertailukautena toimivan 1981–2010 vuosien keskilämpötilojen keskiarvo on 16,2 °C. Suomessa on tilastollisesti lämpimintä heinäkuun loppupuolella. (Ilmatieteen laitos 3.9.2012.)



Kuvio 12. Helsingin havaintopaikan kesäaikaisten keskilämpötilojen ero vertailukauden 1981–2010 keskiarvoon verrattuna (Ilmatieteen laitos 3.9.2012).

Heinä- ja elokuussa sademäärät ovat Suomessa keskimäärin kaikkein suurimmat. Sää kuitenkin vaihtelee toisinaan hyvinkin suuresti maan eri osissa. (Ilmatieteen laitos 3.9.2012.) Kuvio 13 havainnollistaa Helsingin Kaisaniemestä mitattuja vuosittaisia kesäaikaista sademääriä. Punainen viiva kuvaa vertailukauden 1981–2010 keskimääräistä kesäaikaista sademäärää. Viimeisistä kesistämme 2011, 2009, 2005 ja 2004 ovat olleet keskimääräistä sateisempia. Sen sijaan vuosien 2006 ja 2002 kesäajat olivat selvästi keskimääräistä kuivempia.

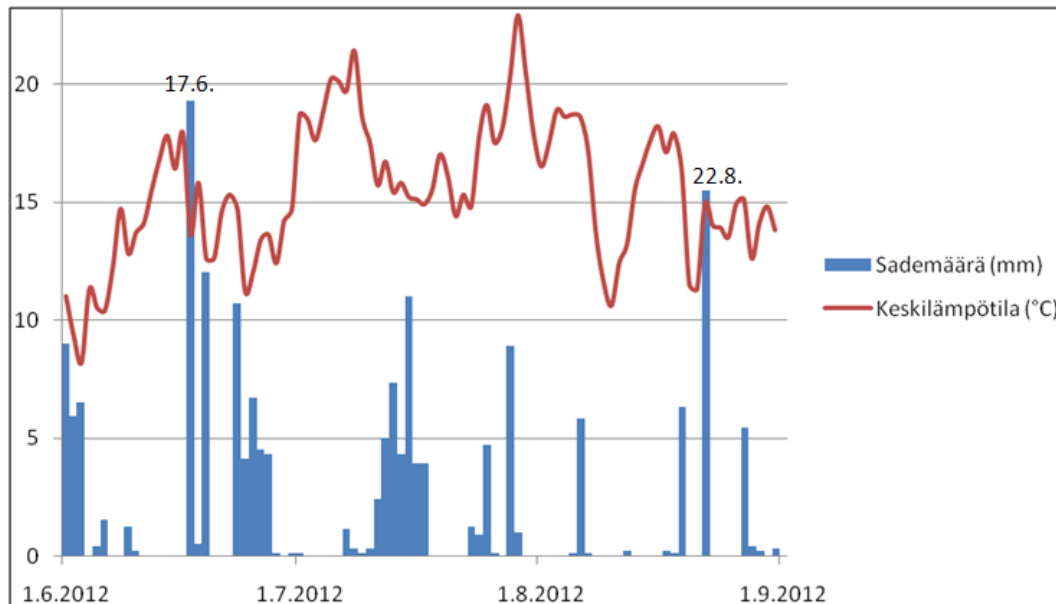


Kuvio 13. Helsingin havaintopaikan kesäaikaisten sademäärien ero vertailukauden 1981–2010 keskiarvoon verrattuna. (Ilmatieteen laitos 3.9.2012).

Kesä 2012

Helsingin säähavaintopaikan keskilämpötila (15,8 °C) oli kesällä 2012 hieman matalampi kuin vertailukauden 1981–2010 lämpötilojen keskiarvo. Kuluneen kesän hellepäivien lukumäärä jäi noin puoleen tavanomaisesta. Kesän sademäärät vaihtelivat huomattavasti paikallisesti. Paikoin sademäärät olivat yli 1,5-kertaisia tavanomaiseen nähden, kun toisaalla jäätettiin pitkän ajan keskiarvojen alapuolelle. (Ilmatieteen laitos 3.9.2012.)

Kuviossa 14 on esitetty tutkimusaluetta lähinnä sijaitsevan Hämeenlinnan Katisten sääaseman keskilämpötilojen ja sademäärien vuorokausittaiset mittaustulokset kesän 2012 ajalta. Tiedot on saatu Excel-taulukkona Ilmatieteen laitokselta. Ennakkoon ajateltuna tutkimusvuoden 2012 kesäajan sääolosuhteet poikkesivat huomattavasti juuri viime vuosista, jolloin Hiidenjoen syvänteissä oli esiintynyt hapettomuutta. Tämän kesän vedenlaattutulosten olikin tarkoitus ilmentää vastaavaa lämpimän ja vähävirtaamaisen kesän tilannetta. Joen syvänteissä esiintyvä hapettomuusongelma tuli tutkimuksessa hyvin esille kesän sääolosuhteista huolimatta.



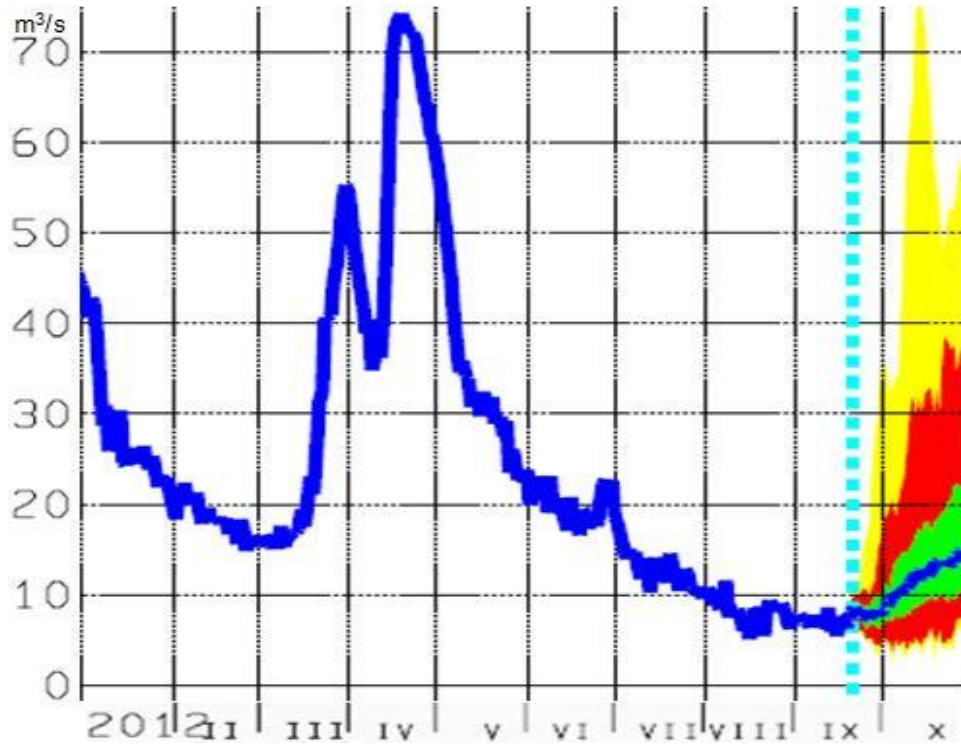
Kuvio 14. Hämeenlinnan Katisten sääaseman keskilämpötilojen ja sademäärien mittaustulokset kesältä 2012. (Ilmatieteen laitos 10.9.2012)

8.4.2. Hiidenjoen virtaama

Hiidenjoelta ei ole olemassa mittauksiin perustuvia täsmällisiä virtaamatietoja. Vanajavedenkin virtaamaa mitataan vain Valkeakoskella ja Lempäälässä. Hiidenjoen keskivirtaama (17 m³/s) on laskettu valuma-alue-suhteiden perusteella Hattulan Lepaanvirran tuloksista. Lepaanvirran virtaamasta on saatu likiarvo vähennyslaskulla, kun tiedetään, että Lepaanvirran lisäksi samalle vesistön osalle laskee merkittävimpana vain Oikolanjoki. (Oravainen 19.9.2012.)

Valtion ympäristöhallinnon vesistömalli laskee vesistöjen virtaamia. Kesän 2012 lähtevän veden virtaamasta on laskennalliset tiedot Hämeenlin-

nasta Vanajavedestä (Kuvio 15) ja Janakkalasta Kernaalanjärvestä. Vanajaveden ja Kernaalanjärven käyrät vastaavat toisiaan, joten Hiidenjoenkin virtaaman voidaan olettaa olevan samankaltainen. Kaaviokuvan sininen käyrä kuvaa havaintojaksoa, jonka virtaaman vesistömalli on laskenut toteutuneita vedenkorkeus-, virtaama- ja säähavaintoja käyttäen. Pystyviivan jälkeinen osa kuvaa vesistömallin ennustamaa virtaamatilannetta. (Valtion ympäristöhallinto 20.9.2012a; Valtion ympäristöhallinto 20.9.2012b.)



Kuvio 15. Vuoden 2012 kuukausittaiset laskennalliset virtaamatiedot (m^3/s) Hämeenlinnasta Vanajavedestä (Valtion ympäristöhallinto 20.9.2012b).

Hiidenjoen maksimivirtaama ajoittuu pääsääntöisesti huhtikuun alkupuolelle ollen tuolloin keskimäärin $64,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Valtion ympäristöhallinto 20.9.2012b). Vuoden 2012 kesäkuussa Hiidenjoen virtaama oli keskivirtaaman luokkaa ja pienimmillään se oli elo-syyskuussa; noin $7 \text{ m}^3/\text{s}$.

8.4.3. Tutkimustulosten epävarmuustekijät ja tulevat kehitystarpeet

Koska heinäkuulta ei saatu tallennettua loggereiden tuloksia lainkaan, niin pidemmän hapettomuusjakson alkamisajankohtaa ei voida määrittää tarkasti varsinkaan syvimpien tutkimuskohteiden osalta. Jatkossa vastaavissa tutkimushankkeissa kannattaa tutustua kunnolla ensin tutkimusvälineisiin ja -laitteisiin, jotta tulosten avaaminen ja käsittely onnistuu varmasti oikein tutkimuksen alusta lähtien. Tällöin laitteen toiminnassa olevat mahdolliset häiriöt pystyy havaitsemaan heti ja korjaamaan ongelman nopeammin. Teknisten laitteiden automatiikkaan ja omaehtoiseen toimintaan ei voi ikinä luottaa liiaksi. Samoin muiden asiantuntijoiden neuvoihin ei pidä ikinä luottaa liiaksi, vaan tutkijan itsensä pitäisi tuntea tutkimusvälineensä riittävän hyvin ratkaistakseen mahdolliset tutkimuksen teon aikana eteen tulevat ongelmat.

Tutkimuksen teossa käytössä olleen syvyyskartoituksen yleispiirteisyys hankaloitti kaikkein syvimpien alueiden löytymistä joelta. Tutkimustulosten yleistäminen ja kuormittavuuden laskeminen oli myös vaikeampaa, koska tiedossa oli vain kaikki yli kuusi metriä syvät alueet. Tulosten mukaan tutkimuskohteen syvyydellä oli kuitenkin merkittävä vaikutus hapettomuuden ajoittumiseen ja keston. Yli 8 metrin syvänteiden sijainnit ja laajuus merkittiinkin kartalle suurpiirteisesti vesinäytteenottojen yhteydessä. Jatkossa mahdollisten yksityiskohtaisempien kunnostussuunnitelmien laadinta edellyttää varsinkin joen syvimpien kohteiden tarkempaa syvyysluotausta.

Hiidenjoen virtaamasta ei ole olemassa tutkimustietoa. Varsinkin syvänteisiin ulottuvasta virtaamasta olisi hyvä saada tutkimustietoa jatkotoimenpiteiden suunnittelun tueksi. Virtaaman mittauslaite voitaisiin laskea joen syvimpien kohtien pohjanläheiseen veteen ja verrata alusveden virtausnopeutta pintavirtaukseen. Mahdollisia syvänteiden kunnostustoimenpiteitä harkittaessa, on alusveden virtaamalla keskeinen merkitys kunnostusmenetelmien toimivuuteen ja pysyvyyteen.

8.5. Tutkimuksesta tiedottaminen

Hiidenjoen syvänteitä koskevasta tutkimustyöstä tiedotettiin ensimmäisen kerran Turengissa järjestetyn Vanajavesikeskuksen kevätinfon yhteydessä 17.4.2012. Kevätinfossa oli paikalla kolme lehdistön edustajaa, jotka kukin kirjoittivat tutkimustyön alkamisesta artikkelinsa. Julkaisijoina olivat Hämeen Sanomat, Janakkalan Sanomat ja Yle Hämeen internetsivut. Lisäksi Radio Häme teki aiheesta radiohaastattelun.

Hiidenjoelle asennettavista jatkuvatoimisista happimittareista tiedotettiin paikallisille veneilijöille ja muille vesilläliikkujille toukokuun viikolla 20. Laminoituja tiedotuslappuja ripustettiin joen rannoilla sijaitseville vilkaille veneilypaikoille; Turenkiin kesäkahvila-ravintola Suvirantaan, Pyhämäentien veneenpitopaikalle ja Ahilammin venesatamaan sekä Tuulensuunjoen veneenlaskupaikalle Helsingintien varteen (Kuva 18).

Hämeen ammatillisen korkeakoulutuksen ja tutkimuksen säätiö jakoi Hämeen ammattikorkeakoulun toiminta-alueita tukeville tai aluetta hyödyntäville tutkimus- ja kehittämistoiminnoille julkisia apurahoja 23.5.2012. Hiidenjoen syvänteiden hapettomuutta käsittelevän tutkimustyön tekoon myönnettiin nuoren tutkijan apuraha. Asiasta tiedotettiin Hämeen Sanomissa ja Janakkalan Sanomissa.

Hämeen Sanomat teki haastattelun tutkimustyön etenemisestä 17.7.2012. Haastatteluun pohjautuvaan artikkeliin käytiin ottamassa valokuvia Hiidenjoen Holmukreeninlahden vesinäytteenottoa paikalla 18.7.2012. Tutkimuksesta kertova Hämeen Sanomien artikkeli julkaistiin 26.7.2012.



Kuva 18. Hiidenjoen tutkimuksesta kertova tiedotuslappu Pyhämäentien varrella.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

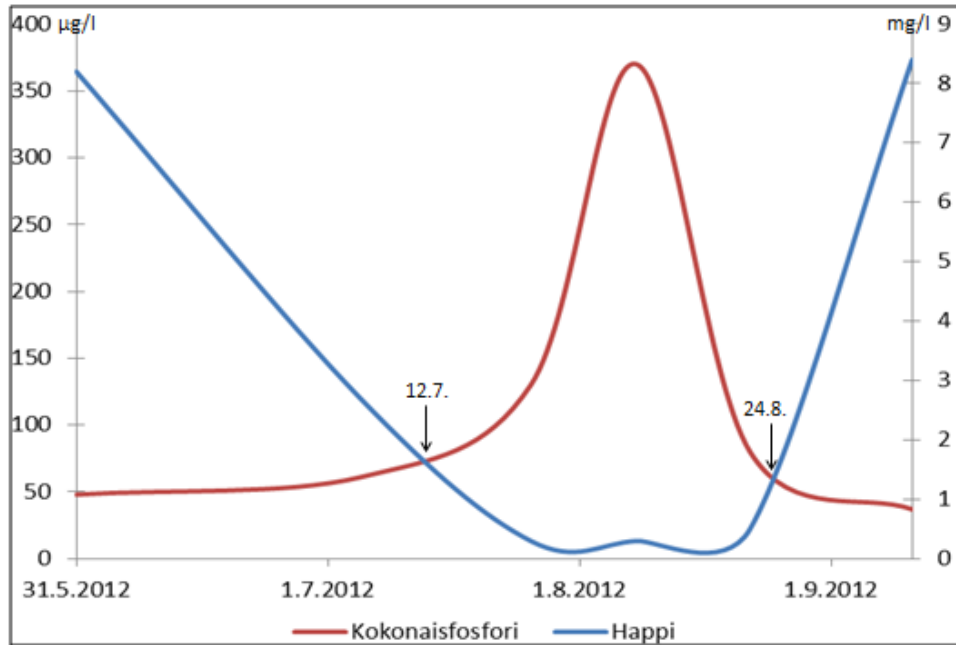
9.1. Yhteenveto tutkimustuloksista

Kesäkuun puolen välin jälkeistä Holmukreeninlahden alusveden hapettomuutta selittää sitä edeltänyt kahden viikon vähäsateinen jakso. Tällöin vuorokausittaiset keskilämpötilat ja alusveden lämpötila alkoivat nousta, ja joen virtaama myös laski hieman. 23.6. alkanut viiden päivän sadejakso ja sitä seurannut kesäkuun lopun virtaamapiikki paransivat syvänteiden happitilannetta hetkellisesti.

28.6. alkanut kahden viikon sateeton jakso näkyi joen virtaaman selvänä vähentymisenä. Samalla keskilämpötila nousi muutamalla asteella. Sääolosuhteet johtivat vähitellen syvimpien tutkimuskohteiden pidempiaikaiseen hapettomuuteen. 5.7. tehdyissä mittauksissa Holmukreeninlahden pohjanläheisen alusveden happivajaus oli jo suurta ja pohja muuttuikin melko nopeasti tämän jälkeen kokonaan hapettomaksi. Täsmällistä Holmukreeninlahden hapettomuuden alkamisajankohtaa ei pystytty selvittämään kesän aikana tehdyillä tutkimuksilla. Sen sijaan matalampien syvänteiden hapettomuuden alkamisajankohdaksi selvisi 1.8.

Heinä-elokuun aikana Hiidenjoen virtaaman lasku oli melko tasaista. Lämmenneet vesistöt myös pitivät huolen siitä, että syvänteiden hapettomuus jatkui 23.8. saakka. 22.8. tulleet sateet ja viilenevät vedet auttoivat parantamaan syvänteiden happitilannetta, mutta joen virtaamissa ei ollut havaittavissa tuolloin selkeää muutosta. Hiidenjoen viimeisellä tutkimuskerralla 11.9. joen happipitoisuusarvot olivat jälleen palautuneet kohtalaiselle tasolle.

Kuvio 16 havainnollistaa Holmukreeninlahden syvänteen kesäaikaista kokonaisfosfori- ja happipitoisuuksien vaihtelua. Kaaviokuvassa käytetyt tulokset ovat kesän kuutena tutkimuspäivänä otetuista vesinäytteenotoista (P.tot $\mu\text{g/l}$) ja happimittauksista (mg/l). Havainnekuvan mukaan Holmukreeninlahden sisäinen kuormitus ajoittui välille 12.7.–24.8.2012 ja kesti 44 vrk.



Kuvio 16. Kokonaisfosfori- ja happipitoisuuksien vaihtelu Holmukreeninlahden syvänteessä kesällä 2012.

Pahimpana hapettomuusaikana (8.8.) tutkimuskohteiden happipitoisuutta mitattiin metrin välein pohjasta käsin. Matalampien syvänteiden (7–8 m) hapettomuus rajoittui lähinnä syvimmän metrin laajuiselle alueelle. Holmukreeninlahden syvänteessä oli kokonaan hapetonta kuudesta metristä alaspäin asti. Tutkimustulokset osoittivat, että huonoimpana aikana jopa kaikki joen yli kuusi metriä syvät alueet menevät kokonaan hapettomiksi aiheuttaen merkittävää sisäistä kuormitusta vesistöön. Käytännössä myös laajemmalla alueella on vaikutusta pohjasta vapautuvien ravinteiden määrään, jos sisäisen kuormituksen mekanismien alkamisrajana pidetään 2 mg/l happipitoisuutta.

Syvänteiden happitilanne vaihtelee eri vuosina lähinnä säätekijöistä johtuen, koska vesistön kuormitustaso on pysynyt varsin vakiona. Hapettomuuden kesto riippuu pitkälti myös syvänteiden morfologisista ominaisuuksista. Tutkimuksen mukaan Hiidenjoen yli kahdeksan metrin syvänteet ovat huomattavasti alttiimpia pidempiaikaiselle hapettomuudelle kuin matalammat kohteet. Tutkimussyvänteet olivat melko pienialaisia ja jyrkkiäpiirteisiä, mikä myös vaikuttaa joen pintavirtaaman heikkoon kulkeutumiseen syvänteisiin saakka. Vaikka tutkimusvuoden 2012 kesäajan sääolosuhteet poikkesivat huomattavasti juuri viime vuosien lämpimistä kesistä, voidaan tutkimuksesta saatavien tulosten ajatella osoittavan nyt jopa paremmin, että syvänteiden hapettomuutta esiintyy pitkään myös sateisina ja viileämpinä kesinä. Ongelma onkin odotettua yleisempi ja jokakesäinen ilmiö vastaavilla kohteilla. On myös todennäköistä, että lämpimimpinä ja vähävir-

taamaisina kesinä Hiidenjoen syvimät kohteet ovat hapettomina kesäkuun puolesta välistä aina elokuun loppupuolelle saakka.

9.2. Hiidenjoen sisäisen kuormituksen määrä

Hiidenjoen kokonaispinta-ala on 0-syvyyskäyrän mukaan 177 ha Vettenjakamolta Hiidenjokisuulle asti mitattuna. Yli kuusi metriä syvien alueiden pinta-ala on joella yhteensä 21 ha. Eli 6-10 metrin syvyisiä alueita on yhteensä 12 % Hiidenjoen pinta-alasta. Kesän 2012 aikana eniten tutkitun, Holmukreeninlahden syvänteen yli kuusi metriä syvän alueen pinta-ala on 1,43 ha. Syvänteen tilavuudeksi laskettiin noin 47 800 m³ ($V=1/3*A*maksimisyyv.$).

Hiidenjoen syvänteiden aiheuttaman sisäisen kuormituksen laskelmassa on tarpeen huomioida kaikki joen yli kuuden metrin syvänteet samanarvoisina alueina. Laskelmassa oletetaan, että kyseisistä syvänteistä vapautui fosforia 44 vrk:n ajan, mitä kuvio 16 myös havainnollistaa. Tällöin sisäisen kuormituksen määräksi saadaan maksimiarvo kesän 2012 osalta.

Holmukreeninlahdelta otettujen vesinäytteiden fosforipitoisuuden ja syvänteen tilavuuden perusteella kohteessa laskettiin olevan hapettomusjakson lopulla fosforia noin 0,0012 kg/m². Yhden hapettoman vuorokauden aikana Holmukreeninlahden syvänteen vesipatsaan fosforipitoisuus lisääntyi 19 ug/l, jolloin 44 vrk:n aikaiseksi Holmukreeninlahdelta vapautuneen fosforin määräksi saatiin 0,0028 kg/m². Kun hapettomien syvänteiden kokonaispinta-ala tunnetaan (21 ha), saadaan Hiidenjoen syvänteistä kesän 2012 aikana sisäisen kuormituksen vuoksi veteen vapautuneen fosforin kokonaismääräksi noin 585 kg. Se vastaa siis 2,8 grammaa fosforia m²:ä kohden. (Arvola 26.10.2012)

Hiidenjoen vuotuisen fosforikuormitukseen (51 600 kg/v) verrattuna kesäaikainen sisäisen kuormituksen määrä (585 kg) ei ole kovinkaan merkittävä, vain 1,1 %. Vesistön tilan ja käyttökelpoisuuden kannalta merkittävämpää on se, että sisäisen kuormituksen aiheuttama fosforipitoisuuksien kasvu ajoittuu kesäaikaan. Lisäksi pääosa kuormituksesta on liukoista fosforia, joka on suoraan leville käyttökelpoista ravintoa ja näin ollen vesistön virkistyskäyttöä haittaavat sinileväkasvustot lisääntyvät niin paikallisesti Hiidenjoella kuin alapuolisessa Vanajavedessäkin (Liite 2).

Hiidenjoen syvänteiden sisäinen kuormitus on voimakkainta loppukesällä, kun sedimentin happipitoisuus on alhaisimmillaan. Ulkoisen kuormituksen myötä vesistöön kulkeutuneet ravinteet ruokkivat leviä ja vesikasveja kasvamaan lämmön ja valon myötä. Lisäksi sedimentin happitilanteeseen vaikuttaa veden liike, joka on Hiidenjoella kesäisin melko vähäistä ja pintaveteen rajoittuvaa. Sisäinen kuormitus voi olla paikallisesti ja lyhyellä ajanjaksolla erittäin suurta, mutta pidemmällä aikavälillä ulkoisen fosforikuormituksen suuruus ratkaisee Hiidenjoen tilan kehityksen.

9.3. Tulosten yleistettävyys ja luotettavuus

Opinnäytetyön teoriaosuus käsitteli pääosin jokiympäristön ominaispiirteitä, vesistön sisäistä kuormitusta ja vesistökunnostuksia. Esiitetty teoria on kohdistettu jokiympäristön ominaispiirteiden osalta tutkimuskohteeseen kappaleissa 6.1 ja 6.3, joissa kuvataan Hiidenjoen ominaispiirteitä ja veden laatua. Työn pääosassa ollutta vesistöjen sisäistä kuormitusta sekä happi- ja fosforipitoisuuksien kesäaikaista vaihtelua on sovellettu käytännön tutkimustulosten käsittelyssä. Tutkimustulosten johtopäätöksissä on myös huomioitu teoriaosuudessa annettuja lähtökohtia muun muassa vesistöjen sisäisestä kuormituksesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä.

Kunnostustoimenpiteitä käsittelevässä teoriaosuudessa, kappaleessa 5.2, esiteltiin myös aikaisempia kunnostuskohteita ja toimenpiteiden kokeilusta saatuja tuloksia. Työ osoittautui haastavaksi, koska sedimenttiin kohdistuneista kunnostuksista on vain vähän julkaistua tietoa tai monia menetelmiä tutkitaan vielä parhaillaankin. Tiedonhaku ei aivan tuottanutkaan toivottuja tuloksia uusimmista toteutetuista kunnostuskokeiluista. Teoriaosuudessa esiteltyjen kunnostusmenetelmien mahdolliseen soveltuvuuteen Hiidenjoen syvänteiden kunnostamisessa on otettu kantaa kappaleessa 10.2.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli tutkia Janakkalan Hiidenjoen syvänteitä ja selvittää aiheutuuko joen syvänteistä sisäistä kuormitusta vesistöön. Työssä painotettiin joen happi- ja fosforipitoisuuksien kesäaikaisia vaihteluita tutkimuskohteiden eri syvyyksillä ja kyseisten vedenlaatumuuttujien merkitystä vesistön sisäisen kuormituksen ilmentäjinä. Lisäksi tarkoituksena oli arvioida sääolosuhteiden ja joen hydrologis-morfologisten ominaisuuksien vaikutusta joen syvänteistä aiheutuvaan sisäiseen kuormitukseen. Opinnäytteessä käsitelty teoria tukee tutkimuksen tavoitteenasettelua ja pysyy opinnäytteessä rajatussa aiheessa. Tutkimustuloksissa vastataan työssä asetettuihin tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin.

Tutkimuksen teossa käytetyt menetelmät ja välineet soveltuivat hyvin Hiidenjoen sisäisen kuormituksen havainnointiin. Loggereiden käytössä ilmeni ajoittaisia teknisiä ongelmia, mutta vesinäytteenottojen yhteydessä toteutetut happimittaukset täydensivät tuloksissa esiintyneitä puutteita. Loggereiden tallentamien happitulosten katkonaisuudesta ei aiheutunut tutkimustulosten kokonaisuuden kannalta merkittävää haittaa. Koska joelle oli asennettuna vain 2 kpl loggereita, ei tuloksista saada kerranteisuutta. Tulokset osoittavat kuitenkin hyvin eri syvyisten tutkimuskohteiden eroavaisuuden. Vesinäytteenottoja oli riittävästi (6 kpl) kuvaamaan kesäkauden aikaisia happi- ja fosforipitoisuuksien vaihteluita tutkimuskohteiden eri syvyyksillä. Hiidenjoen pinta- ja alusvedestä tehtävät virtaamamittaukset olisivat tuoneet vielä luotettavuutta tulosten tulkintaan ja johtopäätösten tekoon.

Hiidenjoen kesäaikaisista vesinäytetuloksista tehdyt laskelmat joen syvänteistä aiheutuvan sisäisen kuormituksen määrästä ovat varsin yleistäviä. Jokaisen syvänteen kartoittaminen ja laskeminen erikseen olisi liian työlästä, eikä ehkä edes antaisi suurta lisäarvoa tuloksiin. Koska tulokset ovat hyvin paljon riippuvaisia sääolosuhteista, ei tuloksia voida yleistää määrällisesti jokakesäisiksi. Laskelmat onkin nähtävä suunta-antavina. Toi-

saalta tutkimusajankohta oli edellisessä viileämpi, mistä johtuen varsinkin matalammat tutkimussyvänteet eivät antaneet yhtä korkeita alusveden fosforipitoisuuden arvoja kuin edellisessä.

Kaikki tutkimuksen teon aikaiset näytetulokset pyrittiin ottamaan tutkimuskohteiden samoilta syvyyksiltä eli metrin pohjan yläpuolelta. Näin tulokset ovat parhaiten vertailtavissa keskenään. Tällöin tulokset eivät kuitenkaan näytä kaikista huonointa sisäisen kuormituksen tilannetta, mikä on havaittavissa pohjasedimentin pinnalla. Toisaalta loggereiden toiminnassa on todennäköisesti vähemmän häiriötä, kuin jos ne makaisivat syvänteiden pohjasedimentissä. Hiidenjoella kulkevien veneiden perämoottoreiden aiheuttamista virtauksista ei liene aiheutuneen häiriötä mittauslaitteille, koska loggerit sijaitsivat vähintään 6 metrin syvyydessä ja leveässä jokiuomassa virtaukset leviävät laajalle alueelle.

Loggerien havainnoimat happitulokset tallentuivat laitteisiin kuuden desimaalin tarkkuudella ja yhdeltä päivältä kertyi yhteensä 144 mittaustulosta/laitte. Mahdollisella yksittäisen mittaustuloksen virheellä ei tällöin ole juurikaan merkitystä. Kannettavan happimittarin mittaustarkkuus on $\pm 0,1$ mg/l, eikä laite näyttänyt täysin nollostulosta lainkaan. Happituloksia käytettiin kuitenkin tutkimuksessa sisäisen kuormituksen arviointiin, jolloin kovin pienillä happitulosten vaihteluilla ei ole suurta merkitystä lopputuloksen kannalta, jos sisäisen kuormituksen mekanismien alkamisen raja-arvona pidetään 2 mg/l happipitoisuutta. Tutkimuksessa otettujen vesinäytteiden ottajana toimi kokenut näytteenottaja ja vesinäytteet analysoitiin KVVY:n akkreditoitussa tutkimuslaboratoriossa.

10 EHDOTUS HIIDENJOEN KUNNOSTUSTOIMENPITEIKSI

10.1. Hiidenjoen tulevaisuus

Hämeen vesienhoidon toimenpideohjelmissa on asetettu vesistöjen tilatavoitteet vesien ravinnepitoisuuksien vähentämisen kautta. Tavoitteet tulisi saavuttaa vuoteen 2015 mennessä. Osa Hämeen alueen tyydyttävään tai välttävään tilaan luokitelluista järvistä ja joista, kuten Hiidenjokikin, on mainittu toimenpideohjelmissa kohteina, joissa ei ehdotetuista toimenpiteistä huolimatta saavuteta hyvää tilaa vuoteen 2015 mennessä. Kunnostustavoitteeseen pääsemisen esteenä ovat kustannustehokkaiden ja nopeasti vaikuttavien toimenpiteiden puute. Hiidenjoella on toimenpideohjelman mukaan 30 %:n vähennystarve fosforikuormituksen osalta. Vastaaville kohteille on esitetty tilatavoitteeseen pääsyyn jatkoajan tarve vuoteen 2021 asti. (Hämeen ELY-keskus 2010, 96, 98, 159.)

Fosforikuormituksen laskun tulisi näkyä tulevaisuudessa joen ekologisen tilan parantumisena. Ilmastonmuutoksen voimistuminen ja sen mukanaan tuomat talviaikaiset virtaamahuiput sekä roudaton ja kasvipeitteiden maanpinta voivat todennäköisesti myös lisätä jokivesien kasvukauden ulkopuolisia ravinnevirtaamia. (Hämeen ELY-keskus 2010, 96, 99.)

Toisaalta Hiidenjoki on kuitenkin myös luontaisesti rehevä vesistö, jolla on laaja ja peltoinen valuma-alue. Kuormituksen vähentämisellä ei oikein ole edes mahdollista päästä karuimpien järvien rehevyytasolle. Luontaisesti rehevästä vesistöstä voidaan kunnostustoimin vähentää virkistyskäyttöä haittaavia ongelmia, mutta rehevöitymisen aiheuttajaa ei yleensä voida poistaa.

10.2. Hiidenjoen kunnostustoimenpiteet

Virtavesien sisäisen kuormituksen kunnostusmenetelmistä ei ole olemassa aikaisempaa julkaistua tutkimustietoa. Tämän tutkimuksen yhtenä tarkoituksena olikin tuottaa uutta tietoa virtavesien sisäisestä kuormituksesta ja jokiympäristöön soveltuvista vesiensuojelullisista kunnostusmenetelmistä. Hiidenjoen syvänteissä mahdollisesti kokeiltavat kunnostusmenetelmät onkin nähtävä aluksi lähinnä tutkimuksellisinä pilottikohteina, joissa voidaan arvioida eri menetelmien vaikutuksia ja pysyvyyttä virtavesiolosuhteissa.

Hiidenjoella on neljä laajempaa syväntettä (8-11 m), joiden kunnostaminen olisi tärkeää niiden jokakesäisen pitkän hapettomuusajan ja kuormitavuuden vuoksi. Nämä tärkeimmät kunnostuskohteet (1-4) on esitetty liitekartalla 1. Kohteiden yhteispinta-ala on noin 2 ha. Jos syvänteet kunnostetaan samanaikaisesti, on todennäköistä, että positiiviset vaikutukset pysytään myös havaitsemaan koko jokea koskevissa kesäaikaisissa vesinäytetuloksissa. Mikäli syvänteiden kunnostus jää resurssien vähäisyyden vuoksi yksittäiseksi kokeiluksi, ovat vaikutuksetkin havaittavissa vain paikallisesti kunnostuskohteen vesinäytteistä. Kunnostustoimenpiteiden jälkeisten kattavien vesinäytteenottojen tulokset antaisivat hyödyllistä tutkimustietoa toimenpiteiden välittömistä vaikutuksista syvänteiden tilaan ja joen vedenlaatuun. Seuraavien kesien tuloksista voitaisiin arvioida toimenpiteiden pidempiaikaisia vaikutuksia ja pysyvyyttä.

Kunnostuksen lähtökohtana on tavoitteenasettelu ja vesistön ominaisuuksiin perustuva menetelmän valinta. Hyvä tulos voidaan saavuttaa myös useiden kunnostusmenetelmien yhdistämisellä tai toteutuksen peräkkäisellä ajoittamisella. Vesistön tilan kannalta paras lopputulos saadaan alentamalla sekä ulkoista että sisäistä kuormitusta. Kunnostushankkeissa on kuitenkin usein rajalliset resurssit, jotka on syytä kohdentaa aluksi vesistölle välitöntä apua tuoviin menetelmiin. (Väisänen 2005, 53, 54.)

Kunnostusmenetelmän valinnassa hyödynnetään aikaisemmista vastaavan kaltaisista kunnostushankkeista kertynyttä tietämystä ja tuloksia. Tutkimus- ja koehankkeet poikkeavat tästä hieman, koska pyrkimyksenä on lisätä tietämystä kunnostusmenetelmien käyttökelpoisuudesta, soveltuvuudesta ja tuloksellisuudesta. (Väisänen 2005, 53, 54.) Vesistöjen sedimenttien käsittelymenetelmät ovat jokseenkin kaikki vielä kehittämisasteella ja uutta tutkimustietoa saadaan vähitellen. Jokiympäristössä ei ole aiemmin käytetty mitään kunnostusmenetelmiä, ja lyhytviipymäisiin järviinkin kokeilluista sedimenttikäsittelyistä on vain vähän aiempaa kokemusta.

Jos Hiidenjoen sisäisen kuormituksen tutkimushankkeelle saadaan jatkoa kunnostusmenetelmien testauksen muodossa, niin syvänteikohteisiin (1-4) kannattaisi kokeilla kappaleessa 5.2 esitellyistä menetelmistä happikalkkikäsittelyä ja rautakipsipeittoa. Kyseisillä menetelmillä voidaan tiivistää pohjasedimenttiä ja stabiloida syvänteisiin kertyneitä ravinteita. Happikalkkikäsittely on melko uusi menetelmä ja tuloksia on vain vähän saatavilla. Kokeilut ovat kuitenkin olleet lupaavia ja menetelmä onkin lisätutkimusten arvoinen. Rautakipsipeitosta on hyviä kokemuksia muun muassa Tammelan Mustialanlammilta, jossa on lyhyt viipymä. Kyseiset menetelmät ovat myös kustannuksiltaan kohtuullisia ja toteutukseltaan yksinkertaisia. Jos vaikuttavat aineet levitetään syvänteisiin rakeisessa muodossa, niin toteutuksessa on mahdollista käyttää myös talkootyövoimaa. Kunnostustoimenpiteet voidaan tehdä veneestä käsin vähävirtaamaisena aikana alku- tai loppukesästä. Ajankohta täytyy valita sääolosuhteiden mukaan. Toimenpiteet kohdennetaan syvänteiden alusveteen ja sedimenttiin, jolloin mahdolliset haitalliset vaikutukset muun muassa kalastolle pystytään minimoimaan.

Hiidenjoella ei ole kovin hyvät mahdollisuudet syvänteiden hapetuksen toteuttamiseen, koska on kyse veneilyreitistä. Hapetustarkoitusta varten pitäisi ensin kehittää jonkinlaiset pintavirtaaman ohjauslaitteet ja toiseksi välineet pitäisi sijoittaa siten, ettei niistä olisi haittaa vesistön muulle käytölle. Myöskään savipeitto ei ole kovinkaan käyttökelpoinen menetelmä Hiidenjoella, koska kunnostuskohteiden lähellä ei ole helposti saatavilla olevaa savea. Joen pohjalla ei todennäköisesti ole hyödynnettävissä olevia savivarastoja ja rantojenkin maaperä on pääosin turvetta. Saviliejun laskeuttaminen syvänteisiin voisi myös osoittautua hankalaksi ja menetelmä muutoinkin liian kalliiksi toteuttaa.

LÄHTEET

- Aquaflow. Kuinka meriantura reagoi alhaiseen happipitoisuuteen. Viitattu 16.7.2012.
http://www.aquainnovation.net/aquainnovation/knowledgebase/afshowarticle_en.asp?aid=477&Aflg=fi&printable)
- Arvola, L. 26.10.2012. Puu- ja Hiidenjoen vesistön ravinnekuormituksesta ja P-kysymyksestä. Henkilökohtainen tiedonanto, Power Point -kalvot.
- Eloranta, A. 2010. Virtavesien kunnostus. Kalatalouden keskusliiton julkaisu nro 165. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Eloranta, P. 2005. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) 2005. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskuksen ympäristöopas 114. Helsinki: Edita.
- Euroopan komissio, 24.3.2010. Vesien suojeleminen ja hoito (vesipolitiikan puitteiden direktiivi). Viitattu 16.8.2012.
http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/128002b_fi.htm
- Euroopan parlamentti ja neuvosto, 15.12.2001. Euroopan parlamentin ja neuvoston päätös N:o 2455/2001/EY. Viitattu 16.8.2012. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:331:0001:0005:FI:PDF>
- Forsberg, C. & Ryding, S-O. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Archiv für Hydrobiologie*. 88:189-207.
- Granberg, K. 2004. Arvio eräiden Keski- ja Väli-Suomen järvien tuotantotyyppistä ja kuormitussiedosta. Keski-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 50. Jyväskylä: Hetimonex Oy.
- Hagman, A-M. 2010. Raaseporin Karjaan kaupunginosan Myllylammen eli Kvarnträskin kunnostussuunnitelma. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 20/2010. http://www.ely-keskus.fi/fi/ELYkeskukset/uudenmaanely/Ajankohtaista/Julkaisut/julkaisusarja/2010/Documents/Myllylammen_kunnostussuunnitelma_pakattu.pdf
- Hiiden melontareitit, 2006. Janakkalan kunnan esite. PunaMusta Oy.
- Hulkko, H-M. 5.3.2009. Pintavesien tyypittely ja luokittelu. Viitattu 13.8.2012.
http://www.hameenlinna.fi/pages/208779/2009_lyhennetty_Pintavesien_tyypittely_luokittelu_hymot.pdf
- Håkanson, L. & Jansson, M. 1983. Principles of lake sedimentology. Berlin: Springer Verlag. 316 s.

Hämeen ELY, 11.1.2011. Fosfori vedenlaatua kuvaavana muuttujana. Viitattu 17.8.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=17448&lan=fi>

Hämeen ELY, 14.1.2011. Happi vedenlaatua kuvaavana muuttujana. Viitattu 17.8.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=17447&lan=fi>

Hämeen ELY, 22.1.2010. Hiidenjoki. Viitattu 13.11.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19441&lan=fi>

Hämeen ELY, 19.1.2010a. Vedenlaatu. Viitattu 23.7.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=7687&lan=fi>

Hämeen ELY, 19.1.2010b. Pintavesien yleinen käyttökelpoisuusluokitus. Viitattu 23.7.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=23402&lan=fi>

Hämeen ELY-keskus, 2010. Hämeen vesienhoidon toimenpideohjelma vuoteen 2015. Viitattu 20.8.2012. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=118410&lan=fi>

Ilmatieteen laitos, 10.9.2012. Hämeenlinnan Katisten sääaseman keskilämpötilat ja sademäärät kesällä 2012. Henkilökohtainen tiedonanto, Excel-taulukko.

Ilmatieteen laitos, 3.9.2012. Kesäsään tilastoja. Viitattu 19.9.2012. <http://ilmatieteenlaitos.fi/kesatilastot>

Ilmavirta, V. (toim.) 1990. Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki: Yliopistopaino Oy.

Janakkalan Vesi, 20.12.2010. Tervakoski-Turenki yhdysvesijohdon ja siirtoviemärin käyttöönotto 2010 alkaen. Viitattu 8.1.2012. http://www.janakkala.fi/fi/tytaryhtiot/janakkalan_vesi/ajankohtaista/?id=296

Jutila, H. 2008. Vanajaveden tila – kalvosarja 25.11.2008. Viitattu 7.1.2012. <http://www.hameenlinna.fi/pages/374082/Vanajavesi2008.pdf>

Järvenpää, L. 2004. Tavoitetilan määrittäminen virtavesikunnostuksissa – esimerkkinä Nuuksion Myllypuro. Suomen ympäristö 737. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kaipainen, H., Jutila, H., Bilaletdin, Ä. & Frisk, T. 2009. Vanajaveden vesiensuojelu ja yhdyskuntien jätevesikuormitus. Pirkanmaan ympäristökeskuksen raportteja 01/2009. Tampere: Yliopistopaino Oy.

Kernaalanjärvi. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry:n järvi-kohtainen lausunto. Viitattu 8.1.2012. http://www.kvvy.fi/vedenlaatu/luo_lausunto.php?id=9010

Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoito-suunnitelma vuoteen 2015. Yhteistyöllä parempaan vesienhoitoon. Vaasa: Oy Arkmedia Ab, 2010.

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Järvien soveltuvuus virkistyskäyttöön. Viitattu 20.8.2012.

<http://www.kvvy.fi/vedenlaatu/luokitusperusteet.pdf>

Lappalainen, K. M. 1978. Vesistöjen happimalli. Vesihallituksen tiedotus n:o 149. Helsinki.

<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/25672/Vesihallitus%20Tiedotus%20149.pdf?sequence=1>

Lappalainen, K. M. & Lakso, E. 2005. Järven hapetus. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) 2005. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskuksen ympäristöopas 114. Helsinki: Edita.

Lehtinen, A., Sammalkorpi, I., Harjula, H., Ulvi, T. 2002. Vesistöjen kunnostuksen tilanne ja ongelmat. Vesitalous 6: 7-12.

Maa- ja metsätalousministeriö, 2004. Kalataloudellisten kunnostusten kehittämistyöryhmän raportti. Viitattu 15.8.2012.

http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2004/trm2004_9.pdf

Mäkelä, S. 2004. Tammelan Kaukjärven, Mustialanlammen, Kuivajärven ja Pyhäjärven tila ja veden laatu – Kaukjärven, Kuivajärven ja Pyhäjärven kunnostustoimenpide-ehdotuksia. Teoksessa Huitu, E. & Mäkelä, S. 1999. Etelähämäläinen järviluonto: nykytila ja tulevaisuuden näkymiä. Maatalouden vesiensuojelun, maatalousympäristön sekä vesiekosysteemin monimuotoisuuden kehittäminen -projektin loppuraportti. Helsingin yliopisto, Lammin biologinen asema.

Nykänen, A. 2009. Rapulammen happitaso korkeammaksi. Hormajärviyhdistys ry:n julkaisema Kuikan kuulumiset -lehti.

Nykänen, A. 4.3.2009. Järvien sedimentin ja veden hapellisuuden nostaminen kalsiumperoksidin avulla. Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitos. Esitys Suomen ympäristökeskuksessa 4.3.2009. Viitattu 3.11.2012.

<http://www.environment.fi/download.asp?contentid=99939&lan=en>

Oravainen, R. 1999. Opasvihkonen vesistötulosten tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen julkaisu. <http://www.kvvy.fi/opasvihkonen.pdf>

Oravainen, R. 19.9.2012. Tarkennuksia Hiidenjoen virtaamista. Henkilökohtainen tiedonanto, sähköpostiviesti.

Paakkinen, M. 2011. Vanajan ja Vanajaveden – Pyhäjärven reittien yhteistarkkailu vuonna 2010. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen julkaisu 655.

Paakkinen, M. & Piironen, O. 20.12.2010. Vedenlaatu ja virkistyskelpoisuus Janakkalan kunnan alueella sijaitsevilla järjillä. Kokemäenjoen vesistöön vesiensuojeluyhdistys ry, Kirje nro 824.

PME. User's Manual 2012. Viitattu 17.7.2012.
<http://www.pme.com/PDFs/Manual.pdf>

Pohjois-Pohjanmaan ELY, 16.6.2011. Jokien hydromorfologia. Viitattu 16.7.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9570&lan=sv>

Pohjois-Pohjanmaan ELY, 15.6.2011. Jokiuoma kokoa vedet valuma-alueelta. Viitattu 16.7.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9583&lan=fi>

Pohjois-Pohjanmaan ELY, 17.6.2011. Kokonaisfosfori. Viitattu 16.7.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12876&lan=fi>

Pohjois-Pohjanmaan ELY, 10.6.2010. Ympäristöhallinnon vahvistuminen vesipiiristä ympäristökeskukseksi. Viitattu 28.6.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=24946&lan=FI>

Ranta-aho, K. 2006. Vesistöjen syvyyskarttoitus. Hämeen ympäristökeskuksen maastotutkimusten numeeriset kartta-aineistot.

Rantajärvi, E. 4.3.2008. Sisäinen kuormitus. Viitattu 17.8.2012.
http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/sanakirja/fi_FI/sisainen_kuormitus/

Salo, H. & Palomäki, A. 2006. Espoon Pitkäjärven ja Lippajärven kunnostussuunnitelma. Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus, tutkimusraportti 106/2006. Espoon ympäristökeskuksen monistesarja 5/2006.

Savola, E-M. & Rautio, L. 2003. Vesiensuojelua yhteistyöllä! Lappajärvi Life -projektin loppuraportti. Länsi-Suomen ympäristökeskus, Alueelliset ympäristöjulkaisut 300. Vaasa: Ykkös-Offset.

Sommarlund, H., Pekkarinen, M., Kansanen, P., Vahtera, H. & Väisänen, T. 1998. Savipeittomenetelmän soveltuvuus Tuusulanjärven sedimentin kunnostuksessa. Suomen ympäristö 231. Helsinki: Hakapaino Oy.

Suomen ympäristökeskus, 14.12.2011. Happikato. Viitattu 16.7.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1831&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus, 6.11.2008. Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila. Viitattu 23.7.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=280678>

Suomen ympäristökeskus, 14.4.2010. OH3/2009 Pintavesien ekologisen tilan luokittelu. Viitattu 16.8.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=356546&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus, 18.6.2012. Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila. Viitattu 23.7.2012.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=413991&lan=FI>

Suomen ympäristökeskus, 7.12.2010. Pintavesien tyypittely. Viitattu 23.7.2012.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=284592&lan=fi&clan=fi>

Suomen ympäristökeskus, 15.5.2012. Sisävesien syvyyskarttoitus. Viitattu 29.6.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=47636>

Suomen ympäristökeskus, 14.8.2009. Vedenlaatuluokituksen luokkarajat. Viitattu 23.7.2012.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=109657&lan=fi>

TPO-projekti, 27.6.2008. Voimakkaasti muutettuja ja keinotekoisia pintavesiä koskevat erityiskysymykset ja hydrologis-morfologisen tilan arviointi. Viitattu 17.8.2012.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=88314>

Ulvi, T. 2005. Alusveden poistaminen. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) 2005. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskuksen ympäristö-opas 114. Helsinki: Edita.

Vakka-Suomen Sanomat 1.11.2007. Kipsi ei vaikuta pohjaeliöstöön.

Kaukjärven kipsikäsittelylle suunnitellaan jatkoa. Viitattu 3.11.2012.

<http://www.vakkass.fi/uutinen.phtml?id=1055>

Valtion ympäristöhallinto, 24.10.2011. OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille. Viitattu 7.1.2012.

<http://www2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>

Valtion ympäristöhallinto, 20.9.2012a. Vesistöennusteet: Ennustekuvien tulkintaohje. Viitattu 20.9.2012.

<http://www2.ymparisto.fi/i2/ohje/index.html>

Valtion ympäristöhallinto, 20.9.2012b. Vesistöennusteet: Kokemäenjoen vesistöalue - Vanaja / Hämeenlinna. Viitattu 20.9.2012.

<http://www2.ymparisto.fi/i2/35/1352331001y/qout3sanafi.html>

Vanajavesikeskus. Elinvoimaisen ja Vetovoimaisen Vanajaveden Puolesta. Viitattu 13.11.2011. <http://www.vanajavesi.fi/vanajavesikeskus>

Vanajavesikeskus, 17.9.2012. Vanajavesisäätiölle perustamislupa. Viitattu 18.11.2011. <http://www.vanajavesi.fi/vanajavesisaatiolle-perustamislupa>

Varjo, E. & Närvänen, A. 2008. Tammelan Mustialanlammi kipsillä kuntoon. Vesitalous 3/2008.

http://www.vesitalous.fi/upload/lehtiarkisto/2008/3_2008.pdf

Varjo, E. & Salonen, V-P. 2005. Kipsaus. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) 2005. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskuksen ympäristö-opas 114. Helsinki: Edita.

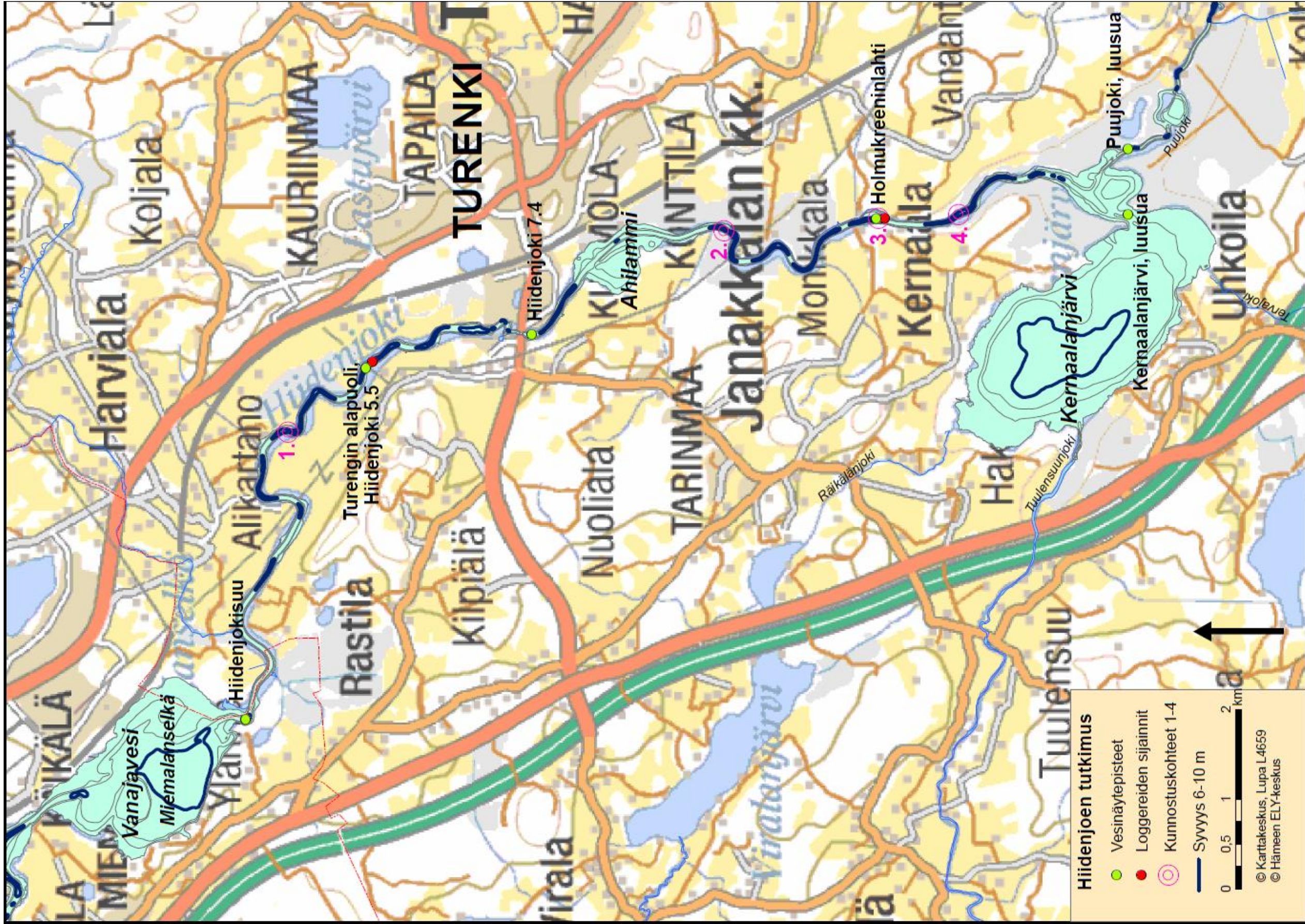
Vesi-Eko Oy, 2011. Mixox-hapetin. Viitattu 2.11.2012.
<http://www.vesieko.fi/fi/yritys/innovaatioitamme/mixox-hapetin>

Vuori, K-M., Mitikka, S. & Vuoristo, H. (toim.) 2009. Pintavesien ekologisen tilan luokittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2009. Sastamala: Vammalan kirjapaino.

Väisänen, T. 2005. Rehevän järven kunnostusmenetelmän valinta. Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan liseniaatintyö.

Ympäristöministeriö, 13.1.2009. Euroopan unioni tiukentaa pintavesien haitallisten aineiden ympäristölaatuunormeja. Viitattu 16.8.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=309645&lan=fi>

Ympäristöministeriö, 28.3.2012. Uusi vesilaki voimaan 1.1.2012. Viitattu 18.11.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=398853&lan=FI>



PUUJOKI, LUUSUA

NäytePvm	TutkOhj.	Hav.Paik.	Näytesyv. m	Lämpöt. °C	*Kok.N µg/l	*NO23-N µg/l N	*NH4-N µg/l	*Kok.P µg/l	*po4-p µg/l	Happi mg/l
31.5.2012	HIIDHAP	3	1,0	16.3	1600	810	31	37	6	9,2
	HIIDHAP	3	4,0	16.2	1500	790	34	34	5	7,4
	HIIDHAP	3	8,0	16.2	1500	800	31	36	5	7,2
5.7.2012	HIIDHAP	3	1,0	19.8	2100	1100	34	55	6	7,8
	HIIDHAP	3	4,0	18.4	2100	1200	21	43	10	5,6
	HIIDHAP	3	8,0	16.8	2200	1200	93	53	18	4,0
26.7.2012	HIIDHAP	3	1,0	19.4	1000	390	27	45	6	6,6
	HIIDHAP	3	4,0	18.7	1000	500	30	34	10	4,8
	HIIDHAP	3	8,0	15.7	1600	240	560	110	52	0,3
8.8.2012	HIIDHAP	3	1,0	19.5	960	360	54	40	9	5,3
	HIIDHAP	3	4,0	19.5	980	370	38	37	9	4,5
	HIIDHAP	3	8,0	15.7	1600	7.7	790	330	270	0,3
22.8.2012	HIIDHAP	3	1,0	17.2	880	330	29	31	6	6,6
	HIIDHAP	3	4,0	17.1	880	370	24	29	7	5,6
	HIIDHAP	3	8,0	15.3	1800	11	910	650	570	0,5
11.9.2012	HIIDHAP	3	1,0	13,6	1100	520	43	36	16	7,0
	HIIDHAP	3	4,0	13,5	1100	530	55	37	19	6,0
	HIIDHAP	3	8,0	13,4	1100	530	59	41	20	5,7

Virtaavan veden sisäinen kuormitus Janakkalan Hiidenjoessa

HOLMUKREENINLAHTI

NäytePvm	TutkOhj.	Hav.Paik.	Näytesyv. m	Lämpöt. °C	*Kok.N µg/l	*NO23-N µg/l N	*NH4-N µg/l	*Kok.P µg/l	*po4-p µg/l	Happi mg/l
31.5.2012	HIIDHAP	4	1,0	16.9	1100	370	29	46	4	8,7
	HIIDHAP	4	5,0	16.9	1100	370	26	44	6	8,6
	HIIDHAP	4	9,0	16.7	1100	380	40	48	4	8,2
5.7.2012	HIIDHAP	4	1,0	21.1	1300	130	38	71	8	10,6
	HIIDHAP	4	4,5	17.7	1900	1000	24	41	7	5,3
	HIIDHAP	4	9,0	16.3	1300	380	220	61	20	2,7
26.7.2012	HIIDHAP	4	1,0	19.3	1100	77	35	63	3	7,8
	HIIDHAP	4	4,5	18.7	740	130	51	37	6	6,5
	HIIDHAP	4	9,0	14.8	1900	<5	1100	130	72	0,3
8.8.2012	HIIDHAP	4	1,0	19.8	870	46	45	52	10	7,6
	HIIDHAP	4	5,0	19.8	830	48	43	50	6	2,6
	HIIDHAP	4	9,0	14.5	2700	11	1800	370	320	0,3
22.8.2012	HIIDHAP	4	1,0	18.2	920	69	33	51	6	6,1
	HIIDHAP	4	4,5	17.6	890	270	110	35	9	3,1
	HIIDHAP	4	9,0	16.7	1200	190	410	80	28	0,5
11.9.2012	HIIDHAP	4	1,0	13,6	850	240	12	40	6	8,8
	HIIDHAP	4	4,5	13,5	880	250	15	36	6	8,6
	HIIDHAP	4	9,0	13,5	850	240	19	37	4	7,7

Virtaavan veden sisäinen kuormitus Janakkalan Hiidenjoessa

TURENGIN ALAPUOLI

NäytePvm	TutkOhj.	Hav.Paik.	Näytesyv. m	Lämpöt. °C	*Kok.N µg/l	*NO23-N µg/l N	*NH4-N µg/l	*Kok.P µg/l	*po4-p µg/l	Happi mg/l
31.5.2012	HIIDHAP	5	1,0	16,9	1300	530	30	42	4	8,1
	HIIDHAP	5	3,0	16,8	1300	530	34	40	4	7,9
	HIIDHAP	5	6,0	16,7	1200	550	40	40	5	7,5
5.7.2012	HIIDHAP	5	1,0	19,9	1200	360	9	51	4	9,6
	HIIDHAP	5	3,0	18,6	1200	410	37	36	5	8,0
	HIIDHAP	5	6,0	18,2	1200	400	82	40	8	6,8
26.7.2012	HIIDHAP	5	1,0	19,5	1300	85	37	60	3	9,1
	HIIDHAP	5	3,0	19,5	800	94	47	40	5	7,1
	HIIDHAP	5	6,0	18,9	920	180	120	44	10	5,7
8.8.2012	HIIDHAP	5	1,0	20,0	890	57	50	51	4	7,3
	HIIDHAP	5	3,0	20,1	880	58	53	50	4	7,2
	HIIDHAP	5	6,0	19,5	970	64	240	74	14	0,5
22.8.2012	HIIDHAP	5	1,0	17,7	810	88	56	53	6	5,2
	HIIDHAP	5	3,0	17,5	790	88	59	45	7	5,6
	HIIDHAP	5	6,0	17,5	900	110	210	59	15	0,7
11.9.2012	HIIDHAP	5	1,0	14,0	930	280	24	46	5	8,2
	HIIDHAP	5	3,0	13,9	910	280	27	39	5	8,0
	HIIDHAP	5	6,0	13,9	940	280	28	38	5	7,7

Virtaavan veden sisäinen kuormitus Janakkalan Hiidenjoessa

HIIDENJOKISUU

NäytePvm	TutkOhj.	Hav.Paik.	Näytesyv. m	Lämpöt. °C	*Kok.N µg/l	*NO23-N µg/l N	*NH4-N µg/l	*Kok.P µg/l	*po4-p µg/l	Happi mg/l
31.5.2012	HIIDHAP	6	1,0	16.8	1300	550	28	45	5	8,5
	HIIDHAP	6	4,0	16.4	1300	540	30	39	4	8,2
	HIIDHAP	6	7,5	15.9	1200	520	34	37	4	7,4
5.7.2012	HIIDHAP	6	1,0	18.8	1200	270	23	62	4	10,9
	HIIDHAP	6	4,0	18.2	1100	390	43	37	6	6,8
	HIIDHAP	6	7,0	17.8	1100	360	59	48	7	6,3
26.7.2012	HIIDHAP	6	1,0	19.3	790	130	56	42	5	7,2
	HIIDHAP	6	3,5	18.2	810	120	88	40	6	5,5
	HIIDHAP	6	7,0	18.4	840	110	120	50	10	5,0
8.8.2012	HIIDHAP	6	1,0	19.6	910	24	69	57	6	6,9
	HIIDHAP	6	3,5	19.6	880	26	69	62	7	3,6
	HIIDHAP	6	7,0	18.2	1100	26	370	65	21	0,3
22.8.2012	HIIDHAP	6	1,0	17.8	900	48	45	50	3	5,0
	HIIDHAP	6	4,0	17.4	780	86	110	48	9	3,2
	HIIDHAP	6	7,0	17.2	840	95	150	50	11	2,7
11.9.2012	HIIDHAP	6	1,0	14,7	860	190	24	50	5	7,5
	HIIDHAP	6	4,0	14,0	770	110	47	48	10	7,5
	HIIDHAP	6	7,0	13,9	820	100	75	83	17	6,8