



Pro gradu -tutkielma
Geofysiikan suuntautumisvaihtoehto

JÄTEVEDEN LEVIÄMINEN NELJÄLLÄ SUOMALAISELLA JÄRVELLÄ

Anni Jokiniemi

16.9.2013

Ohjaajat:

Prof. Matti Leppäranta
Prof. Lauri Arvola

Tarkastajat:

Prof. Matti Leppäranta
Prof. Lauri Arvola

HELSINGIN YLIOPISTO
FYSIKAN LAITOS

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto

ESIPUHE

Jäteveden leviämisen tutkimuksen tarkoitus oli antaa alustavia tuloksia muutamalta suomalaiselta järveltä hankkeelle, jossa tutkitaan mahdollisuutta tehostaa jäteveden typen poistumista sen purkualueella.

On monia tahoja, joita haluan erityisesti kiittää avusta, sillä yksin en olisi saanut tätä mitenkään tehtyä. Ensinnäkin ohjaajiani Matti Leppärantaa ja Lauri Arvolaa, niistä pitkistä palavereista, joissa neuvoitte minua. Mittauksiini sain apua Lammin biologiselta asemalta, Jyväskylän yliopistolta ja tietysti Fysiikan laitoksen geofysiikan ja tähtitieteen osastolta. Kiitokset Lammin Biologisen Aseman Ympäristön Tutkimuksen Säätiölle pro gradu –apurahasta, sekä YMPANA-hankkeelle. Kiitän myös vanhempiani Martti ja Marja Jokiniemeä ja sisartani Senni Jokiniemeä heidän antamastaan tuesta opintoihini. Viimeisenä ja tärkeimpänä kiitän avopuolisoani Risto Montosta, joka on toiminut työn kannalta sekä rakastavana ja kannustavana puolisona, että antanut fyysikkona todellisia käytännön neuvoja.

Anni Jokiniemi

Helsinki 16.9.2013

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	TAUSTA	3
2.1	Jäteveden puhdistuksen historia Suomessa	3
2.2	Jäteveden merkitys vesistöjen likaantumisessa	4
3	TEORIA.....	7
3.1	Valo.....	7
3.2	Veden liikkeet ja kerrostuneisuus	8
3.3	Ravinteiden kierto järvessä	9
3.3.1	Typen kierto	10
3.3.2	Vesistön typpipitoisuus	11
3.3.3	Fosforin kierto	12
3.3.4	Vesistön fosforipitoisuus.....	13
3.4	Muut vesistön olosuhteita kuvaavat parametrit	13
3.4.1	Sähkönjohtokyky	13
3.4.2	Sameus	14
3.4.3	Väri	15
3.4.4	Klorofylli-a.....	15
4	AINEISTO JA MENETELMÄT	16
4.1	Tutkimuskohteet	16
4.1.1	Vanajavesi	16
	Keurusselkä.....	22
4.1.2	Petäjävesi.....	25
4.1.3	Kuuhankavesi	27
4.2	Mittausvälineet	29
4.2.1	CTD90M	29
4.2.2	Vesinäytteet.....	31
4.2.3	Merkitäinekoe.....	31
5	TULOKSET.....	32
5.1	Vanajavesi	32
5.1.1	Lämpötila Vanajavedellä	32
5.1.2	Sähkönjohtokyky ja sameus Vanajavedellä	36

5.1.3	Tiheys Vanajavedellä	39
5.1.4	Valaistusolot Vanajavedellä	41
5.1.5	Vesinäytteet Vanajavedeltä.....	43
5.1.6	Rodamiinin leviäminen Rautamonojasta Vanajaveteen.....	48
5.2	Keurusselkä.....	50
5.2.1	Lämpötila Keurusselällä	50
5.2.2	Sähkönjohtokyky ja sameus Keurusselällä.....	51
5.2.3	Valaistusolot Keurusselällä.....	51
5.3	Petäjävesi	54
5.3.1	Lämpötila	54
5.3.2	Sähkönjohtokyky ja sameus Petäjävedellä	55
5.3.3	Valaistusolot Petäjävedellä.....	57
5.4	Kuuhankavesi.....	58
5.4.1	Lämpötila Kuuhankavedellä.....	58
5.4.2	Sähkönjohtokyky ja sameus Kuuhankavedellä.....	59
5.4.3	Valaistusolot Kuuhankavedellä.....	60
6	TULOSTEN TARKASTELU	61
6.1	Vanajavesi.....	61
6.1.1	Lämpötila Vanajavedellä	61
6.1.2	Sähkönjohtokyky ja sameus Vanajavedellä.....	64
6.1.3	Tiheys Vanajavedellä	65
6.1.4	Valaistusolot Vanajavedellä	65
6.1.5	Vesinäytteet Vanajavedeltä.....	66
6.1.6	Rodamiinin leviäminen	67
6.2	Keurusselkä.....	68
6.3	Petäjävesi	69
6.4	Kuuhankavesi.....	71
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	72
8	LÄHTEET.....	74
9	LIITTEET	
	LIITE 1: Mittauspisteiden koordinaatit	

1 JOHDANTO

Kun ihminen kuljettaa käyttöönsä puhdasta vettä, syntyy väistämättä myös poisvietävää jätevettä. Vesistöihin laskettavat jätevedet mm. rehevöittävät ja likaavat niitä. Varsinkin rehevöityminen on yleinen huolenaihe ja sen pohjimmaisena syynä on kasviravinteiden, käytännössä typen ja fosforin liikasaanti. Näitä ravinteita jätevesi sisältää runsaasti. Jäteveden vaikutusalue ja haitan määrä riippuu mm. sen virtauksista ja laimenemisesta vesistöissä.

Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa kulkee suuria määriä jätevettä. Pistekuormittajina niiden vaikutus voi jäädä kuitenkin pienelle alueelle. Vaikka puhdistustekniikat ovat kehittyneet ajan mittaan, ei vesistöihin laskettava vesi ole laadultaan luonnollisen veroista. Erityisesti typenpoisto on ollut hankala toteuttaa tehokkaasti. Vuonna 2007 Suomen jätevedenpuhdistamoilta lasketut vedet sisälsivät 10 804 tonnia typpeä, mikä on melkein puolet niille tulleesta määrästä¹. Niinpä Life+ 2012 ohjelman N-SINK projektissa (Reduction of waste water nitrogen load: demonstrations and modelling; 2013-2017) on pohdittu, voisiko järven luonnollista typenpoistoa tehostaa jäteveden laskupaikoilla.

Luonnossa bakteerit poistavat typpeä vedestä denitrifikaatioprosessilla, jossa kasveille yleisesti käyttökelpoinen typpi muuttuu ilmaan vapautuvaksi typpikaasuksi. Prosessi on monimutkainen ja tarvitsee toimiakseen ensin hapelliset ja sitten hapettomat olosuhteet, mikä vaikeuttaa sen tapahtumista. Jäteveden typen vaikutusta vesistöissä voisi vähentää laskemalla se luontoon niin, että typenpoistoprosessin toteutumismahdollisuudet olisivat mahdollisimman hyvät purkupaikalla. Toisin sanoen jäteveden pitäisi päätyä heti vesistöön tullessaan hapettomiin olosuhteisiin.

Tässä työssä tutkitaan jäteveden kulkeutumista ja leviämistä neljällä suomalaisella järvellä. Tuloksia voidaan käyttää myöhemmin myös pohjana muidenkin vesistöjen tutkimisessa. Työssä selvitetään, miten hyvin jätevesi sekoittuu järviveteen, minne se kulkeutuu ja virtaako se typenpoiston kannalta otollisesti vai voisiko jäteveden laskupaikkaa muuttamalla typenpoistuminen tehostua. Samalla on arvioitu myös näiden järvien yleistä tilaa.

¹ ”Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma”. Suomen ympäristökeskus. <www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=29826&lan=fi>. 2.3.2012.

Tutkimuskohteet ovat Vanajavesi, Keurusselkä, Petäjävesi ja Kuuhankavesi, joille kaikille lasketaan yhdyskuntien jätevesiä. Vanajavesi on näistä päätutkimusalueena. Järvet poikkeavat toisistaan paitsi olosuhteiltaan myös jäteveden purkutavoilta. Vanajavesi on luonnostaan rehevä ja siellä jätevesi lasketaan ojaa pitkin järveen kuuluvaan kapeikkoon, joka virtaa matalana ja alle 2 km leveänä noin 15 km, ennen purkautumista järven laajimpaan selkään, Vanajanselkään. Sen sijaan Keski-Suomen järvet ovat karumpia ja niillä jätevesi puretaan putkia pitkin keskeemmälle järvien pohjille.

Taulukko 1.1: Tutkitut järvet lukuina. Kursivoidut arvot ovat itse laskettuja keskiarvoja hajontoineen. Sähkönjohtokyky on millisiemensinä metrissä (mS/m). Sameus saadaan vertaamalla vettä formasiiniliuokseen, jolloin yksikkö on FTU (formazin turbidity unit). Väriluku saadaan vertaamalla vettä vastaavanväriseen platinaliuokseen ja arvo ilmoitetaan milligrammoina platinaa vesilitrassa (mgPt/l). (Suomen ympäristökeskuksen Hertta-palvelu, OIVA, 28.2.2013)

	Vanajavesi	Keurusselkä	Jämsänvesi - Petäjävesi	Kuuhankavesi
keskisyvyys	7,7 m	4,7 m	4,2 m	5,4 m
syvin kohta	24 m	34 m	27 m	24 m
pinta-ala	150 km ²	98 km ²	9 km ²	18 km ²
koordinaatit (WGS84)	lev: 61,2° pit: 24,2°	lev: 62,1° pit: 24,7°	lev: 62,2° pit: 25,2°	lev: 62,4° pit: 26,4°
sähkönjohtokyky	<i>14,7 ± 1,0 mS/m</i>	<i>6 ± 6 mS/m</i>	<i>4 ± 5 mS/m</i>	<i>8,8 ± 1,2 mS/m</i>
sameus	<i>7 ± 4 FTU</i>	<i>4 ± 5 FTU</i>	<i>4 ± 5 FTU</i>	<i>3 ± 2 FTU</i>
väri	<i>70 ± 20 mgPt/l</i>	<i>100 ± 40 mgPt/l</i>	<i>160 ± 40 mgPt/l</i>	<i>60 ± 20 mgPt/l</i>

Tutkimusta varten järvillä mitattiin johtokyky-, lämpötila-, sameus- ja valaistusprofiileja sekä niiden ajallista ja paikallista vaihtelua. Tuloksista pääteltiin jäteveden virtaukset ja saatiin tietoa yleisesti järvien olosuhteista mittausajankohtina. Lisäksi Vanajavedellä otettiin vesinäytteitä, joista typen ja fosforin eri muotojen, humuksen sekä klorofyllin määrät ja jakautuminen selviävät tarkemmin. Vanajavedellä tehtiin myös merkkiainekoe, jolla pyrittiin havainnoimaan jäteveden leviämistä purkupaikalta vesistöön.

Tulosten perusteella jätevesi painui Vanajavedellä pohjaan ja sen vaikutus näkyi vain lähellä purkuojaa. Keski-Suomen tutkimuskohteissa jätevesi sekoittui tehokkaasti järviveteen heti purkuputkesta tullessaan. Kuitenkin lisätutkimusta tarvitaan, jotta saadaan kuva jäteveden leviämisestä eri vuodenaikoina, erilaisissa sääoloissa ja puhdistamon vaihtelevilla jätevesimäärillä.

2 TAUSTA

2.1 Jäteveden puhdistuksen historia Suomessa

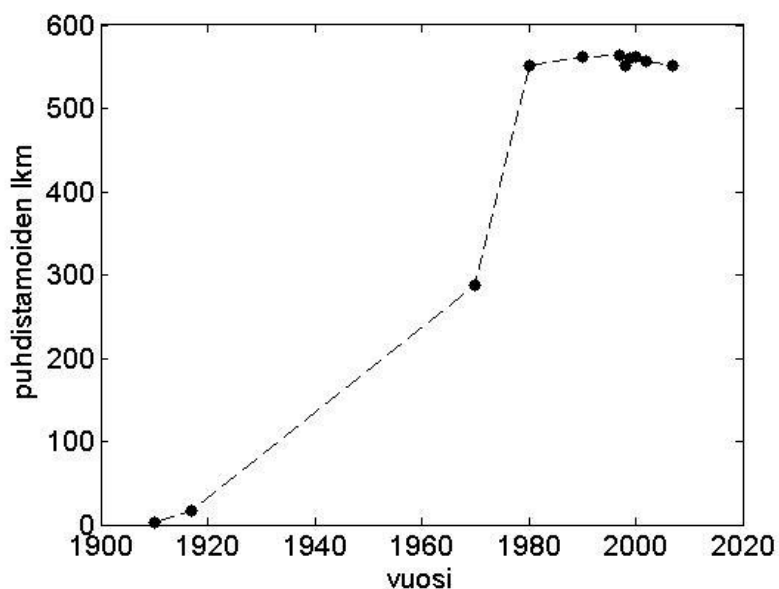
Ihminen on tuottanut jätettä aikojen alusta saakka, mutta vasta maapallon väkiluvun nopean kasvun ja kaupunkeihin keskittymisen myötä, sen aiheuttamat haitat ovat tulleet ongelmaksi, kun asuinpaikan ympärillä ei enää ole ollut vapaata maata, mihin heittää jätteensä, vaan esimerkiksi naapurin talo. Koska jätehuolto oli pitkään vielä lapsen kengissä, jätettä lojui ympäri kaupungeja, jolloin myös bakteerit ja taudit levisivät helposti.

Vaikka jonkinlaisia viemäreitä ja jätevesiojia oli ollut ennenkin, varsinainen viemäriverkostojen maailmanvalloitus alkoi 1800-luvun puolivälissä Lontoosta, kun valtio päätti puuttua jäteongelmaan ja todettiin, että jätteiden kuljetukseen olisi parasta käyttää apuna vettä. Lontooseen rakennettiin viemäreitä, joita pitkin ihmisten jätökset kuljetettiin Thames-jokeen. Viemärit yleistyivät myös muualla Euroopassa. Niistä syntyi kuitenkin myös uusi ongelma, kun vesistöt likaantuivat niihin lasketuista jätevesistä jopa käyttökelvottomiksi. Syntyi tarve jätevedenpuhdistamoille. (Juuti ym. 2010)

Myös Suomeen oli rakennettu viemäreitä jo 1800-luvulla. Ensimmäiset jätevedenpuhdistamot perustettiin 1910 Lahteen ja Helsinkiin. Niissä oli mekaaninen esikäsittely, jonka jälkeen puhdistus tapahtui saostuskaivossa. Lopuksi vesi virtasi kahden sepelisuodattimen läpi, mikä toimi biologisena suodatuksena. Puhdistamot yleistyivät, mutta nykyisiin verrattuna ne olivat melko tehottomia.

Jäteveden puhdistusteho pysyi huonona pitkään. Vielä 1960-luvulla esitettiin näkemyksiä, että luonto puhdistaa itse itsensä, mutta vesien tilan heikentyminen oli yhä selvemmin nähtävissä. Vasta 1962 tulleen vesilain myötä viranomaiset asettivat vaatimuksia laitosten puhdistusteholle. 1970-luvulla energiakriisi toi jätevesimaksut, joiden ansiosta suomalaisten jatkuvasti noussut vedenkulutus alkoi laskea. (Juuti ym. 2010). 1970-luvulla ympäristönsuojelun arvostus ja rahoitus lisääntyivät yleisesti, ja myös puhdistamotekniikka kehittyi (Lyytimäki & Hakala, 2008). Vuonna 1983, eräänä merkkinä ympäristön hyvinvoinnin huomioinnista, Suomessa aloitti toimintansa ympäristöministeriö (Kojo ym. 1983).

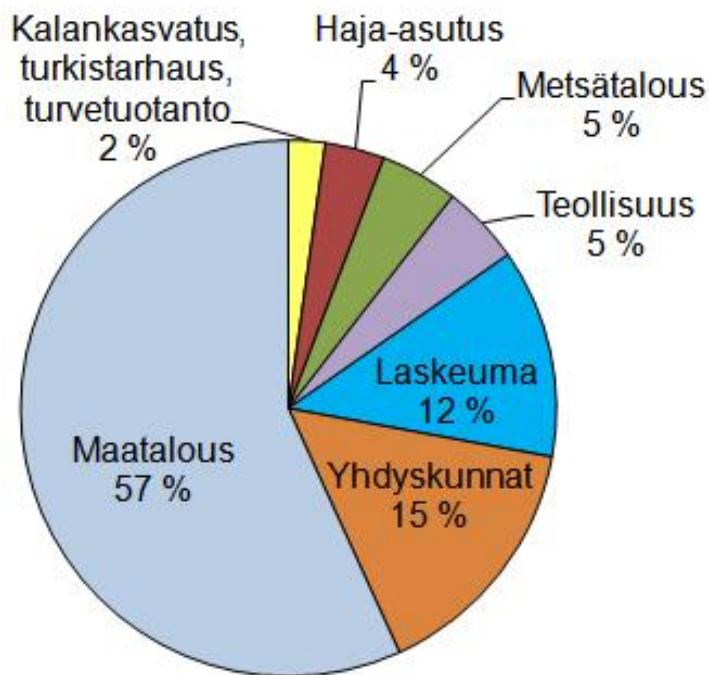
Jätevedenpuhdistamoiden lukumäärä ja myös niiden piirissä olevan väestön osuus kasvoi 70-luvulla nopeasti. 1970 suomalaisista vajaan 30 %:n jätevedet puhdistettiin laitoksissa, kun 90-luvun puolivälistä nykypäivään osuus on ollut 80 % (Tilastokeskus 2011). Jätevesien käsittelyn parantamisessa on tällä hetkellä kyse lähinnä puhdistusprosessien kehittämisestä, eikä niinkään puhdistamoiden lisäämisestä. Päinvastoin, pienimpiä ja huonokuntoisimpia puhdistamoita pyritään lakkauttamaan ja niille tulleet jätevedet johtamaan suurempiin ja tehokkaampiin puhdistamoihin. Puhdistuksen tehostuttua varsinkin fosforin ja orgaanisen aineksen määrät jätevesissä ovat laskeneet paljon. Typpimäärät sen sijaan ovat pysyneet pitkään samoissa lukemissa poiston hankaluuden vuoksi. (Lyytimäki & Hakala, 2008)



Kuva 2.1:
Jätevedenpuhdistamoiden määrä Suomessa vuoteen 2007 asti. Tilastokeskus ja Juuti ym. 2010.

2.2 Jäteveden merkitys vesistöjen likaantumisessa

Ravinnekuormitusta tulee vesistöihin sekä luonnonhuuhtoumana että ihmistoiminnasta. Suomen sisä- ja rannikkovesien typpikuormituksesta alle 40 % on luonnonhuuhtoumaa (41 500 t/vuosi) ja loput yli 60 % (69 566 t/vuosi) on ihmisen aiheuttamaa. Ihmistoiminnan typpikuormitus koostuu piste- ja hajakuormituslähteistä sekä laskeumasta. Eri lähteiden osuudet on esitetty kuvassa 2.2.



Kuva 2.2: Suomen sisä- ja rannikkovesien ihmistoiminnan aiheuttaman typpikuormitus eri lähteiden prosenttiosuuksina vuonna 2010 Suomen ympäristökeskuksen¹ mukaan

Maatalouden osuus ihmiskunnan aiheuttamasta typpikuormasta on yli puolet, ja se on typpilähteistä ylivoimaisesti suurin. Kuten vesikasvit, viljelykasvitkin tarvitsevat typpeä ja fosforia, joita ne saavat usein lannoitteina. Osa lannoitteiden ravinteista ei kuitenkaan päädy kasveille, vaan huuhtoutuu valumavesien mukana vesistöihin. Myös karjatalouden tuottama lanta tuo ravinteita maahan.

Yhdyskuntien osuus typpikuormituksesta on toiseksi suurin, 15 % vuonna 2010. Fosforikuormituksesta osuus on hyvien puhdistusmenetelmien ansiosta vähäisempi (4 %). Noin 80 % suomalaisista kuuluu keskitetyn viemäröinnin ja jätevedenkäsittelyn piiriin (Tilastokeskus, 2011). Suomessa kuormituksen jäteveeten on laskettu olevan vuorokaudessa henkeä kohden 50 g orgaanista ainesta, 2,2 g fosforia ja 14 g typpeä (Haja-asutuksen jätevesiasetus 209/2011, 2 §). Valtaosa jäteveden kuormituksesta johtuu vesikäymälöistä. Jätevesien typestä noin 80 % ja fosforista puolet on peräisin virtsasta. Ulostee aiheuttavat noin 30 % fosforin ja orgaanisen aineen kuormasta sekä noin 10 % typpikuormasta. Lisäksi vesikäymälöistä ovat peräisin käytännössä kaikki ulosteperäiset taudinaiheuttajat. Vaikka puhdistusmenetelmät ovat kehittyneet tehokkaammiksi ja laitoksia saneerataan jatkuvasti, kyse on niin suuren ihmisjoukon jätevesistä, että puhdistusta kannattaa edelleen parantaa. (Hallanaro & Kujala-Räty, 2011).

Vuonna 2009 teollisuuden jätevesien typpipäästöt olivat Suomessa yhteensä 2 968 tonnia. Tästä suurin osa oli peräisin massa- ja paperiteollisuudesta. Tähän verrattuna yhdyskuntien osuus on yli kolminkertainen, 10 804 tonnia vuodessa (2007). Massa- ja paperiteollisuus on myös muiden jätevesipäästöjen osalta suurin teollisuuden kuormittajista.¹

Haja-asutusalueiden kotitaloudet tuottavat 4 % koko Suomen vesien typpikuormituksesta ja jopa 9 % fosforikuormituksesta. Tämän kuormituksen aiheuttaa vain vajaa miljoona viemäriverkoston ulottumattomissa asuvaa ihmistä. Fosforin osalta yhden haja-asutusalueen asukkaan kuormitus on noin kuusinkertainen taajama-asukkaaseen verrattuna. Tilanne on paranemassa jäteveden käsittelyä koskevan lainsäädännön muutosten myötä. 1960-luvulta peräisin oleva vesilaki edellytti vain käymäläjätteitä sisältävän jäteveden käsittelyä ja käsittelyynkin on riittänyt pelkkä saostuskaivo. Tiedon lisääntymisen myötä on huomattu, ettei saostuskaivon puhdistusteho ole riittävä, joten vuoden 2000 ympäristönsuojelulaissa asetettiin yleinen jätevesien puhdistusvelvollisuus. 2011 voimaantulleessa haja-asutuksen jätevesiasetuksessa määritetään myös vaatimukset jätevesien puhdistusteholle. (Hallanaro & Kujala-Räty, 2011)

3 TEORIA

Järven fysikaaliset ominaisuudet luovat pohjan myös sen kemiallisille ja biologisille olosuhteille vaikuttaen mm. ravinteiden kiertoon ja koko ekosysteemin toimintaan. Pääravinteet typpi ja fosfori ovat kummatkin elintärkeitä eliöille ja voivat rajoittaa biologisen perustuotannon määrää. Paitsi ravinteiden määrä, myös niiden laatu kertoo pitkälti vesistön tilan, joten niiden reaktiot ja kierto vesistössä on tärkeää huomioida. Tutkimuksissa voidaan käyttää lukuisia parametreja, joista käsitellään tässä mitatut. Oravaisen 1987 kirjoittaman opasvihkosen perusteella annetaan myös osviittaa siitä, mitä näiden parametrien erilaiset mitatut arvot kertovat vesistöstä.

3.1 Valo

Perustuotannon edellytyksistä ensimmäinen on valo. Fotosynteesissä kasvit käyttävät valoenergiaa orgaanisen aineen tuottamiseen. Jos valoa ei ole tarpeeksi, kasvit eivät kasva. Fotosynteesiin vaadittavan valon tulee olla aallonpituudeltaan välillä 400 – 700 nm ja siitä käytetään lyhennettä PAR (Photosynthetically Active Radiation). Veden yläpuolella valoenergian määrä riippuu lähinnä auringon asemasta eli käytännössä vuoden- ja vuorokaudenajasta ja säätekijöistä, ennen muuta pilvisyydestä. Osa (5 – 10 %) pinnalle tulleesta valosta heijastuu tunkeutumatta veteen. Vedessä valo vaimenee eksponentiaalisesti syvyyden mukaan, kun vesi ja siinä oleva optisesti aktiivinen aines absorboi ja sirottaa säteilyä. Kirkkaassa vedessä valo tunkeutuu syvemmälle kuin sameassa ja humuspitoisessa. Talvella jää ja etenkin lumi pimentävät järveä.

Valon tunkeutumista veteen voidaan vertailla yksinkertaisesti mittaamalla näkösyvyyttä, eli kuinka syvälle vedessä valkoinen levy (secchi-levy) näkyy. Pintavesien yleisessä käyttökelpoisuuden arvioinnissa Vuoren ym. (2006) mukaan näkösyvyyden ollessa yli 2,5 m, luokitus on erinomainen, 1 - 2,5 m hyvä ja alle 1 m näkösyvyydellä tyydyttävä. Tarkempi kuva valon vaimenemisesta saadaan mittaamalla suoraan valon intensiteettiä tähän tarkoitettuun mittalaitteella.

Vedessä yhteyttäminen on mahdollista eufoottiseen syvyyteen asti. Yleisenä sääntönä pidetään eufoottisen syvyyden olevan suunnilleen se syvyys, jolla pinnan säteilystä on jäljellä 1 %. Säteily vaimenee vedessä eksponentiaalisesti. Suomessa Eloranta (1978) on tutkinut näkösyvyyden, eufoottisen syvyyden ja väriluvun yhteyttä. Hänen mittauksissaan

näkösyvyys kasvoi eksponentiaalisesti väriluvun pienetessä ja eufoottinen syvyys kasvoi muuten samoin, mutta väriluvun ollessa suunnilleen alle 40 mgPt/l, eufoottinen syvyys kasvoi näkösyvyyttä jyrkemmin. Näin ollen todettiin humuspitoisemmilla järvillä, joissa väriluku oli yli 40 mgPt/l näkösyvyyden ja eufoottisen syvyyden olevan samat, mutta kirkkaammissa vesissä eufoottisen syvyyden olevan noin 1,5 kertaa näkösyvyyden verran. Ero johtuu vihreän valon paremmasta kulkeutumisesta kirkkaassa vedessä.

3.2 Veden liikkeet ja kerrostuneisuus

Veden virtaukset vaikuttavat pitkälti myös aineiden ja ravinteiden kulkeutumiseen vesistöissä. Pohjimmiltaan virtauksia ajavat ja rajoittavat lähinnä sadanta, haihdunta, tuuli, sisään- ja ulosvirtaamat sekä pohjatopografia.

Järvissä virtaukset ovat yleensä heikkoja ja veden kerrostumisella on suuri merkitys aineksen jakautumisessa etenkin vertikaalisuunnassa. Vesi kerrostuu tiheydensä mukaan ja luonnonvesien tiheys riippuu lämpötilasta, paineesta ja suolaisuudesta. Käytännössä alle 100 m syvyydellä, jota matalampia Suomen järvet ovat, paineen vaikutus on niin pieni, että vesi voidaan olettaa kokoonpuristumattomaksi nesteeksi. Suolaisuus taas tulee kerrostuneisuuden kannalta merkittäväksi yleensä vasta yli 1 ‰ pitoisuuksilla, mutta hitailla virtauksilla pienempienkin pitoisuuksien vaikutus voi olla oleellista. Makealla vedellä tarkoitetaan yleisesti vettä, jonka suolapitoisuus on alle 1 ‰. Koska jäteveden suolaisuus on korkea, voi se vaikuttaa veden kerrostumiseen, mutta luonnontilassa suolaisuuden vaikutus Suomen sisävesien tiheyteen on yleensä käytännössä merkityksetön. Näin ollen lämpötila jää tärkeimmäksi tiheyteen vaikuttavaksi tekijäksi.

Järvien kerrostuneisuudessa on vuodenaikaisvaihtelu. Talvella päällysvesi on lähellä nollaa astetta ja sen alla olevassa harppauskerroksessa eli termokliinissä lämpötila nousee. Termokliinin alla alusveden lämpötila on 1 - 4 °C, eli lähellä veden tiheysmaksimin lämpötilaa. Kesällä päällysvesi taas on lämmintä ja termokliinissä lämpötila laskee. Keväällä ja syksyllä lämpötilan muuttuessa kerrostuneisuus purkautuu ja koko vesipatsas sekoittuu, jolloin puhutaan täyskierrosta. Kevät- ja syystäyskierron aikana myös ravinteet pääsevät sekoittumaan koko vesipatsaaseen.

Auringon lämpösäteily voi ajaa sekoittumista näkösyvyyteen asti, ja tuulen vaikutuksesta sekoittumista voi kerrostuneessa järvessä tapahtua 1 – 15 metrin syvyydelle järven koosta ja tuulista riippuen.

Tässä työssä on arvioitu veden kerrostumista ja jäteveden purkautumista lämpötilaprofiilein sekä vertaamalla suolaisuuden ja lämpötilan vaikutusta tiheyteen. Veden tiheys (ρ , kg/m³) suolaisuuden (S , ‰) ja lämpötilan (T , °C) funktiona saadaan seuraavasti (UNESCO, 1981)

$$\begin{aligned} \rho(S, T, 0) = & \rho_w + (0,824493 - 4,0899 \cdot 10^{-3} T + 7,6438 \cdot 10^{-5} T^2 \\ & - 8,2467 \cdot 10^{-7} T^3 + 5,3875 \cdot 10^{-9} T^4) S \\ & + (-5,72466 \cdot 10^{-3} + 1,0227 \cdot 10^{-4} T - 1,6546 \cdot 10^{-6} T^2) S^{3/2} \\ & + 4,8314 \cdot 10^{-4} S^2, \end{aligned} \quad (1)$$

missä ρ_w on puhtaan veden tiheys kyseisessä lämpötilassa. Se lasketaan kaavalla

$$\begin{aligned} \rho_w = & 999,842594 + 0,06793952 T - 9,095290 \cdot 10^{-3} T^2 \\ & + 1,001685 \cdot 10^{-4} T^3 - 1,120083 \cdot 10^{-6} T^4 \\ & + 6,536332 \cdot 10^{-9} T^5. \end{aligned} \quad (2)$$

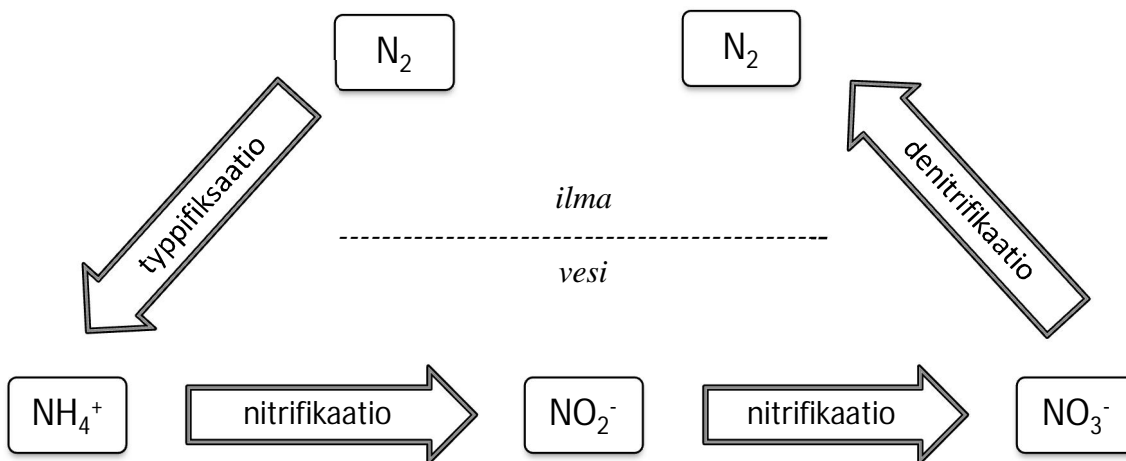
3.3 Ravinteiden kierto järvessä

Järven pääravinteiden, fosforin ja typen, pitoisuudet ja suhteet määräävät vesiekosysteemin perustuotannon ylärajan. Kasvit tarvitsevat fosforia ja typpeä fotosynteesiin painosuhteessa 1:7. Typpeä on kuitenkin yleensä sisävesissä reilusti enemmän. Suomen järvien päällysvesissä suhde on keskimäärin 1:25, joten fosfori on yleisempi rajoittavana tekijänä. Typpi on sen sijaan useammin rajoittavana tekijänä mm. suurimmassa osassa Itämeren. Fosfori on välttämätön alkuaine esimerkiksi kasvien nukleiinihappojen ja adensiinifosfaattien rakenneosaksi, typpeä taas tarvitaan aminohappojen ja proteiinien synteisiin. Muiden kasviravinteiden tarve ja määrät eivät yleensä vaikuta tuotannon määrään.

3.3.1 Typen kierto

Vesistössä typpi esiintyy valtaosin kaasuna (N_2), mutta myös ammoniumina (NH_4^+), nitraattina (NO_3^-), nitriittinä (NO_2^-), ureana ($CO[NH_2]_2$) ja liuenneina orgaanisina yhdisteinä. Kaasumaisena typpi on kaksiatominen molekyyli, jonka erittäin vahva kolmoissidos tekee siitä hyvin passiivisen. Valtaosa eliöistä ei pysty hyödyntämään suoraan kaasumaista typpeä.

78 % ilmasta on typpeä. Sitä liukenee nolla-asteiseen veteen 18 ml/l ja liukoisuus pienenee lämpötilan kasvaessa. Vain muutama bakteerilaji, kuten syanobakteerit (sinilevät) pystyvät käyttämään molekylaarista N_2 -typpeä muuttamalla sen ammoniakiksi (NH_3). (Perttilä, 2006). Typen kierto vedessä on esitetty kuvassa 3.1. Vaikka ammoniakki on myrkyllistä, suurin osa siitä on normaalisti vedessä muuttunut lähes haitattomaksi ammoniumiksi, joka taas on kasveille käyttökelpoisin typen muoto. Ammoniakkin osuus kasvaa huomattavasti emäksisessä lämpimässä vedessä, kun Suomen vesistöt ovat yleensä happamia ja viileitä. Ekosysteemiin tulee ammoniakkaa myös eliöiden ulosteiden mukana. Ammonium- ja nitraattimuotoinen typpi ovat käyttökelpoisimpia kasveille. Ammonium on näistä vielä helppokäyttöisempi, mutta sitä on vedessä yleensä nitraattia vähemmän. Nitraattia hyödyntääkseen kasvit tarvitsevat nitraattireduktaasi-entsyymiä ja enemmän energiaa. (Särkkä, 1996)



Kuva 3.1: Typen kierron periaate vedessä. Ilman typpikaasu sitoutuu ammoniumiksi, joka hapettuu nitriitiksi ja siitä nitraatiksi, joka pelkistyy takaisin kaasumaiseksi typeksi.

Nitrifikaatio-prosessissa bakteerit hapettavat ammoniumin nitriitiksi ja edelleen nitraatiksi. Nitriittiä on vedessä yleensä hyvin vähän, kun taas nitraatti on typpiyhdisteistä yleisin. Prosessissa vapautuu energiaa ja se vaatii hapelliset olosuhteet, toisin kuin sitä seuraava denitrifikaatio. Denitrifikaatiossa bakteerit pelkistävät nitraatin typpikaasuksi vähähappisissa olosuhteissa, kun bakteerit käyttävät soluhengitykseen hapen sijaan nitraattia. Yleensä denitrifikaatioon suotuisat hapettomat olosuhteet ovat järven pohjamudassa. Reaktiossa kuluu energiaa. Typpikaasu vapautuu veteen ja katoaa lopulta ilmaan.

Ongelmallisinta ketjussa on juuri olosuhteiden vaihtuminen hapellisista hapettomiin, mikä mahdollistaa typen poistumisen kaasuna ilmaan. Nitrifikaatio tapahtuu yleisesti pohjamudan ylimmässä noin 5 cm:ssä. Muodostunut nitraatti joko vajoaa alemmas vähähappisiin olosuhteisiin ja denitrifikaatio mahdollistuu tai se kohoaa ylemmäs veteen, jolloin denitrifikaatiota ei tapahdu. (Horne & Goldman, 2001) Jäteveden ammonium-typpi hapetetaan puhdistamoilla nitraatiksi, joten mikäli puhdistamoilta laskettava jätevesi päätyisi vesistöissä nopeasti vähähappisiin olosuhteisiin, poistuisi ylimääräinen typpi nopeasti denitrifikoitumalla ilmaan.

3.3.2 Vesistön typpipitoisuus

Vesistön typpipitoisuus vaihtelee alueellisesti ja ajallisesti. Kasvukaudella epäorgaanista typpeä kuluu runsaasti ja sen pitoisuus laskee loppukesää kohden. Syksyllä ja talvella kulutus on pientä, mutta typpeä voi edelleen purkautua sedimentistä, sekä tulla ilmasta laskeumana ja valuma-alueelta valumisvesien mukana. (Horne & Goldman, 2001). Talvisaikaan jääkansi estää ilmasta ja valuma-alueelta tulevaa kuormitusta. Mineralisaatiossa alusveteen vapautuu typpiyhdisteitä, joten typpipitoisuus kasvaa pohjalla. Tyypestä mitataan sekä sen kokonaispitoisuus, että eri typpimuotojen pitoisuudet erikseen. Kokonaistyyppipitoisuudet ovat seuraavaa luokkaa:

200 – 500 µg/l, luonnontilaiset kirkkaat vedet

400 – 800 µg/l, humusvedet

yli 1000 µg/l, hyvin ruskeat vedet

2000 – 4000 µg/l, runsaasti viljeltyjen alueiden joki- ja ojavedet

Koska nitriittityypen pitoisuudet ovat yleensä pieniä (1 – 10 µg/l), sitä ei yleensä mitata tai se ilmoiteta yhdessä nitraatin kanssa, kuten tässä tutkimuksessa on tehty. Nitraattipitoisuudet taas vaihtelevat voimakkaasti tuotannon mukaan. Tuotantokaudella levät käyttävät nitraattia ja sen pitoisuus voi siksi olla hyvin alhainen. Talvisin suurin osa veden tyyppistä on nitraattina. Ammoniumtyyppiä ei vesistöissä yleensä ole yli 100 µg/l. Vain turvesoiden valumavesissä määrä voi olla luonnostaan korkeampi, 100 – 300 µg/l. Pohjan lähellä pitoisuus on korkeampi kuin päällysvedessä. Hapettomissa olosuhteissa ammoniumpitoisuus kasvaa ja nitraattipitoisuus pienenee. Yhdyskuntien jätevesien sisältämä typpi on suurimmilta osin ammonium-muodossa ja jätevedenpuhdistamoilla se hapetetaan nitraatiksi. (Oravainen, 1987)

3.3.3 Fosforin kierto

Fosfori esiintyy liuenneena fosfaatteina ja orgaanisessa muodossa sekä hiukkasmaisena sitoutuneena eliöihin, kuolleeseen ainekseen ja mineraaleihin. Kasveille käyttökelpoisin muoto on ortofosfaatti (PO₄). Veteen tuleva fosfori menee nopeasti kiertoon, minkä vuoksi suurin osa vesistön fosforista on sitoutuneena eliöihin. (Wetzel, 2001)

Fosforin luonnollinen lähde on fosfaattimineraalien rapautuminen. Yleensä merkittävämpiä ovat kuitenkin maa- ja metsätalous sekä jätevesipäästöt. Fosforia poistuu järvestä lähinnä ulosvirtauksella, sillä mm. hajoamisen, haihtumisen ja kalastuksen aiheuttama vähenemä on vähäistä. (Frisk, 1978). Järven sisäisessä fosforikierrossa sedimentoitumisella ja sedimentistä vapautumisella on merkittävä osa. Hapellisissa olosuhteissa paino on sedimentoitumisella. Sedimentoitumista tapahtuu veteen joutuneiden mineraalien kulkeutuessa suoraan pohjalle, orgaanisen aineksen laskeuduttua, tiettyjen pohjalevien ja kasvien ottamana, adsorboitumalla saviin tms. materiaaleihin tai karbonaattien mukana sekä sitoutumalla mm. rautaan muodostaen niukkaliukoisen ferrifosfaatin (FePO₄). Hapettomissa oloissa sen sijaan fosforia vapautuu sedimentistä aiheuttaen sisäistä kuormitusta. Samalla sitoutunut rauta vapautuu veteen. (Wetzel, 2001)

3.3.4 Vesistön fosforipitoisuus

Fosforimäärittelyssä mitataan yleensä kokonaisfosforipitoisuus ja joskus myös fosfaattipitoisuus mikrogrammoina litrassa. Fosfaattimäärät ovat yleensä tuotantokaudella pieniä sen huvetessa nopeasti vesikasvien käyttöön. Kokonaisfosforipitoisuuden perusteella vesistön rehevyysluokitus on seuraava:

- alle 10 µg/l, karu
- 10 – 20 µg/l, lievästi rehevä
- 20 – 50 µg/l, rehevä
- 50 – 100 µg/l, erittäin rehevä
- yli 100 µg/l, ylirehevä

Humuspitoisissa vesissä rajat voivat olla korkeammat, kun valaistusolot rajoittavat tuotantoa. Veden pohjalla pitoisuus on yleensä pintaa suurempi, kun sedimentoituva aines kuljettaa fosforia alusveteen. Mikäli happivajetta ei ole, fosfori pidättyy pohjalietteeseen eikä ero ole suuri. Hapettomissa syvänteissä fosforipitoisuus voi kohota pohjalla jopa kymmenkertaiseksi päällisyveteen verrattuna. Talvella fosforipitoisuus on alimmillaan, kun se on sedimentoituneena pohjaan. Kesällä plankton sitoo fosforia ylös tuottavaan kerrokseen. (Oravainen, 1987)

3.4 Muut vesistön olosuhteita kuvaavat parametrit

3.4.1 Sähkönjohtokyky

Luonnonvedet sisältävät monia liuenneita aineita, jotka ovat peräisin maaperästä ja ilmasta. Makeiden vesien sähkönjohtokyky riippuu siinä olevien liuenneiden aineiden määrästä ja lämpötilasta. Mittaamalla sähkönjohtavuutta saadaan siis selville liuenneiden aineiden kokonaismäärä. Koska johtokyky on riippuvainen myös lämpötilasta, arvo muutetaan 25 °C lämpötilaan (yleinen standardi) ja vertaillaan kompensoituja arvoja. Muunnoskaava on muotoa

$$\sigma (25 \text{ }^{\circ}\text{C}) = \sigma (T) + \sigma (T) \cdot (25 \text{ }^{\circ}\text{C} - T) \cdot K \quad (3)$$

missä $\sigma (T)$ on sähkönjohtavuus lämpötilassa T ja K vakio, jonka arvo on noin $0,02 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$.

Veden suolojen konsentraatio (mg/l) saadaan laskettua tästä kaavalla

$$c = 6,7 \cdot \sigma (25 \text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

kun sähkönjohtavuuden yksikkönä on mS/m. Suolaisuus halutaan ilmoittaa promilleina (‰). Koska veden lämpötila on 25 °C ja suolaisuuden ollessa pieni sen vaikutuksen voi jättää laskussa huomioimatta, veden tiheydeksi saadaan kaavalla (1) 0,997048 kg/l. Näin ollen suolaisuus on promilleina

$$S = 0,001002964 \cdot c \quad (5)$$

Suomen sisävedet ovat yleensä vähäsuolaisia kallioperän heikon rapautuvuuden vuoksi. Liuenneiden aineiden konsentraatio on 15 - 100 mg/l jolloin veden suolaisuus on 0,015 – 0,1 ‰ (Särkkä, 1996). Luonnostaan sähkönjohtokyky on 5 – 10 mS/m. Koska jäteveden sähkönjohtokyky on luokkaa 50 – 100 mS/m, ne pystytään jäljittämään johtokyvyn perusteella. Myös maanviljely nostaa johtokykyä ja voimakkaasti viljellyillä alueilla se voi olla 15 - 20 mS/m. Vuodenaikaisvaihtelu on vähäistä. Koska orgaanisen aineksen hajotessa suoloja vapautuu veteen, pohjaa kohti mentäessä johtokyky voi hieman kasvaa. Meriveden johtokyky on moninkertainen sen suolaisuuden vuoksi, Itämerellä 1000 – 1200 mS/m. (Oravainen, 1987)

3.4.2 Sameus

Veden sameus johtuu siinä olevista hiukkasista, kuten savesta ja levästä. Käytännössä se on kirkkauden vastakohta ja sen mittarit perustuvat valon sironnan mittaamiseen. Veteen tulevasta valosta osa heijastuu, osa siroaa tai absorboituu optisesti aktiivisten aineiden takia ja vain osa tunkeutuu syvemmälle veteen. Järvivedessä optisesti aktiivisia aineita ovat paitsi vesi itse, myös siinä oleva kiintoaines, kasviplankton ja värillinen liennut orgaaninen aines. Sironnassa valo muuttaa suuntaansa partikkelin kohdatessaan, kun absorptiossa valo imeytyy siihen.

Sameuden mittayksikkönä käytetään mm. FTU:ta (Formazin Turbidity Unit), jolloin verrataan tutkittavan veden ja standardiliuoksen (formatsiini, $C_{17}H_{13}N_5O_3$) valonsironnan voimakkuutta. Kirkkaan veden sameus on alle 1,0 FTU ja lievästi samean 1 – 5 FTU. Nämä ovat tyypillisiä arvoja lievästi rehevissä järvivesissä, eikä tämänsuuruista sameutta vielä havaita helposti paljain silmin. Kesällä levät lisäävät päällysveden sameutta. Syvänteissä sameus voi kasvaa kirkkaissakin vesissä. Jokivesissä vaihtelu on suurta ja sameus voi olla jopa yli 100 FTU voimakkaamman eroosion vuoksi. (Oravainen, 1987) Puhdistetun jäteveden sameus on pieni.

3.4.3 Väri

Veden väriarvo kertoo sen ruskeudesta, joka Suomessa kuvaa lähinnä humuspitoisuutta. Valuma-alueen suot lisäävät humuksen määrää. Väriä mitataan vertaamalla sitä platina-asteikkoon värikiekolla tai vertailuliuksella ja tulos ilmoitetaan yksikössä mgPt/l. Värittömällä vesillä arvo on 5 – 15 mgPt/l, lievästi humuspitoisilla 20 – 40 mgPt/l. Humuspitoisilla vesillä arvo on 50 – 100 mgPt/l. Tätäkin korkeampia arvoja voi esiintyä erittäin ruskeissa vesissä, jolloin se näkyy myös paljaalla silmällä. Sateisina aikoina valunnan lisääntymisen myötä myös humuspitoisuus voi nousta. (Oravainen, 1987)

3.4.4 Klorofylli-a

Klorofylli-a-pitoisuus kertoo veden levämäärästä ja siten rehevyydestä. Klorofylli eli lehtivihreä on kasvien pigmenttimolekyyli, jolla on useita muotoja. Näistä ainoastaan klorofylli-a ($C_{55}H_{72}MgN_4O_5$) pystyy muuttamaan valoenergiaa kemialliseksi energiaksi. Muut pigmentit vastaanottavat valoa klorofylli-a:n vastaanottoaluetta pidemmiltä ja lyhyemmiltä aallonpituuksilta, ja siirtävät sen klorofylli-a -molekyyyleille. (Horne & Goldman, 2001). Yleensä mitataan vain klorofylli-a:n pitoisuutta. Esimerkiksi sää- ja ravinneolosuhteet vaikuttavat levien määrään ja klorofyllipitoisuuteen, joten yleiskuvan saamiseksi mittauksia tarvitaan avovesikautena useampia. Karuissa vesissä klorofylli-a:n pitoisuus jää alle 3 µg/l, lievästi rehevillä se on 3 – 10 µg/l, rehevillä 10 – 20 µg/l, erittäin rehevillä 20 – 50 µg/l ja ylirehevillä tätäkin enemmän. (Oravainen, 1987)

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Tutkimuskohteet

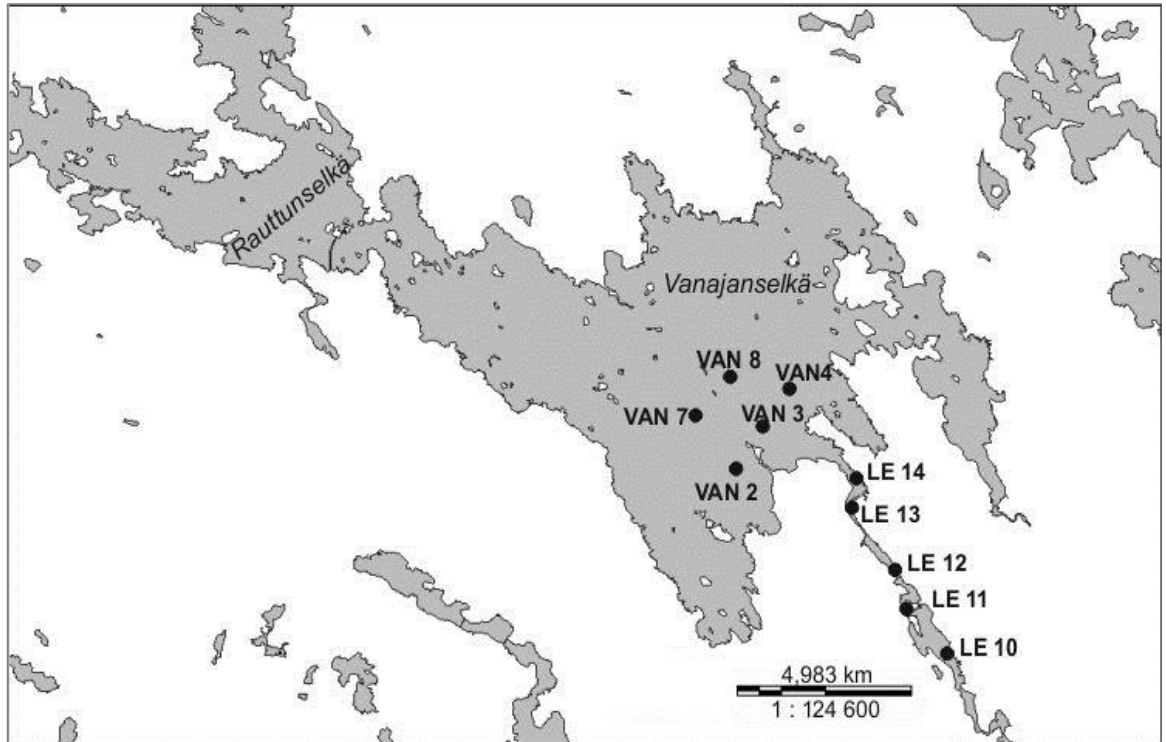
Tutkimuskohteina on neljä järveä, Vanajavesi, Keurusselkä, Petäjävesi ja Kuuhankavesi, joille johdetaan puhdistettuja yhdyskuntajätevesiä. Näistä Vanajavesi on päätutkimusalueena, sillä siellä on jo entuudestaan tehty paljon tutkimusta. Keski-Suomen järvet ovat mukana vertailualueina. Järvillä tehtiin mittaukset kesällä 2011. Vanajavedellä käytiin 20.7 ja 16.8 ja Keski-Suomessa 22. – 24. elokuuta. Tällöin vallitsi kesäkerrostuneisuus ja perustuotanto oli edelleen voimakasta.

Mittauspisteitä valittiin 13 – 19 kappaletta jokaiselta järveltä. Pisteiden valinnassa suosittiin kapeikkoja, joissa veden liikesuunta voitiin päätellä. Myös syvänteitä valittiin, sillä niistä saadaan pitkä profiili ja tieto siitä, kerääntyykö vesi syvänteeseen. Mittauspisteiden koordinaatit ovat liitteessä 1.

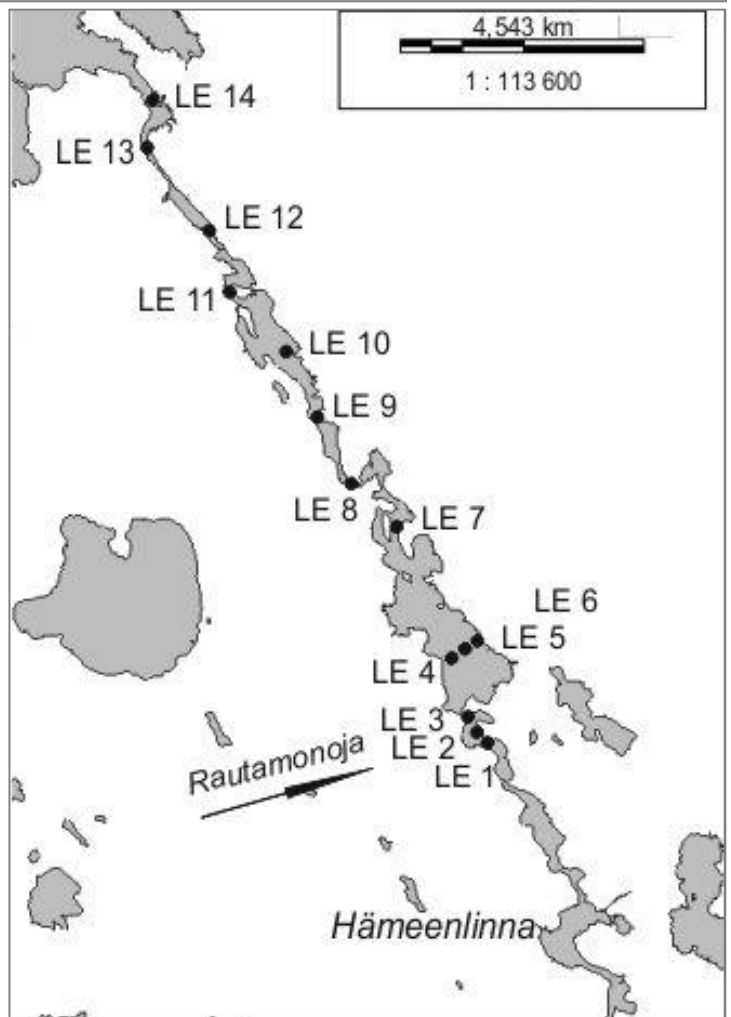
4.1.1 Vanajavesi

Vanajavesi on 150 km² laaja järvi Kanta-Hämeen ja Pirkanmaan maakuntien alueella. Se on Suomen 31. laajin järvi. Syvyydeltään se on kuitenkin vain keskimäärin 7,7 metriä ja suurimmillaan 23,9 m. Se kuuluu Kokemäenjoen vesistöön, Vanajaveden-Pyhäjärven valuma-alueeseen (valuma-alueen numero 35.2) ja sijaitsee Hämeenlinnan, Hattulan ja Valkeakosken kuntien alueella. Tutkimuksessa seurattiin Paroisten puhdistamolta Hämeenlinnasta Vanajaveden johdettavaa jätevettä. (OIVA, 12.9.2012).

Järven pääallas, Vanajanselkä on kolmiomainen noin 103 km² laaja vesialue (kuva 4.1). Sen pohjaa halkoo huomattavan korkea kaakko-luode-suuntainen harjanne, joka muokkaa järven sisäisiä virtauskenttiä. Vanajavesi alkaa Hämeenlinnan keskustan eteläpuolelta 25 km pituisena, alle 2 km leveänä kapeikkona, jonka varrella on useita selkiä (kuva 4.2). Kapeikko päättyy Lepaanvirtana Vanajanselän kaakkoisreunaan. Kolmannen jakovaiheen valuma-alueina jaoteltuna kapeikon yläosa on Hämeenlinnan aluetta (numero 35.233), alaosa Mervanselän aluetta (35.232) ja Vanajanselkä on oma valuma-alueensa (35.231). Tutkimus käsittelee lähinnä Mervanselän alueen kapeikkoa, jonka latvaosaan Paroisten puhdistamon jätevedet lasketaan, mutta myös Vanajanselkää kapeikon purkuaukon ympärillä.



Kuva 4.1: Vanajanselkä mittauspisteineen, sekä kapeikon pohjoisimmat pisteet LE 10 – LE 14. Järven pohjaa halkova vedenalainen harjanne alkaa pisteiden VAN 2 ja VAN 3 välisestä niemestä jatkuen VAN 7:n ja VAN 8:n välistä vastarannalle. (Pohjakartta: Maanmittauslaitos, 2012).



Kuva 4.2: Vanajaveden kapeikon pisteet LE 1 – LE 14 mittauksessa 20.7.2011. Yleinen virtaussuunta on luoteeseen. Jätevesi lasketaan Vanajaveteen sen länsipuolelta Rautamonojaa pitkin. (Pohjakartta: Maanmittauslaitos, 2012)

Kapeikosta valittiin 12 mittauspistettä niin, että ne sijoituivat tasaisesti, noin 1,25 km välein, jäteveden purkualueelta Lepaan suulle. Lisäksi Hattulanselältä valittiin kolme pistettä rinnakkain niin, että saadaan kuva virran poikittaisprofiilista. Pisteet nimettiin koodilla LE ja numerolla 1 - 14. Vanajanselältä valittiin viisi mittauspistettä sen mukaan, mitä aiemmin Vanajavedellä olleessa YMPANA-hankkeessa oli käytetty (YMPANA = Ympäristön tilan seurannan uudet ratkaisut: reaaliaikaisen tiedon keruu, tuotetun tutkimus- ja seurantatiedon hyödyntäminen ja liiketoimintakehitys). YMPANA-projekti oli käynnissä 1.3.2008 – 28.2.2011 ja sen pisteverkosto kattoi koko Vanajanselän, joten näistä valittiin vain ne, joille Lepaanvirralta tuleva vesi ensimmäisenä ajautuisi. Pisteet on myös nimetty edellisen projektin mukaisesti VAN 2, 3, 4, 7 ja 8.

Vanajanselkä on Vanajan reitin keskusjärvi ja Vanajan reitti Kokemäenjoen vesistön koillisin valuma-alue alkaen etelässä Lopelta ja idässä Lammilta asti. Vanajanselän sisäänvirtaamasta 94,5 % tulee Lepaanvirralta. Lepaanvirran valuma-alueen pinta-ala on 2400 km² ja virtaama keskimäärin 21 m³/s. Luoteessa Vanajanselän vesi yhdistyy salmen kautta Rauttunselkään, missä siihen liittyy Valkeakosken kautta tulevat Längelmäveden ja Hauhon reittien vedet. Rauttunselältä vesi virtaa luoteeseen ja laskee Lempäälässä Tampereen Pyhäjärveen.

Vanajavesilaakso on rehevä ja sillä on paljon suojelualueita. Pinnankorkeuden muutokset ovat muokanneet järven rantoja ja niiden eliöstöä. Vuonna 1850 toteutettu Kuokkalankosken perkaus laski vedenkorkeutta 2 metriä nykyiselle tasolle, joka on 79,4 mpy (metriä meren pinnan yläpuolella). Lempäälässä Herralanvirran padolla 1962 aloitettu säännöstely tasaa vaihteluita ja vähentää tulvimista². Valuma-alueesta suurin osa on metsää. Maanpeite- ja maankäyttökajakauma on seuraavanlainen (Kaipainen ym., 2009):

- 8 % rakennetut alueet
- 21 % maatalousalueet
- 60 % metsät, avoimet kankaat, kalliomaat
- 2 % kosteikot ja avosuot
- 9 % vesialueet

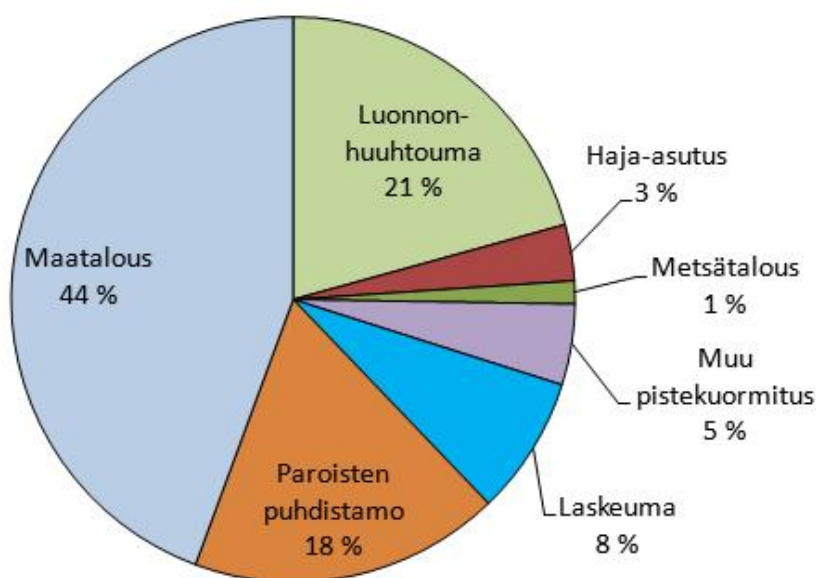
² ”Herralanvirran säännöstelypato”. Pirkanmaan ELY.

<<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19720&lan=fi>>. 3.2.2011.

Järven tilaa on seurattu 1960-luvulta lähtien. Vanajavesi on luonteeltaan rehevä järvi, joka 70-luvulla oli hyvin huonossa kunnossa, missä pistekuormittajien merkitys oli suuri. Yksi merkittävä kuormittaja oli Valkeakosken puunjalostusteollisuus, sillä sen kuitujätettä päästettiin suoraan veteen, ja se levisi Vanajanselälle asti. Ekologiselta tilaltaan Vanajavesi kuului silloin välttävään tai huonoon luokkaan. Vuosina 1971 ja 1973 järvellä kuoli kaloja happikatojen vuoksi. Kuormitustilanne on sittemmin parantunut huomattavasti. Pistekuormittajien aiheuttama BOD₇ ja kokonaisfosforikuormitus ovat laskeneet 70-lukuun verrattuna noin 90 % (BOD₇ = biokemiallinen hapenkulutus 7 vuorokauden aikana). Jätevesien käsittely on tehostunut etenkin fosforin osalta.

2000-luvun alussa Vanajanselän alue oli parantunut ekologiselta luokituksestaan tyydyttävään ja Mervanselän ja Hämeenlinnan alueet välttävään luokkaan. Syvänteissä esiintyy edelleenkin hapettomuutta kerrostuneisuuden aikaan. Pistekuormituksen pienentyttyä hajakuormitus on noussut sitä merkittävämmäksi ja nykyään maatalous on fosfori- ja typpikuormituksen päälähde (kuva 4.3). Vaikka pitkällä aikavälillä Vanajaveden kuormitus on selvästi laskenut, aivan viime vuosina järven tuotantotaso on kasvanut ja myös sinilevä määrät ovat nousseet. Yksi syy voisi olla typen vähyys fosforipitoisuuden pysyessä korkealla, mikä on kilpailuetu juuri sinileville, jotka pystyvät sitomaan ilman typpeä. Myös jätevedenpuhdistamot ovat yhä suuria kuormittajia. Vanajanselän typpikuormituksesta 18 % ja fosforikuormituksesta 5 % on peräisin Paroisten puhdistamolta. (Kaipainen ym. 2009)

Kuva 4.3:
Vanajanselän laskennallisen kokonaistyyppi-kuormituksen lähteiden prosentuaaliset osuudet Kaipaisen ym. (2009) mukaan.

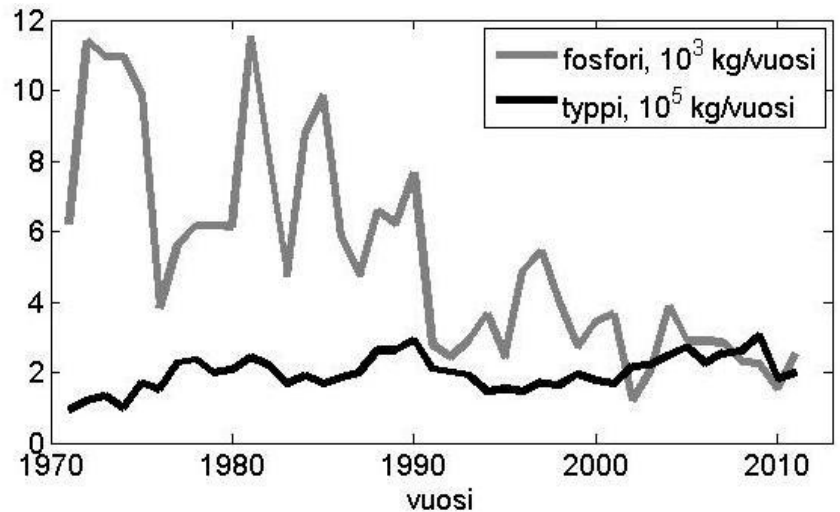


Hämeen- ja Pirkanmaan ELY-keskuksilla (ELY = Elinkeino-, liikenne- ja ympäristö) on ollut Vanajanselän alueella 67 ja Mervanselän alueella 21 havaintopistettä, joiden mittaustulokset on kerätty Suomen ympäristökeskuksen OIVA-palveluun. Ensimmäiset mittaukset on tehty vuonna 1961. Tästä aineistosta laskettuna Mervanselän sähkönjohtokyky on ollut keskimäärin 14 ± 2 mS/m, sameus 8 ± 4 FTU ja väri 100 ± 30 mgPt/l. 1970-luvulla Mervanselällä mitattiin erittäin korkeitakin yksittäisiä typpipitoisuuksia, suurimpana 3.2.1972 Hattulanselän pohjalla mitattu $16\,000$ µg/l. Sen jälkeisissä mittauksissa keskimääräinen kokonaistyppipitoisuus oli 2000 ± 400 µg/l, ammonium 500 ± 300 µg/l ja nitraatti 500 ± 300 µg/l. Suurimmat pitoisuudet ovat pohjanläheisistä mittauksista. Ensimmäiset fosforimittaukset ovat vuodelta 1989 ja kokonaisfosforipitoisuus on ollut niissä keskimäärin 90 ± 70 µg/l. Vanajanselän pisteillä vastaavasti sähkönjohtokyvyn keskiarvo on $14,6 \pm 1,1$ mS/m, sameus 6 ± 4 FTU ja väri 62 ± 12 µgPt/l, eli eroa oli lähinnä Mervanselän korkeampi väriluku. Typpituloksissa 70-luku ei erotu, kuten kapeikossa ja typen eri muotojen konsentraatiotkin olivat pienemmät. Keskimäärin typpipitoisuus oli 1000 ± 200 µg/l, ammonium 200 ± 200 µg/l ja nitraatti 460 ± 130 µg/l. (OIVA, 28.2.2013)

Paroisten jätevedenpuhdistamo ja jäteveden purkualue

Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n (HS-Vesi) Paroisten jätevedenpuhdistamo käsittelee Hämeenlinnan ja Hattulan taajamien jätevedet. Puhdistamo aloitti vuonna 1966 biologisena aktiivilietelaitoksena. Tämän jälkeen puhdistusprosessia on parannettu mm. lisäämällä rinnakkaissaostus fosforin poistamiseksi sekä ammoniumtypen hapetus ja nykyään se on kaksivaiheinen biologinen laitos. Puhdistamon kokonaispäästöt ovat pienentyneet ajan saatossa (kuva 4.4). Viimeisimmät lupaehdot ovat vuodelta 2005, jolloin puhdistusvaatimuksia yhä tiukennettiin parempaa tekniikkaa vaativiksi. (Juuti & Rajala, 2011). Vuoden 2011 puhdistustulokset on esitetty taulukossa 4.1.

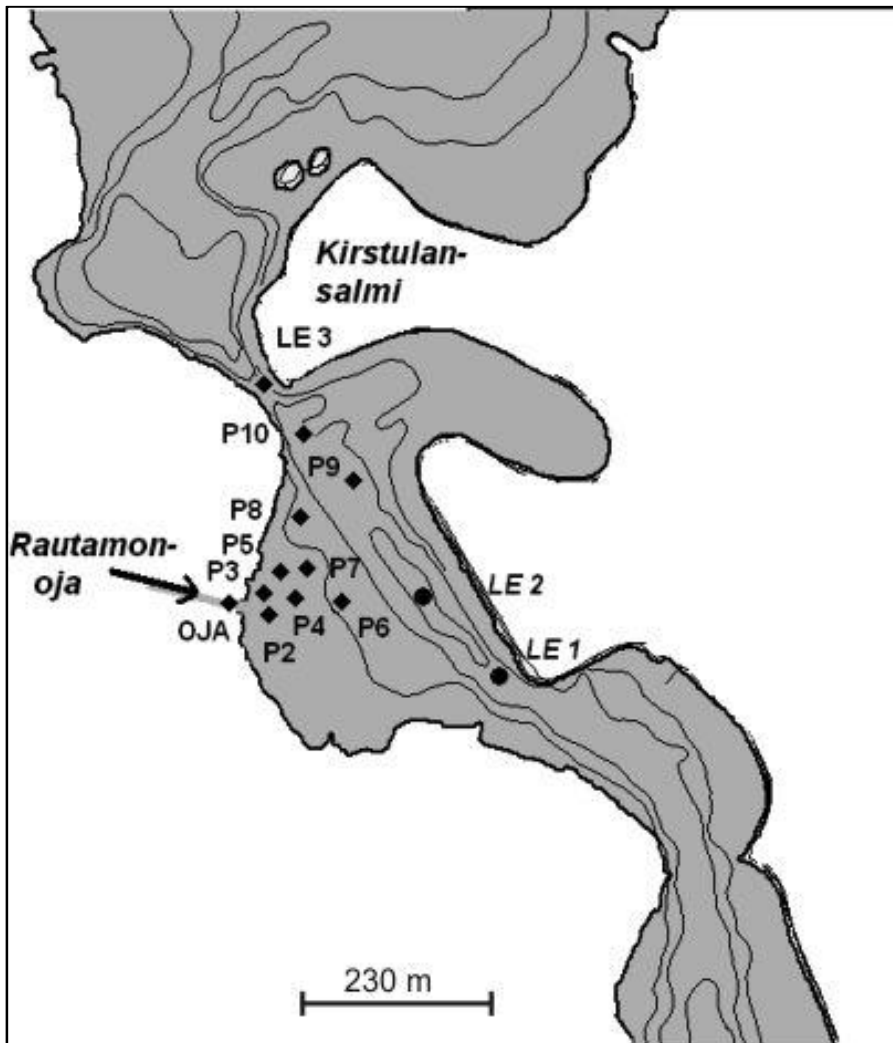
Kuva 4.4: *Paroisten jätevedenpuhdistamon vuosittain Vanajaveteen laskemat typpi- ja fosforimäärät. Huom! Fosforin yksikkönä on 10^3 kg/vuosi, typen yksikkö 10^5 kg/vuosi. (OIVA, 6.8.2012)*



Taulukko 4.1: *HS-Veden Paroisten puhdistamon kuormitustiedot vuodelta 2011. (Hertta 4.12.2012)*

	BOD 7 ATU kg/v	COD, dikromaatti kg/v	Kiintoaine kg/v	Kokonais- fosfori kg/v	Kokonais- typpi kg/v	Virtaama/ Jätevesimäärä m ³ /v
Tuleva	3 070 213	6 571 797	4 009 257	83 135	504 559	9 038 720
Vesistöön	30 062	344 433	100 024	2 517	201 446	9 038 720
Puhdistus- prosentti	99,02	94,76	97,51	96,97	60,07	

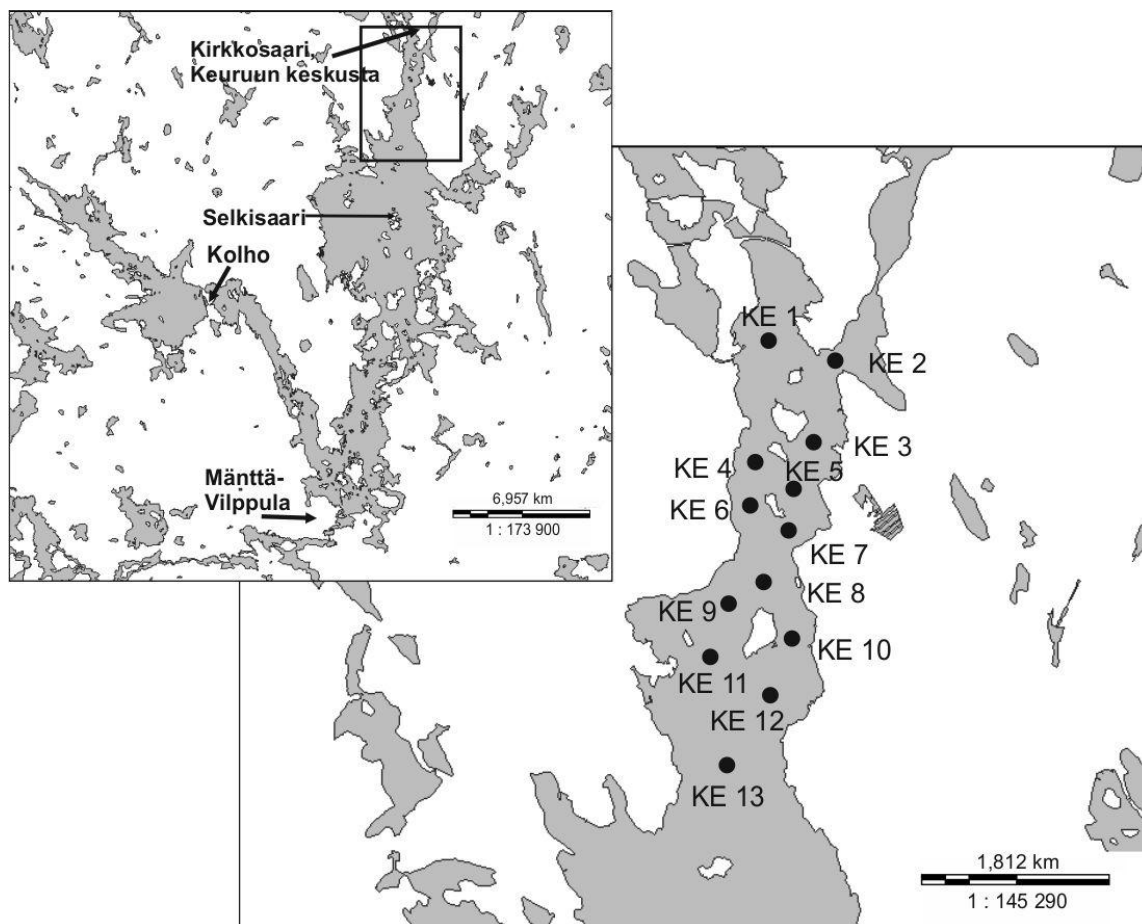
Paroisten puhdistamolta vesi johdetaan Rautamonojaa pitkin Vanajaveden kapeikkoon noin 15 km Vanajanselältä ylävirtaan. Hämeenlinnan keskusta on 3 km purkupaikasta ylävirtaan. Purkualue mittauspisteineen on kuvassa 4.5. Purkupaikalla virrassa on pieni levenemä. Vesi on suurilta osin matalaa, alle 1,5 metristä, mutta virran keskellä on yli 6 metrinen pitkittäinen syväne (mittaus LE 2). Merkkiainekoe tehtiin tällä alueella ja mittauspisteitä valittiin kokeeseen tiheästi aivan ojan suulta. Kauimmainen piste on LE 3 Kirstulansalmessa, joka on alle 400 metrin päässä ojasta. Sillä tehtiin mittaus myös heinäkuussa, joten nimeäminen on sen mukainen. Myös itse ojavedestä tehtiin mittaus (OJA). Pisteet sijoitettiin enimmäkseen purkuojasta Kirstulansalmen suuntaan, eli yleisen virtaussuunnan mukaisesti, jonne myös ojaveden arveltiin kulkeutuvan. Ne nimettiin OJA, P 2 – P 10 ja LE 3.



Kuva 4.5:
Rautamonojan
purkualue.
Kartalle on
merkittynä
mittauspisteet
ojassa, P 2 – P 10,
sekä LE 1 – LE 3.
Pisteillä LE 1 ja
LE 2 ei tehty
mittausta
16.8.2011
(Pohjakartta:
Maanmittauslaitos,
2012).

Keuruselkä

Keski-Suomen kohteista läntisin on Keuruselkä. Se on Keuruun reitin keskusjärvi (järvinumero 35.621) ja kuuluu Kokemäenjoen vesistöön. Keskisyvyys sillä on vain 4,7 m, mutta suurimmillaan 33,5 m. Pinta-alaltaan se on kolmesta Keski-Suomen kohteesta suurin, 9756 hehtaaria ja tutkimus rajoitettiin järven pohjoispäähän, missä jäteveden purkupiste sijaitsee. Mittauspisteet ovat kuvassa 4.6 ja ne on nimetty koodilla KE ja numerolla 1 - 13. (OIVA, 8.8.2012)



Kuva 4.6: Keuruselkä ja sen mittauspisteet KE 1 – KE 13.
(Pohjakartta: Maanmittauslaitos, 2012).

Pussijoen ja Multianjoen vesistöt laskevat Keuruselän pohjoisosaan. Niiden valuma-alueilla on runsaasti soita, mikä lisää myös järven humuspitoisuutta. Etelästä järveen laskee Ristijoen vesistö. Keuruselkä on lievästi rehevä ja vedenlaadultaan hyvä. Keski-Suomen ja Pirkanmaan ELY-keskukset ovat suorittaneet järvellä mittauksia 60-luvulta lähtien ja pisteitä on ollut yhteensä yli 30 eri puolilla järveä. Näissä mittauksissa sähkönjohtokyky on ollut keskimäärin 6 ± 6 mS/m, sameus 4 ± 5 FTU, väriluku 100 ± 40 mgPt/l ja klorofylli-a korkeimmillaan 30 $\mu\text{g/l}$ (OIVA, 28.2.2013). Vesistöä käytetään vedenhankintaan, kalastukseen ja virkistymiseen. Hajakuormitus on kuormitusmuodoista merkittävin. Järven pistekuormittajia ovat Keuruun kaupungin Jaakonsuon jätevedenpuhdistamon lisäksi Kolhon kylä järven läntisessä luusuassa. Keuruun reitin fosforikuormitusta on arvioitu 1990-luvun lopulla, jolloin kokonaiskuormitukseksi saatiin

12,3 tonnia vuodessa, mistä 52 % aiheutui maataloudesta, 15 % metsätaloudesta, 14 % haja- ja loma-asutuksesta ja loput 19 % laskeutuneina.³

Keurusselkä on lähes kokonaan Keuruun kaupungin alueella, mutta etelässä ja lännessä on myös osa Mänttä-Vilppulaa. Keuruun keskusta sijaitsee Kirkkosaarella ja sen ympäristössä järven pohjoisosassa. Keskustaajamassa asuu noin 7 000 asukasta, kun koko kaupungin asukasluku on 11 000⁴.

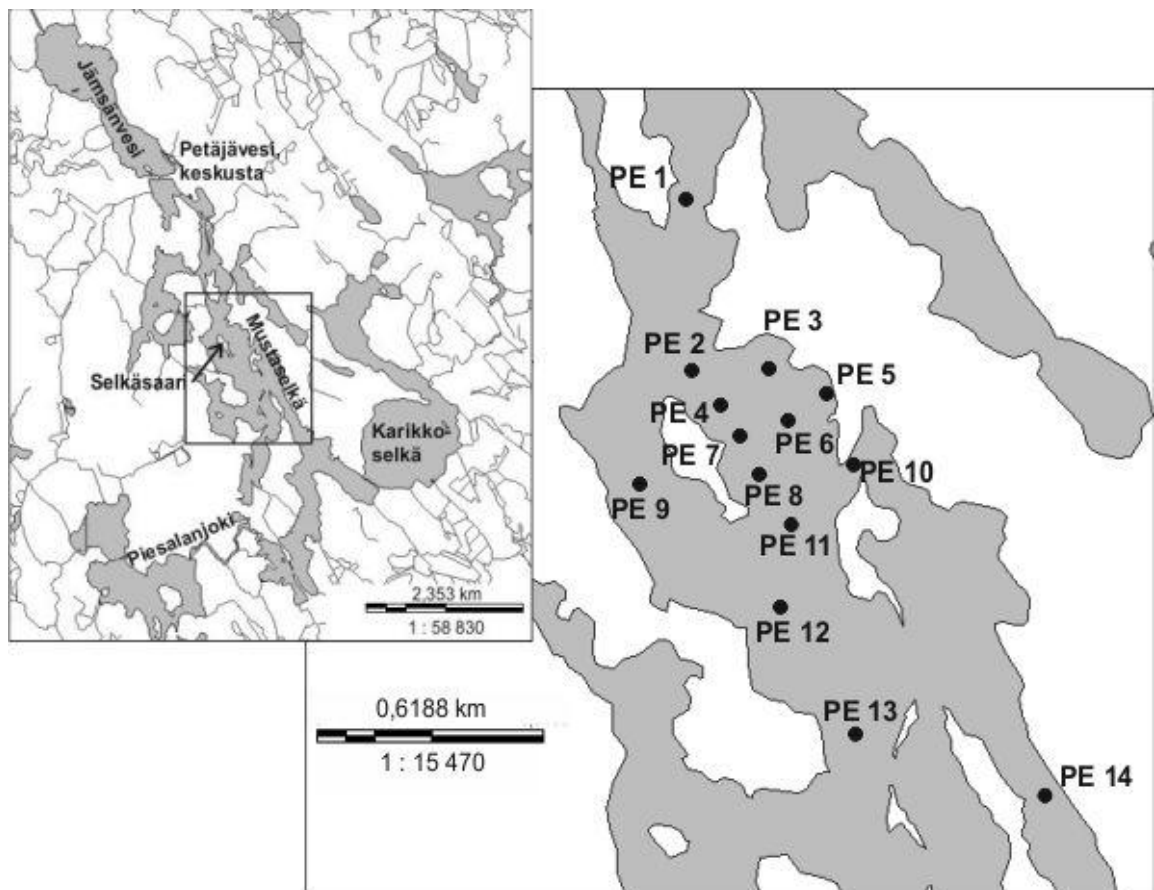
Jaakonsuon jätevedenpuhdistamolla käsitellään Keuruun keskustaajaman, Haapamäen alueen, Multian kunnan ja elintarvikkeita tuottavan Vaissi Oy:n jätevedet, sekä saostus- ja umpisäiliölietteitä. Viemäriverkon piirissä oli 8 650 asukasta vuonna 2007 ja määrän on arvioitu kasvavan 9 050:en vuoteen 2015 mennessä. Puhdistamo on 1994 rakennettu biologiskemiallinen rengaskanavapuhdistamo, jota on laajennettu selkeyttämällä. Käsitelyn jälkeen jätevesi johdetaan putkea pitkin Keurusselän Vennänlahteen, joka on 13 m syvä lahti järven pohjoisosassa. Tällä kohdalla järvi on alle kilometrin levyinen ja puolivälissä kohoaa Källin saari. Vennänlahti jää saaren ja rannan väliin. Lahti on muodoltaan hyvin avoin ja vesi virtaa siinä etelään. Purkukohdalle asennettu Mixox-hapetin johtaa hapellista päällysvettä pohjalle, missä se paitsi laimentaa jätevettä, saa sen leviämään tehokkaammin. Ilman hapetusta jätevesi virtaisi lähinnä syvänteitä pitkin noin kilometrin päässä etelässä olevan Kaunissaaren itäpuolelta Ykspuisen yli 20 metriselle syvänteelle päin. Hapetuksen ansiosta jätevettä kulkeutuu myös Kaunissaaren matalampaa länsipuolta. Keuruun kaupunki arvioi jätevesien laskun alentavan purkualueen vedenlaadun tyydyttäväksi. Toistaiseksi jätevedenpuhdistamo on täyttänyt puhdistustavoitteensa. (Itä-Suomen ympäristölupavirasto, päätös 127/07/1)

³ "Keurusselkä". Keski-Suomen ympäristökeskus. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=192167&lan=FI>>. 5.7.2006.

⁴ "Yleistä tietoa Keuruusta". Keuruun kaupunki. <http://www.keuruu.fi/yleistae_tietoa_keuruusta.html>. 5.9.2013

4.1.2 Petäjävesi

Jämsänvesi-Petäjävesi on pienehkö, 883 hehtaarin järvi Petäjäveden kunnassa (järvinumero 14.531). Sen keskisyvyys on 4,2 m ja syvin kohta 26,6 m (OIVA, 26.3.2012). Järvi jakautuu kolmeen osaan: pohjoiseen Jämsänveteen, eteläiseen Mustaselkään ja sille idästä laskevaan Karikkoselkään. Mittaukset tehtiin Mustaselällä. Pisteet on esitetty kuvassa 4.7 ja nimetty kirjaimilla PE ja numeroilla 1 - 14. Jämsänvesi ja Mustaselkä ovat pinta-aloiltaan melko samankokoisia, mutta Mustaselkä on lukuisine niemineen ja saarineen rikkonaisempi. Myös syvyydet ovat lähellä toisiaan ja syvimät kohdat ovat kummallakin yli 10 metriä. Sitä vastoin Karikkoselkä on pienempi, pyöreä kraatterijärvi, jossa myös koko järven syvin kohta sijaitsee. (Granberg, 2000, b)



Kuva 4.7: Jämsänvesi-Petäjävesi ja sen mittauspisteet PE 1 – PE 14. (Pohjakartta: Maanmittauslaitos, 2012).

Merkittävin järveen laskevista joista on Jämsänveden pohjoisosaan laskeva Pengerjoki. Lisäksi Jämsänveteen laskevat Tervapuro, Haapapuro ja Lammasjoki. Toiseksi merkittävin sisäänvirtaama on Karikkoselälle laskeva Könkköjoki. Karikkoselälle

laskevat myös Levänpuro ja Selänjoki. Mustaselälle ei laske yksikään joki tai puro, vaan kaikki vesi tulee Jämsänvedeltä ja Karikkoselältä. Ulosvirtaama tapahtuu Mustaselän eteläosasta Piesalanjokea pitkin länteen Piesasjärveen. (OIVA, 26.3.2012)

Jämsänvesi-Petäjävesi on hyvin humuspitoinen. Sen valuma-alueella 1980-luvun alussa tehdyt suo-ojitukset nostivat veden väriarvoa ja ravinnepitoisuutta. Ojitusten vaikutus näkyy yhä sateisina vuosina. Järvi on rehevä ja osittain sisäkuormitteinen. Sen yleinen käyttökelpoisuus on luokiteltu tyydyttävä. Tutkimusten mukaan järvi on fosforirajoitteinen, mutta lähellä jäteveden purkuaukkoa esiintyy ajoittain myös tilanteita, joissa sekä fosfori että typpi voivat olla rajoittavia tekijöitä. (Keski-Suomen ympäristökeskus, 2009)

Keski-Suomen ELY-keskus on julkaissut OIVA-palvelussa havaintoja 11 pisteeltä vuodesta 1971 alkaen. Näillä sähkönjohtavuus on ollut keskimäärin 4 ± 5 mS/m, sameus 4 ± 5 FTU ja väriluku 160 ± 40 mgPt/l. (OIVA, 28.2.2012)

Petäjäveden kunnassa oli vuoden 2011 lopussa 4 065 asukasta. Väkiluku on ollut nousussa viime vuosina. Keskustaajama sijaitsee itärannalla Jämsänveden ja Mustaselän välillä.⁵ Kunnassa on yksi jätevedenpuhdistamo, jossa käsitellään keskustaajaman jätevedet sekä sako- ja umpisäiliölietteet. Se sijaitsee järven itäpuolella, keskustaan nähden etelässä, mistä jätevesi johdetaan putkea pitkin järven keskelle Selkäsaaren itäpuolelle. Vuonna 1975 käyttöön otettu laitos korvattiin samalle paikalle rakennetulla uudella laitoksella, joka otettiin käyttöön marraskuussa 2011. Mittausajankohtana 23.8.2011 käytössä oli yhä vanha puhdistuslaitos, mutta koska jäteveden purkupiste ei ole muuttunut, tällä ei ole vaikutusta jäteveden leviämisseurantaan. Vain epäpuhtauksia on nykyistä enemmän, mikä helpottaa jäteveden havaitsemista. (Keski-Suomen ympäristökeskus, 2009)

⁵ ”Yleistietoa Petäjävedestä”. Petäjävesi. <www.petajavesi.fi/kuntainfo/kuntainfo>. 5.9.2013

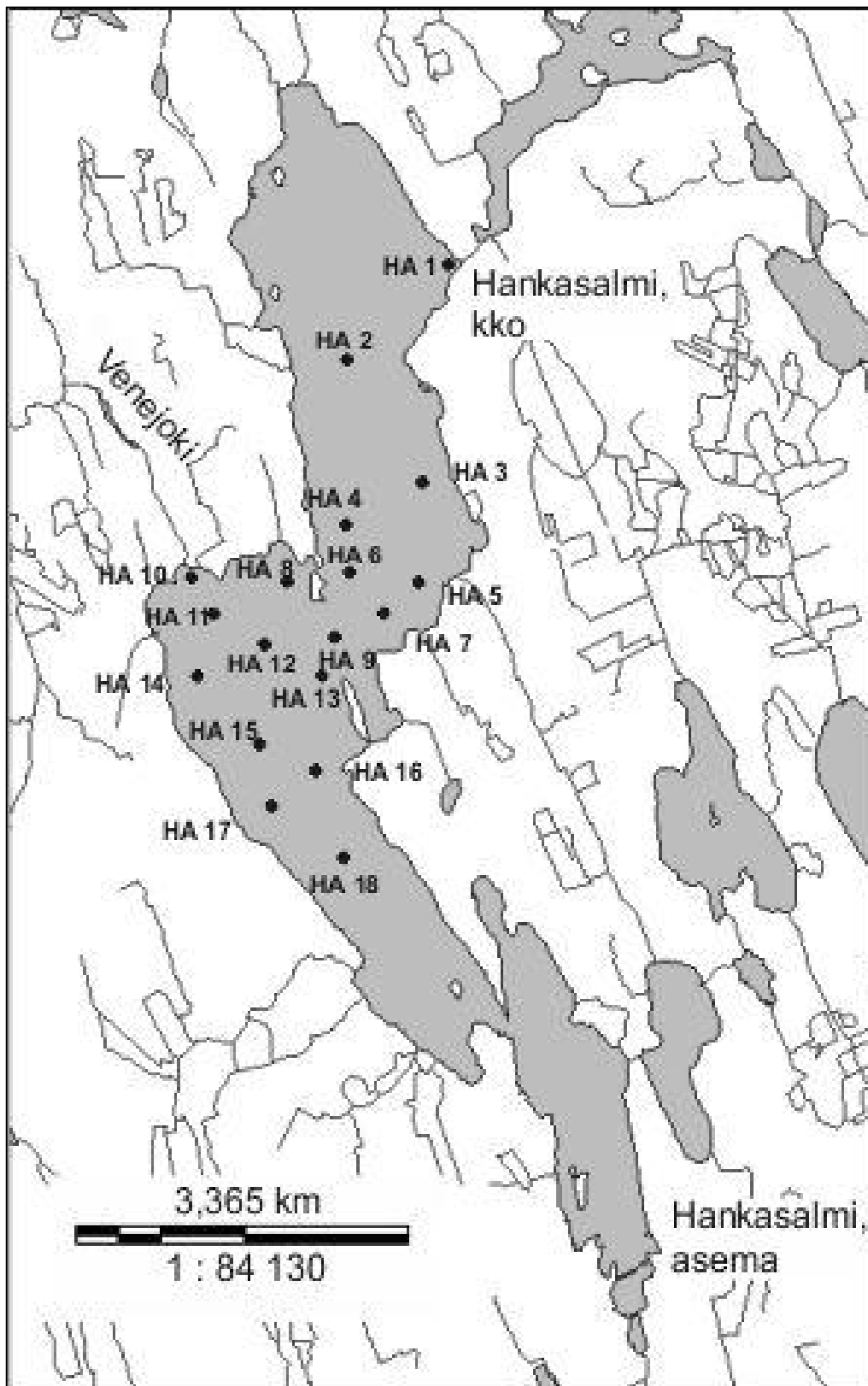
Petäjaveden vanha puhdistamo toimi yksilinjaisena aktiivilietemenetelmään perustuvana rinnakkaissaostuslaitoksena. Uusi puhdistamo on kaksilinjainen aktiivilietelaitos, jossa fosfori saostetaan kemiallisena rinnakkaissaostuksena. Viemäriverkostossa oli 2008 liittyneenä 540 kiinteistöä ja määrän odotetaan kasvavan sadalla vuoteen 2020 mennessä. (Keski-Suomen ympäristökeskus, 2009)

4.1.3 Kuuhankavesi

Kuuhankavesi (14.371) on salamanmuotoinen järvi Hankasalmen kunnassa (kuva 4.8). Mittauspisteet on nimetty kirjaimin HA ja numeroin 1 – 18. Kuuhankaveden pinta-ala on 1 800 hehtaaria, keskisyvyys 5 metriä ja syvin kohta 24 m. Merkittävin sisäänvirtaama tulee koillisesta, missä Hankavesi laskee Pellisensalmen kautta järveen. Muita tulovirtaamia ovat järven pohjoisimpaan lahteen laskeva Nuutinjoki ja eteläisimpään lahteen laskeva Tervajoki. Kuuhankavesi laskee lännessä järven keskipaikkeilla Venejoen kautta Kynsiveteen. (OIVA, 31.1.2012). Järveä on säännöstelty vuodesta 1961 alkaen Venekosken voimalaitoksen kautta tulvimisen ehkäisemiseksi ja vesivoiman tuottamiseksi. (OIVA, 28.2.2012).

Keski-Suomen ELY-keskus on tehnyt järvellä mittauksia 70-luvulta lähtien yhteensä 14 pisteessä (OIVA, 28.2.2013). Niissä sähkönjohtokyky on ollut keskimäärin $8,8 \pm 1,2$ mS/m, sameus 3 ± 2 FTU ja väriluku 60 ± 20 mgPt/l. Klorofylliä on ollut korkeimmillaan $30 \mu\text{g/l}$.

Granbergin vuonna 1998 tekemien tutkimusten perusteella Kuuhankavesi voitiin ravinnepitoisuuksien perusteella luokitella jopa karuksi, poiketen muista lähiympäristön järvistä. Vesi oli kirkasta; näkösyvyys 3,5 metriä ja väri korkeimmillaan 30 mg/l. Järvi on kuitenkin herkkä sinilevälle, mikä koettiin mm. edellisenä kesänä 1997 runsaina sinileväesiintyminä, jotka johtivat osittain uimakieltoihin. Granberg selvitti myös Kuuhankaveden minimiravinnetta ja tuli siihen tulokseen, että kesäkuussa minimitekijänä oli fosfori, kun taas loppukesällä se saattoi olla fosfori tai typpi. Asemanselkä poikkesi selvästi muuta järveä rehevämpänä. (2000, a). Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen suorittaman yhteistarkkailun perusteella Kuuhankaveden vedenlaatu on pääosin hyvä. Vedenlaatu on ollut tyydyttävä Pellisensalmessa, minne kirkonkylän puhdistamo laski ennen jätevetensä. (Keski-Suomen ympäristökeskus, 2008)



Kuva 4.8: Kuuhankaveden mittauspisteet HA 1 - HA 18 kartalla.
(Pohjakartta: Maanmittauslaitos, 2012).

Järven rannalla on kaksi samansuuruista asutuskeskusta: Hankasalmen kirkonkylä sijaitsee koillisessa Pellisensalmen kohdalla ja rautatieaseman luona järven eteläkärjessä on toinen keskus. Kummassakin on noin 1 700 asukasta ja koko Hankasalmen kunnassa oli vuoden 2010 lopulla yhteensä 5 542 asukasta⁶.

Hankasalmessa on ollut kolme jätevedenpuhdistamo, jotka on korvattu yhdellä uudella. Se aloitti toimintansa 9.8.2011, eli kaksi viikkoa ennen mittausajankohtaa. Samalla otettiin käyttöön uusi purkupaikka järven keskellä Viinikkalanselällä, minne jätevesi johdetaan 2,5 km pitkää putkea pitkin. Uusi puhdistamo on kaksilinjainen biologis-kemiallinen rinnakkaissaostuslaitos. Sille johdetaan kotitalousjätevesien lisäksi sahan ja pesuainetehtaan jätevedet. (Keski-Suomen ympäristökeskus, 2008)

4.2 Mittausvälineet

Kenttämittaukset tehtiin kesällä 2011. Kaikilla mittauskerroilla havaintopisteillä tehtiin luotaus CTD90M-laitteella. Tämän lisäksi Vanajavedeltä otettiin vesinäytteitä ja tehtiin merkkiainekoe. Keski-Suomen järvillä mitattiin näkösyvyys secchi-levyllä. Mittauspisteiden paikanmääritykseen käytettiin Garminin eTrex[®]H-navigaattoria, jonka tarkkuudeksi valmistaja antaa < 10 m. Datan käsittely tehtiin Matlab[®]-ohjelmalla.

4.2.1 CTD90M

Pääosa mittauksista tehtiin Sea & Sun Technology:n tallentavalla CTD90M –luotaimella (C = conductivity, T = temperature, D = depth, M = memory). Seuraavat tiedot luotaimen toiminnasta ja tarkkuudesta perustuvat sen 2007 julkaistuun ohjekirjaan. Luotain on 60 cm korkea ja painaa 4 kg. Antureita on kahdeksan. Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin laitteen mittaamista suureista lämpötilaa, sähkönjohtokykyä, sameutta, PAR-säteilyä, painetta ja aikaa.

CTD90M asetettiin mittaamaan jatkuvasti, jolloin arvoja kertyi kolme sekunnissa. Laite laskettiin veden pohjaan niin, että anturit ehtivät reagoida olosuhteiden muutoksiin ja nostettiin ylös. Dataa käsiteltäessä vain laitetta laskettaessa kertynyt osa huomioitiin, sillä ylöspäin vedettäessä vesi on jo voinut sekoittua luotauksesta. Vanajavedellä heinäkuussa

⁶ ”Hankasalmen kunta”. Hankasalmen kunta. <www.hankasalmi.fi/yleistietoja>. 12.6.2012.

käytössä oli kaikuluotain, jolla paikan syvyys saatiin tarkasti selville ja lasku tehtiin 0,5 m päähän pohjasta, sillä pohjamudassa tulokset tulisivat vääristymään. Muilla kerroilla tutkaa ei ollut käytettävissä, joten laite laskettiin pohjaan asti, mutta viimeiset arvot jätettiin huomioimatta. Datasta poistettiin myös ylin pintakerros, sillä laite on voinut virheellisesti mitata pinnan lähellä ilmaa aaltoilun ja veneen keinumisen vuoksi.



Kuva 4.9: Mittaamassa CTD90M-luotaimella Petäjävedellä

Painesensorin tarkkuus on 0,1 % ja siinä on lämpötilakompensointi. Syvyys (h) laskettiin paineesta hydrostaattisen paineen kaavalla

$$h = \frac{p - p_{ilma}}{\rho g} \quad (6)$$

missä p on mitattu paine, p_{ilma} vallitseva ilmanpaine, ρ veden tiheys ja g putoamiskiihtyvyys. Ilmanpaineena käytettiin saman mittalaitteen sinä päivänä ilmassa ollessaan antamaa keskimääräistä painetta. Veden tiheytenä käytettiin 20 asteisen puhtaan veden tiheyttä $0,9982 \text{ g/cm}^3$ ja putoamiskiihtyvyytenä $9,82 \text{ m/s}^2$.

Lämpötilaa mittasi Pt100 -vastuslämpötila-anturi, jonka tarkkuus on $0,005 \text{ }^\circ\text{C}$ ja mitta-alue $-2 \text{ }^\circ\text{C}$:sta $35 \text{ }^\circ\text{C}$:seen, eli anturi toimii hyvin suomalaisissa kesäolosuhteissa. Vasteaika on noin 0,15 sekuntia.

Johtokykymittaus tapahtui 7 elektrodisella kennolla, joka toimii 65 mS/cm asti. Tarkkuus johtokyvyille on 1 mS/m ja vasteaika on 0,1 sekuntia (virtausnopeudella $0,5 \text{ m/s}$).

Sameuden mittaava sensori lähettää veteen infrapunavaloa ja mittaa siihen partikkeleista siroavaa valon. Se antaa tuloksen FTU-yksiköissä.

PAR-säteilyä mittaa laitteen kanteen kiinnitetty LI-193SA-sensori. Se mittaa käytännössä näkyvän valon aallonpituuden fotonien törmäyksiä itseensä, jolloin valon määrä saadaan mooleina fotoneja sekuntia ja neliometriä kohden ($\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), joka ilmaistaan tuloksissa mikroeinsteineina, μE ($1 \text{ E} = 1 \text{ mol fotoneja}$), sillä sensorin pinta-ala ja aika ovat vakioita. Vasteaika riippuu olosuhteista ja kalibrointitarkkuus on 5 %. Koska PAR-sensori sijaitsee kaikista muista poiketen mittalaitteen yläosassa, piti tämä etäisyys huomioida syvyyteen verrattaessa.

4.2.2 Vesinäytteet

Heinäkuussa Vanajavedellä otettiin mittausten yhteydessä kaksi vesinäytettä joka pisteeltä, ensimmäinen metri pinnan alapuolelta ja toinen metri pohjan yläpuolelta. Näytteet analysoitiin Lammin biologisen aseman laboratoriossa standardimenetelmin. Niistä määritettiin kokonaistyyppi ja –fosfori, ammonium-, nitriitti- ja nitraattityppi, fosfaattifosfori, väri ja pintanäytteistä myös klorofylli-a.

4.2.3 Merkkiainekoe

Periaatteeltaan yksinkertaisin keino selvittää aineiden kulkeutumista, on laittaa veteen merkkiainetta ja seurata sitä. Tällainen koe suoritettiin Vanajavedellä elokuussa 2011. Merkkiaineena käytettiin rodamiini WT –väriainetta ($\text{C}_{29}\text{H}_{29}\text{N}_2\text{O}_5 \cdot \text{Cl} \cdot 2\text{Na}$). Aine on voimakkaasti fluoresoivaa, eli sen määrän voi mitata fluorometrillä. Veteen liuenneena aine on punaviolettia ja näkyy suurina konsentraatioina myös paljaalla silmällä.

Rodamiinia sekoitettiin veteen 4 dl jäteveden purkuojan suulla ja sen leviämistä seurattiin tiheällä havaintopisteverkostolla luotauksin. Rodamiini kaadettiin virtaan kello 13:20 ja mittaukset tehtiin ilta kuuteen mennessä. Ennen merkkiaineen leviämistä veden luontainen fluorisointi oli mitattu muutamassa pisteessä ja tämä tausta-arvo vähennettiin tuloksista. Luotaukset tehtiin YSI 6600 V2 –sondilla, joka mittasi jatkuvasti tallentaen arvoja kerran sekunnissa. Laite mittaa rodamiinipitoisuuden nolasta 200 $\mu\text{g/l}$ asti tarkkuudella, joka on joko $\pm 5 \%$ lukemasta tai 1 $\mu\text{g/l}$, kummalla tavalla saadaan suurempi epätarkkuus. (YSI Incorporated, 2006)

5 TULOKSET

5.1 Vanajavesi

Vanajaveden mittaukset voi jakaa kolmeen ryhmään: kapeikon mittaukset (LE 1 – 14) 20.7.2011, saman päivän mittaukset Vanajanselällä (VAN 2 jne.), sekä kuukautta myöhemmin Rautamonojan purkualueella tehdyt mittaukset (OJA, P 2 jne.). Pisteiden koordinaatit ovat liitteessä 1 ja sijainnit esitetty kartoilla kuvissa 4.1, 4.2 ja 4.5.

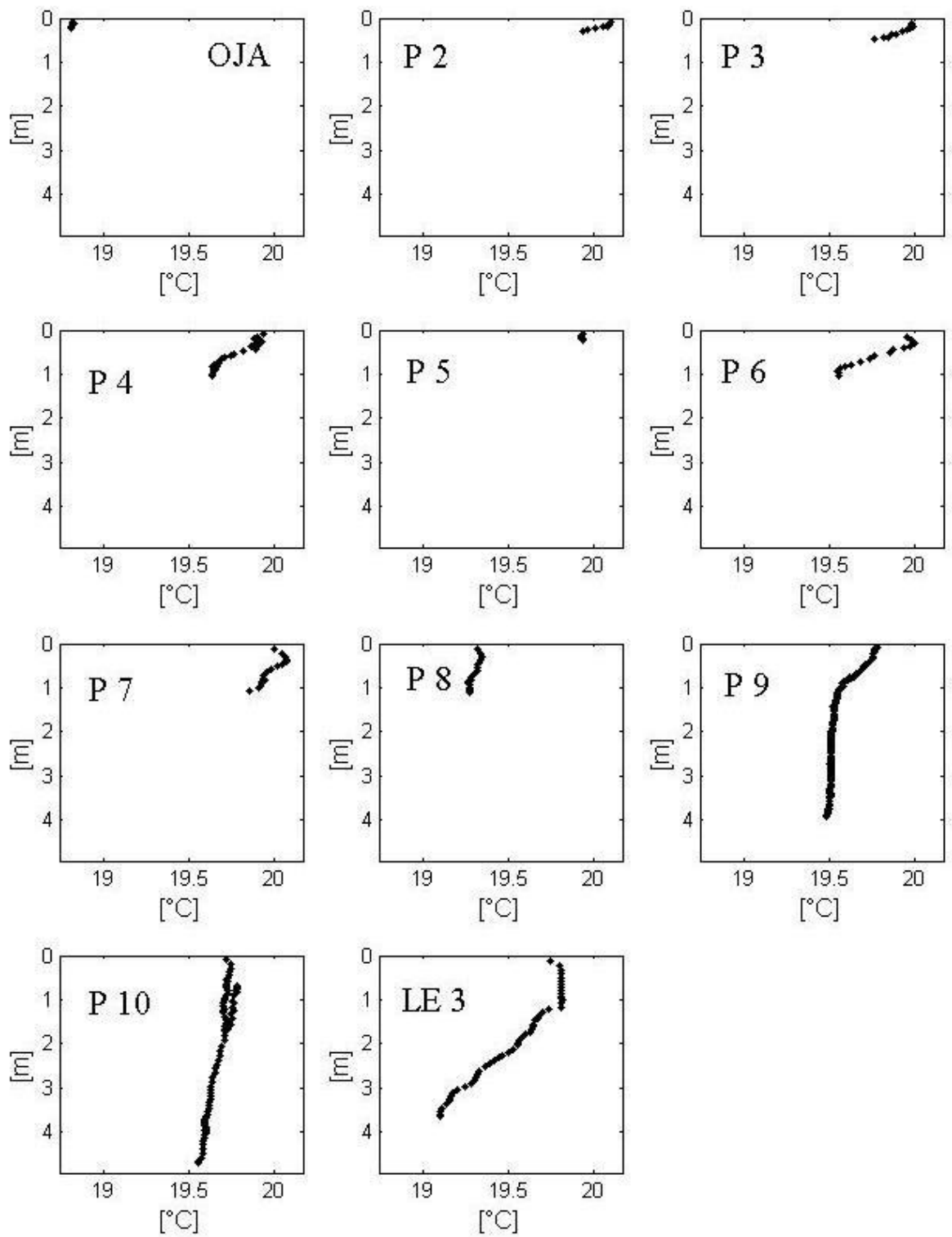
5.1.1 Lämpötila Vanajavedellä

16.8.2011 ilman lämpötila oli 20 °C. Rautamonojan purkualueen vesirungon lämpötilaprofiilit on esitetty kuvassa 5.1. Ojavesi oli asteen viileämpää (18,8 °C) kuin itse Vanajavesi, missä lämpötila oli 19 – 20 °C, mutta erot olivat pieniä. Alue on matala eikä vesipatsaan kerrostuneisuutta havaita.

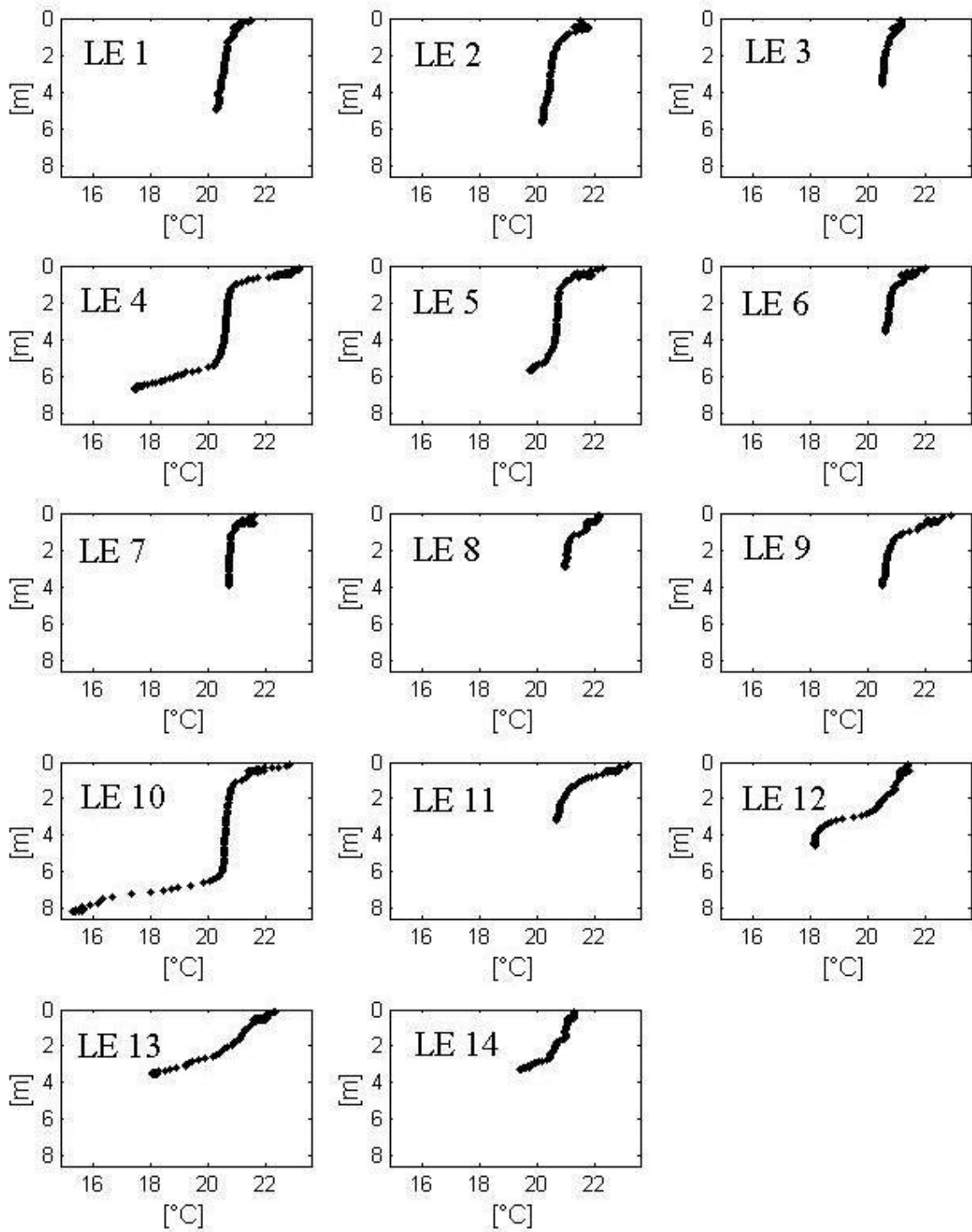
20.7.2011 Vanajavedellä tehdyt luotaukset ajoittuivat kesän lämpötilamaksimiin. Lämpötilakerrostuneisuus oli havaittavissa usealla mittauspisteellä. Päällysveden lämpötila oli tasainen, kapeikossa keskimäärin 20,8 °C ja Vanajanselällä asteen alhaisempi. Aivan pintavedessä oli muodostunut sekundäärinen termokliini, jossa lämpötila nousi jyrkästi melkein kaikilla pisteillä jopa 24,0 asteeseen.

Kapeikon lämpötilaprofiilit on esitetty kuvassa 5.2. Vesi oli pohjaan asti päällysvettä kaikilla muilla pisteillä paitsi LE 4, 5, 10 ja LE 12 - 14. Näistä kolmella ensimmäisellä erottui termokliini 5-6 metrin syvyydeltä alkaen ja lämpötila laski jopa 15,3 asteeseen (LE 10). Sen sijaan Vanajanselkää lähimmillä pisteillä ei ollut ollenkaan tasalämpöistä sekoittunutta vesikerrosta, vaan lämpötila laski lähes lineaarisesti syvyyden mukaan. Myöskään lämmennyttä pintavettä ei näillä pisteillä ollut.

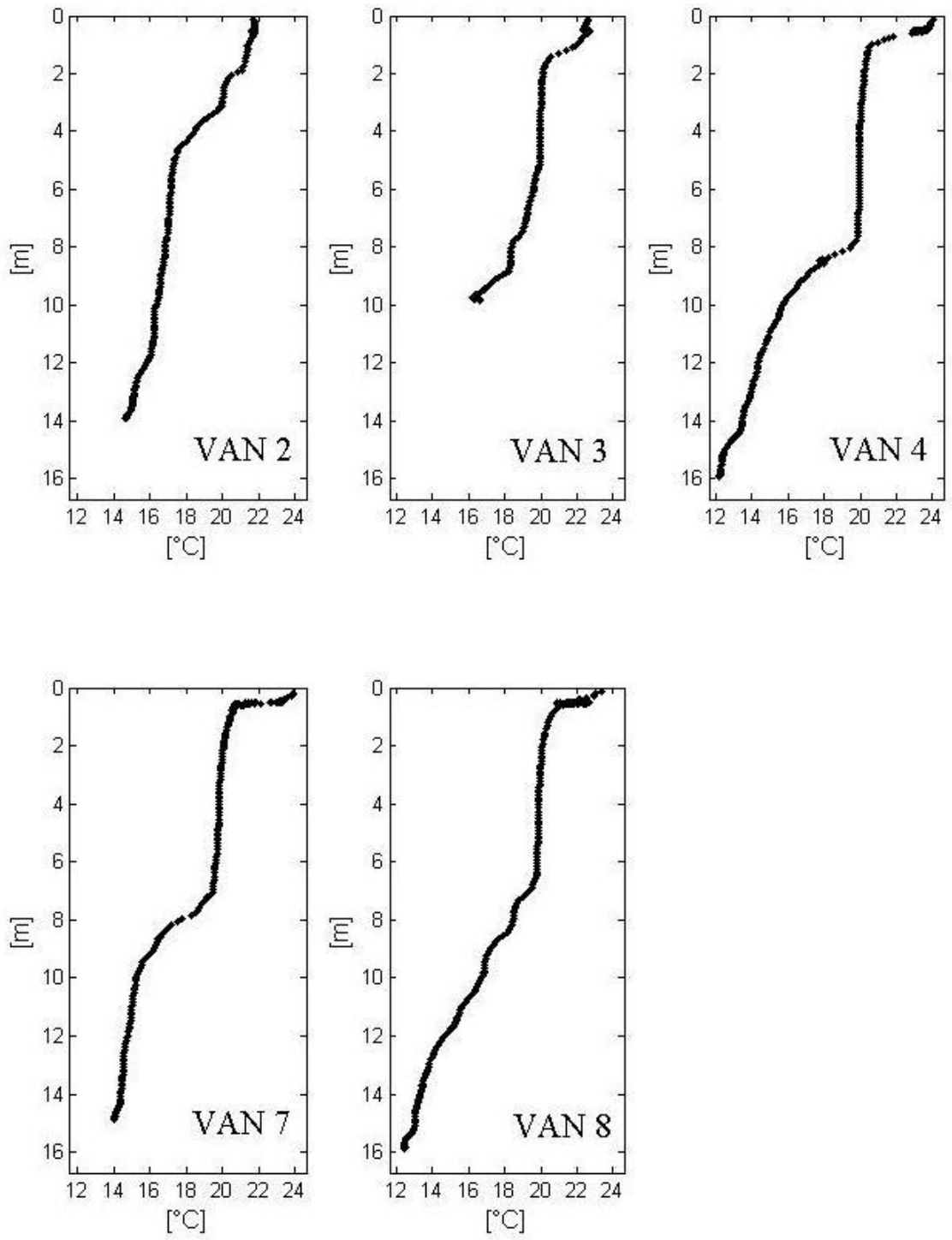
Vanajanselällä päällysvesi ja termokliini erottuivat selvästi (kuva 5.3). Pisteellä VAN 2 päällysvettä on 2 metrin syvyydelle ja se on lämpötilaltaan keskimäärin $22 \pm 0,16$ °C. Tämän alapuolella termokliini jatkuu pohjaan asti ja lämpötila laskee aina 14,6 asteeseen. Muilla pisteillä päällysvettä on syvemmälle ja termokliini alkaa vasta 6 – 8 metrissä. Aivan pintakerroksessa lämpötila nousee jyrkästi jopa 24,0 °C:seen, kun päällysveden lämpötila on alempana tasaisesti 20,0 °C. Termokliini jatkuu pohjaan saakka.



Kuva 5.1: Lämpötila [°C] Rautamonojassa (OJA) sekä sen purkualueella Vanajavedessä 16.8.2011.



Kuva 5.2: Lämpötilaprofiilit [°C] Vanajaveden kapeikossa 20.7.2011.

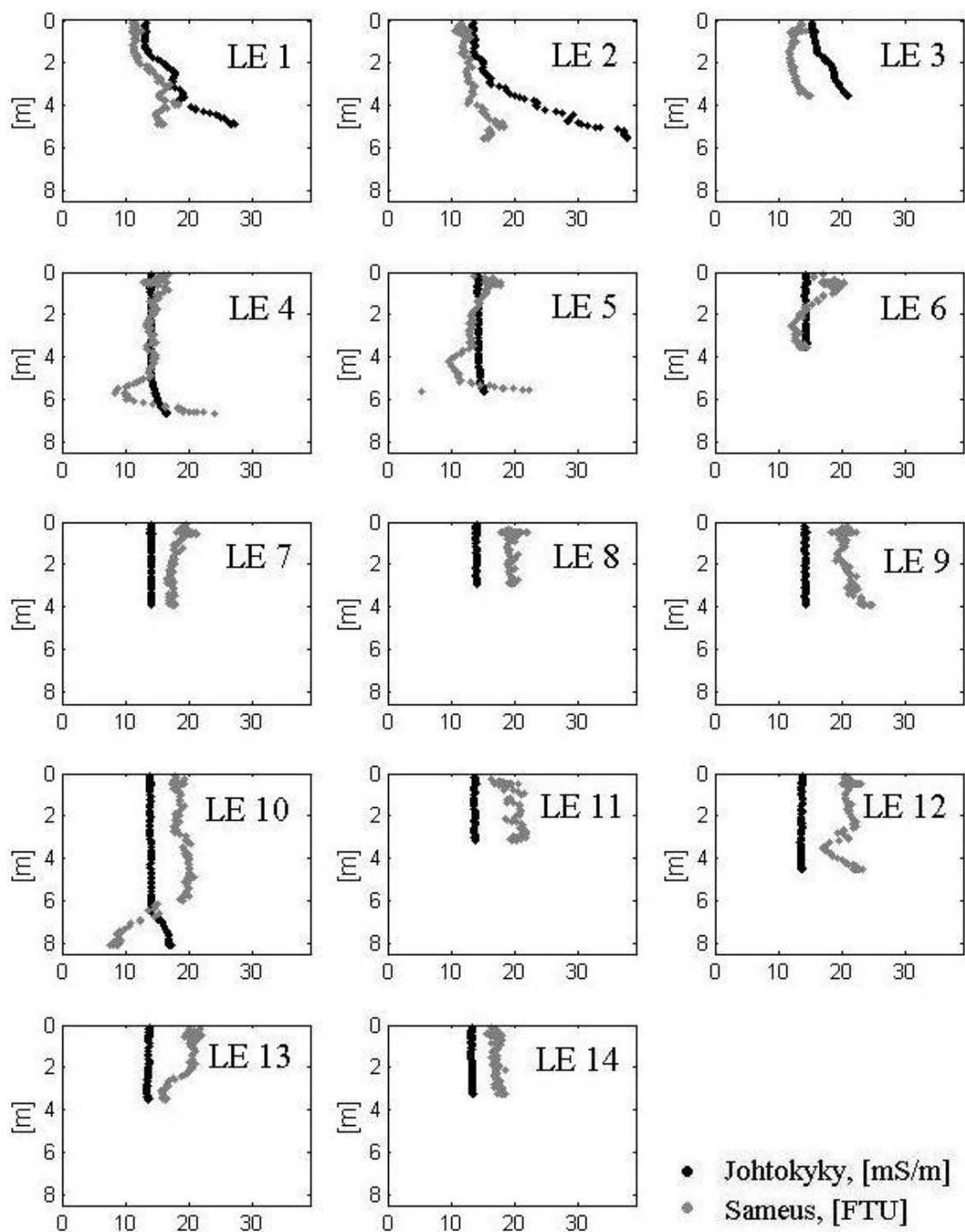


Kuva 5.3: Lämpötilaprofiilit [°C] Vanajanselällä 20.7.2011.

5.1.2 Sähkönjohtokyky ja sameus Vanajavedellä

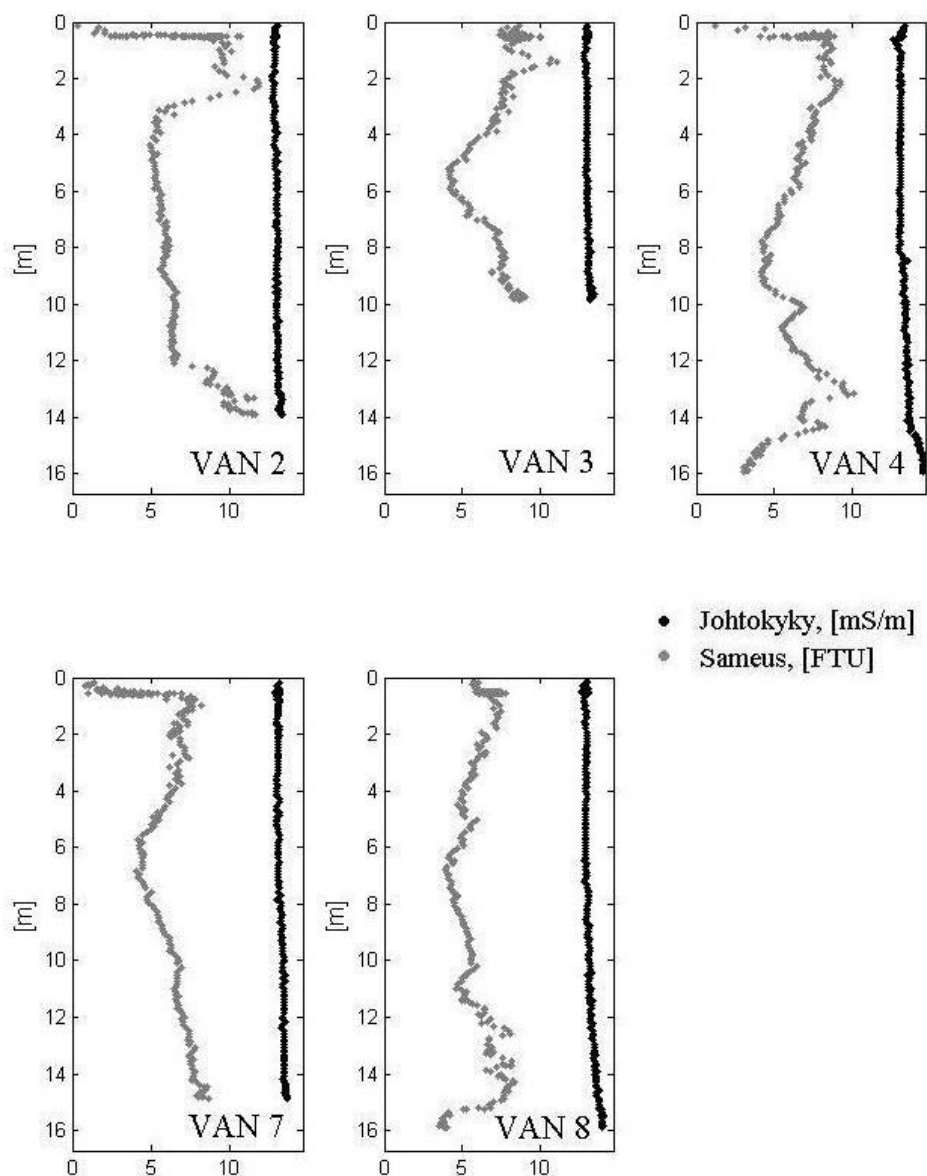
Sähkönjohtokyky oli verrattain korkea kapeikon kolmella ensimmäisellä pisteellä (kuva 5.4). Ilman näitä pisteitä kapeikon johtokyky oli tasainen, keskimäärin 14 mS/m. Myös pisteiden LE 1 ja 2 pintaveden johtokyky oli tätä suuruusluokkaa, mutta alkoi kasvaa jyrkästi 1,5 metrin (LE 1) ja 2,0 metrin (LE 2) syvyydellä ollen korkeimmillaan pohjalla 27 mS/m ja 38 mS/m. Pisteiden LE 3 pinnalla johtokyky oli myös alhainen, 15 mS/m, mutta kasvoi lähes lineaarisesti syvyyden mukaan pinnasta pohjaan ollen korkeimmillaan 21 mS/m. Pisteillä LE 4 ja 10 johtokyky nousi äkkinäisesti aivan pohjalla 2 – 3 mS/m.

Sameus vaihteli enemmän. Vertikaalisti tasaisimman sameaa, keskimäärin 17 FTU oli pisteillä LE 7 – 11 ja LE 14 lukuun ottamatta LE 10 pohjimmaisista yli 6 metrin mittauksista. Pisteillä LE 1 ja 2 sameus kasvaa 11:stä 18:aan FTU:hun syvyyden suhteen, mutta laskee lähellä pohjaa. LE 3:lla sameus on korkein pinnalla ja pohjalla. LE 4:llä ja 5:llä sameus oli pitkälle noin 15 FTU:ta, mutta pohjaa lähestyttäessä laskee ja aivan pohjassa nousee jälleen. Muilla pisteillä vaihtelu oli pienempää. Jätevettä laskevassa Rautamonjassa johtokyky oli 86 mS/m 16.8 tehdyissä mittauksissa ennen merkkiaineen lisäämistä.



Kuva 5.4: Sähkönjohtokyky- [mS/m] ja sameusprofiilit [FTU] Vanajaveden kapeikossa 20.7.2011.

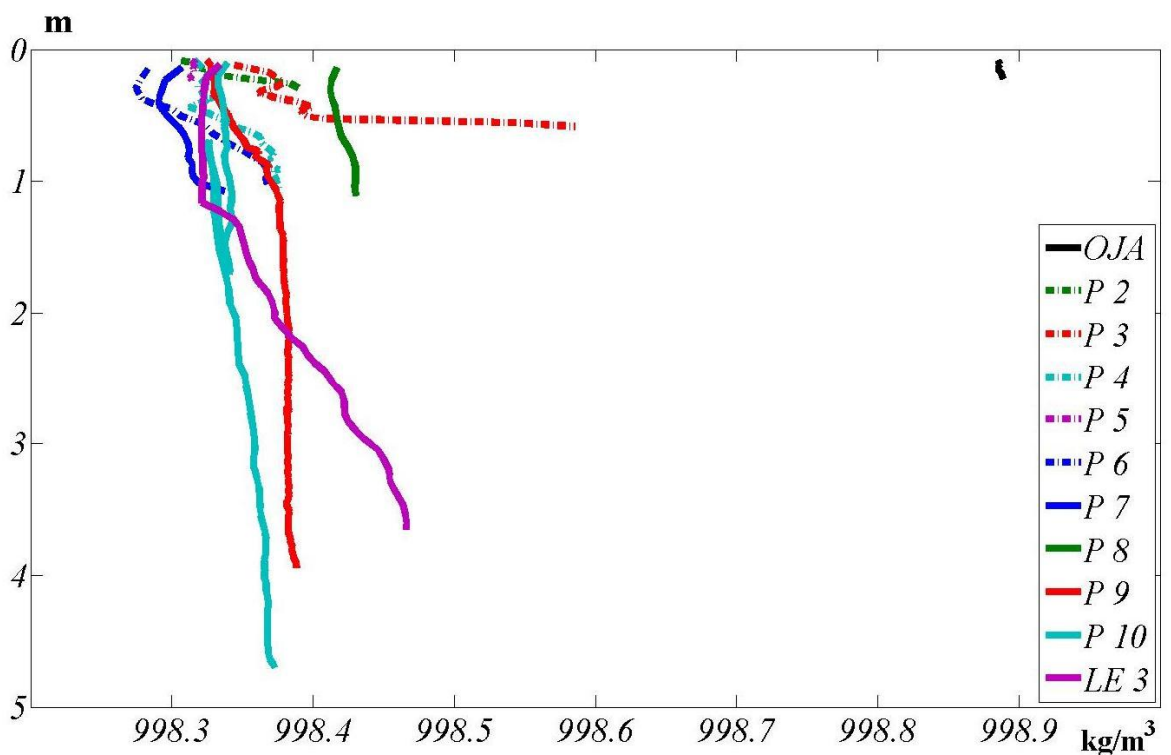
Vanajanselän sähkönjohtokyky ja sameus on esitetty kuvassa 5.5. Pisteillä VAN 2, 3 ja 7 johtokyky oli tasaisesti 13 mS/m pinnasta pohjaan. Muilla kahdella se oli suurilta osin sama, mutta nousee lähellä pohjaa noin yhden yksikön verran. Sameudessa vaihtelua oli enemmän myös Vanajanselällä. Keskimäärin se oli 7 FTU. Korkeimmat sameudet on mitattu heti pinnan alapuolelta noin 3 metrin syvyydelle ja läheltä pohjaa. Selkeimmin eri sameuden kerrokset näkyvät VAN 2:lla, missä 2,3 m syvyydellä sameus on jopa 12 FTU, keskellä 3 – 12 metrissä alle 7 FTU ja pohjalla jälleen yli 11 FTU. Muillakin pisteillä syvyysprofiili on samankaltainen, paitsi että VAN 4:llä ja VAN 8:lla sameus laskee vielä aivan pohjalla.



Kuva 5.5: Sähkönjohtokyky [mS/m] ja sameus [FTU] Vanajanselällä 20.7.7011.

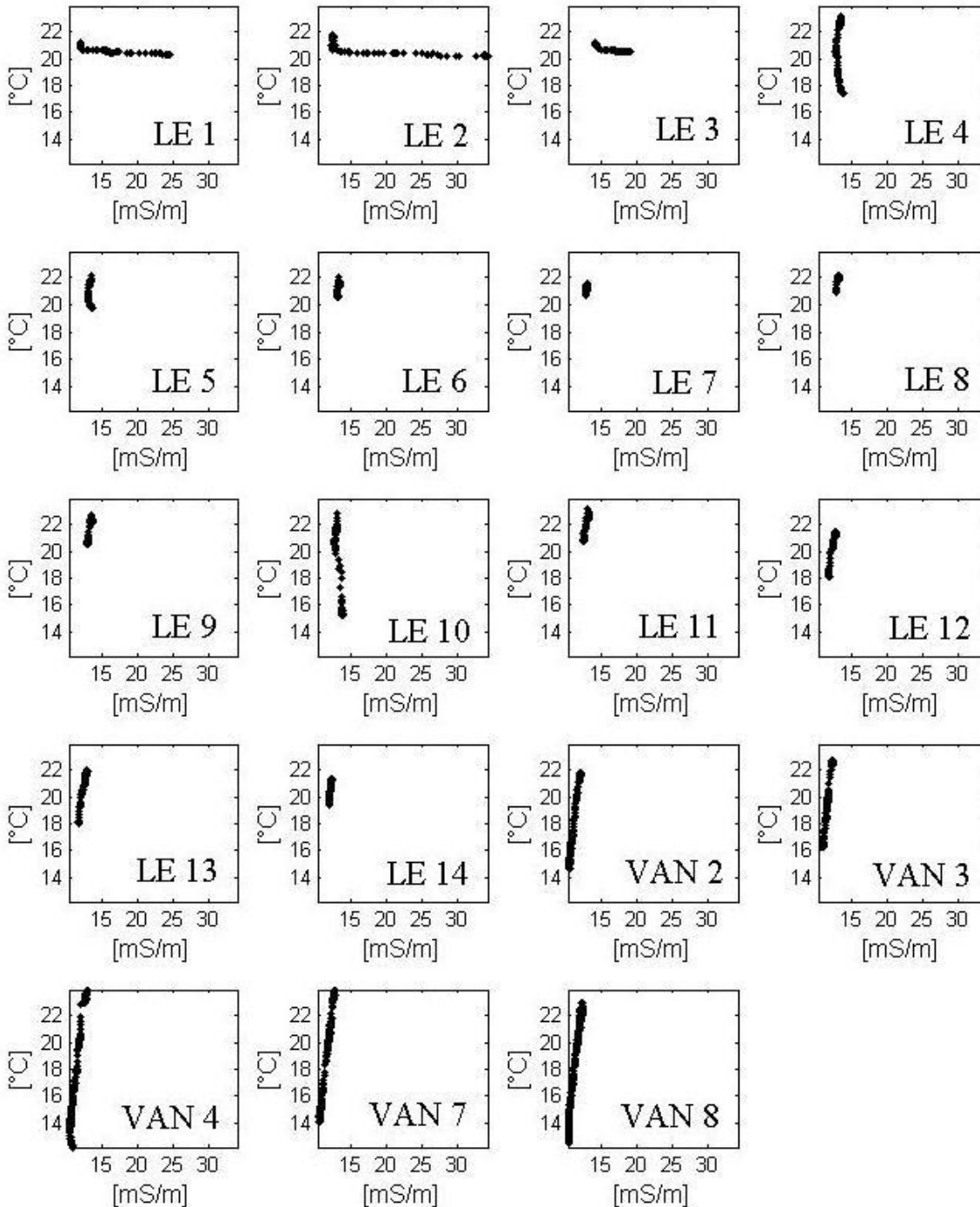
5.1.3 Tiheys Vanajavedellä

Veden tiheys laskettiin kaikille Vanajaveden pisteille lämpötila- ja johtokyky-mittausten perusteella. Rautamonojassa tiheys oli elokuussa $998,89 \text{ kg/m}^3$, mikä oli paljon korkeampi kuin Vanajavedessä sen purkualueella ($998,27 - 998,58 \text{ kg/m}^3$). Tiheydet on esitetty syvyyden funktioina kuvassa 5.6. Tiheyden kasvu on jyrkkä pisteillä P 2 – 6, muilla melkein olematonta. Vanajaveden heinäkuun mittauksissa tiheys oli suurilta osin alhaisempi kuin elokuussa Rautamonojassa. Vain syvimmillä paikoilla laskettiin tätä suurempia tiheyksiä. Tiheys kasvoi maltillisesti pohjaa kohden.



Kuva 5.6: Veden tiheys [kg/m^3] Rautamonojassa ja sen läheisyydessä Vanajavedellä 16.8.2011. Rautamonojan lyhyt käyrä oikealla yläkulmassa muita tiheämpänä.

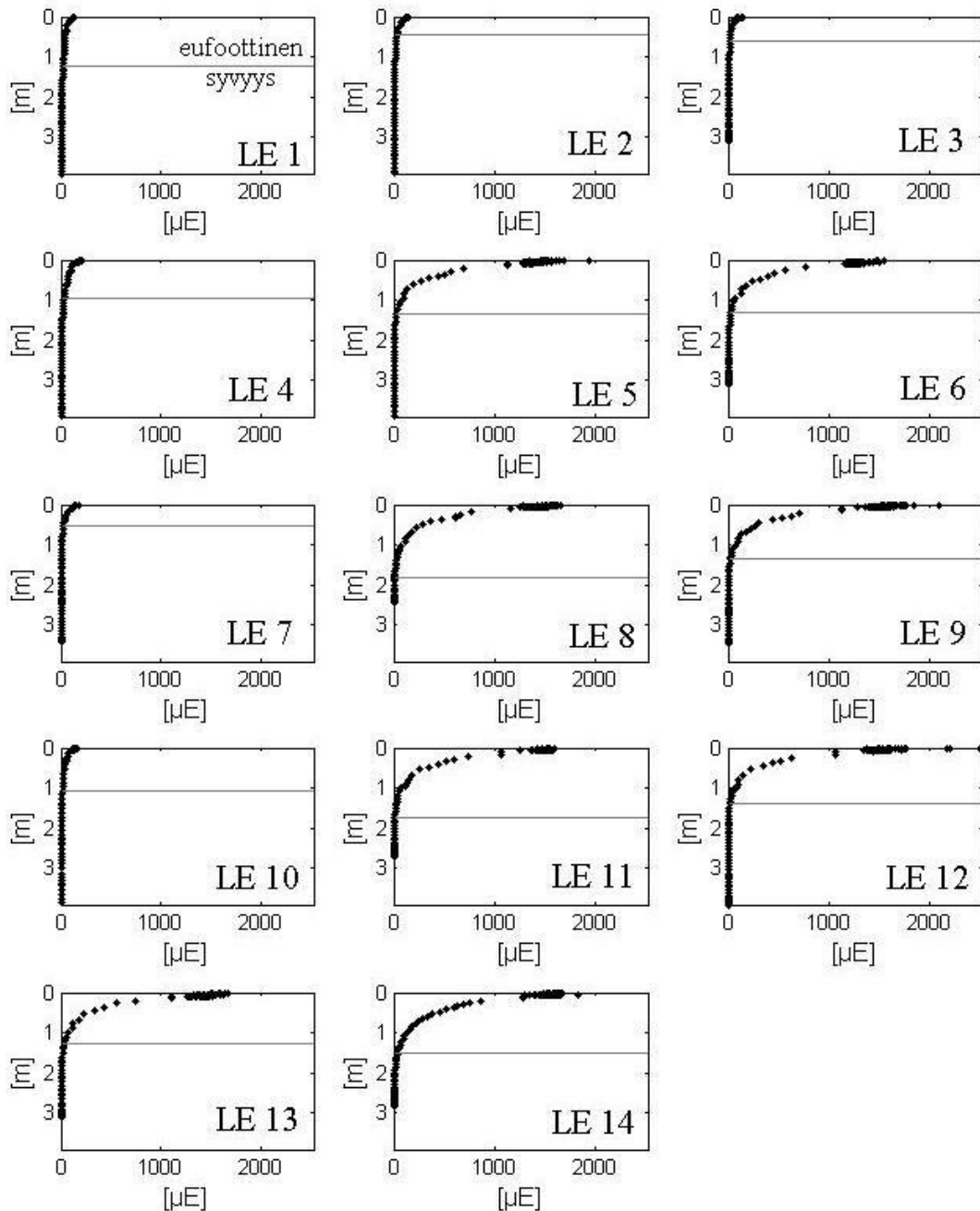
Kuvassa 5.7 on piirretty lämpötila-johtokyky -kuvaajat Vanajavedeltä heinäkuussa. Kolmella ensimmäisellä mittauspaiikalla pistejoukko asettuu vaakasuoraan, muutoin pystysuoraan.



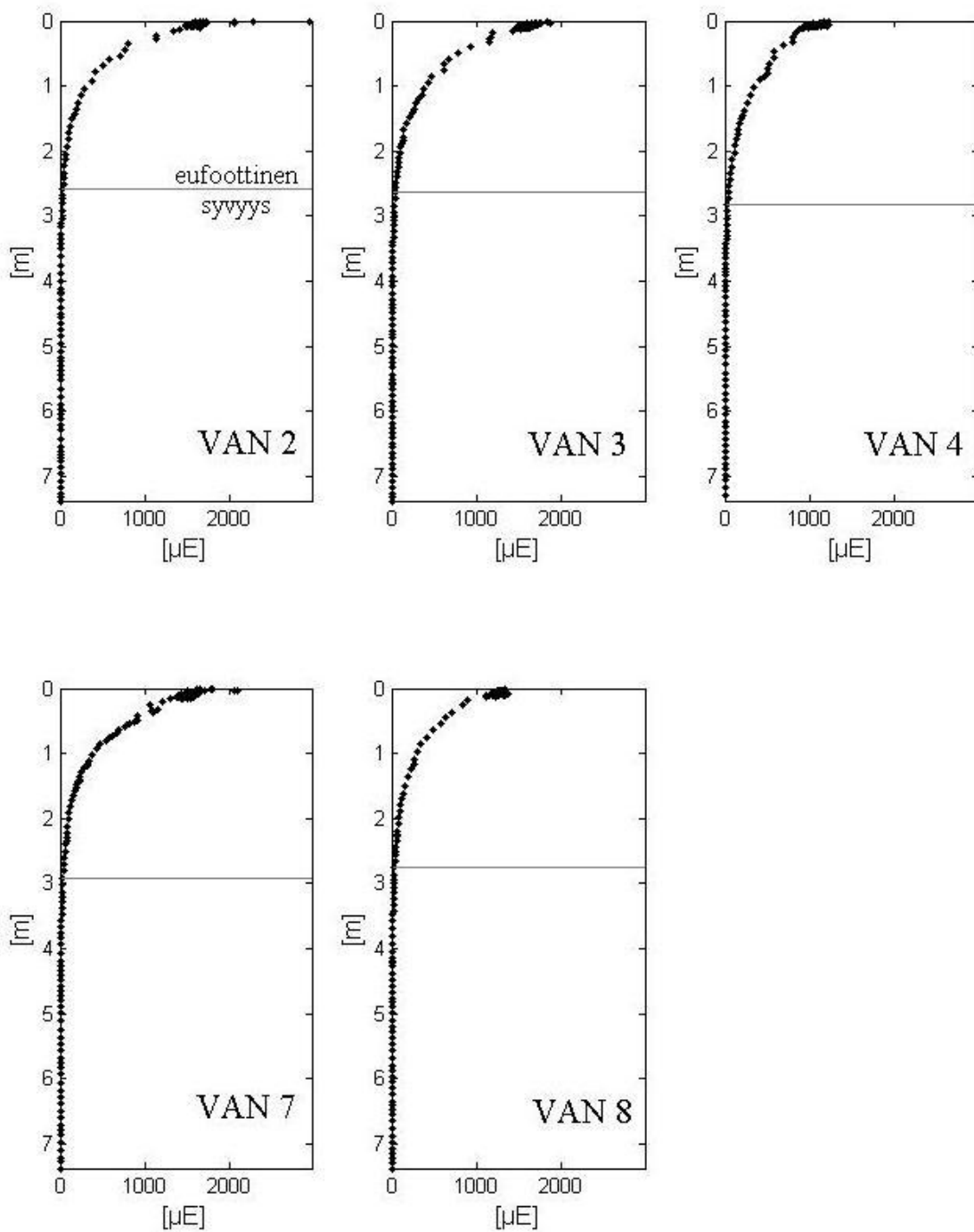
Kuva 5.7: Lämpötilan ja sähkönjohtokyvyn suhde Vanajavedellä 20.7.2011. Pystyakselilla lämpötila [°C] ja vaaka-akselilla sähkönjohtokyky [mS/m]

5.1.4 Valaistusolot Vanajavedellä

Kapeikon PAR-profiilien perusteella laskettu eufoottinen syvyys oli $1,2 \pm 0,4$ m. Vanajanselällä vastaava syvyys oli suurempi, $2,7 \pm 0,1$ m. PAR-profiilit on esitetty kuvissa 5.8 ja 5.9.



Kuva 5.8: PAR-säteily [μE] Vanajaveden kapeikossa 20.7.2011. Kuvaajat on pürretty vain 4 metrin syvyydelle, sillä alempana PAR-säteilyn määrä on edelleen nolla. Harmaa vaakaviiva on kyseiselle pisteelle laskettu eufoottinen syvyys.



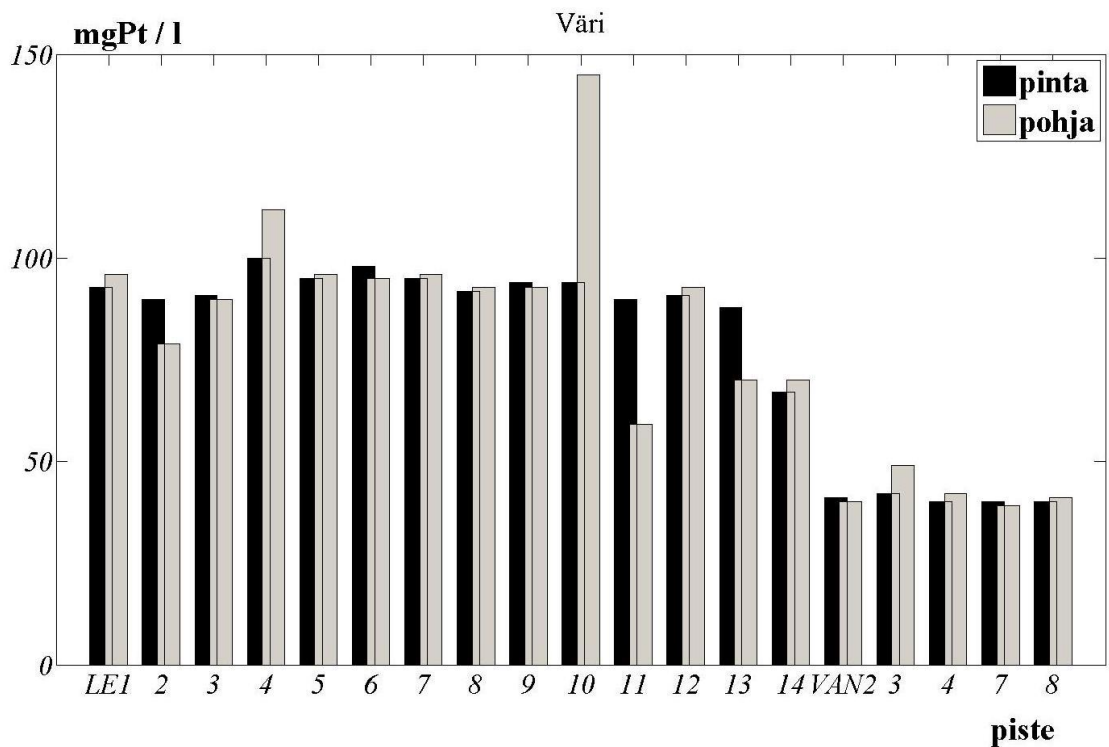
Kuva 5.9: PAR-säteily [μE] Vanajanselällä 20.7.2011. Kuvaajat on piirretty vain 7 metrin syvyydelle asti, sillä pohjaa kohden PAR-säteilyn määrä on edelleen nolla. Harmaa viiva on kyseiselle pisteelle laskettu eufoottinen syvyys.

5.1.5 Vesinäytteet Vanajavedeltä

Seuraavissa kuvaajissa on heinäkuussa Vanajavedeltä otettujen vesinäytteiden tulokset. Mustat palkit kuvaavat pinnan- ja harmaat pohjanläheistä vesikerrosta.

Väri

Kapeikon näytteistä suurimmalla osalla väri oli melko tasainen, keskimäärin 94 mgPt/l (kuva 5.10). Vanajanselällä väriarvo oli alhaisempi, keskimäärin 41 mgPt/l. Pisteiden LE 14 väri oli tältä väliltä, 69 mgPt/l. Poikkeavan matala väriluku oli pisteillä LE 2, 11 ja 13 ja korkea pisteillä LE 4 ja 10 pohjassa. LE 10 väriluku oli erityisen korkea, 145 mgPt/l.



Kuva 5.10: Väri [mgPt/l] Vanajavedellä 20.7.2011. Vaaka-akselilla on pisteen numero.

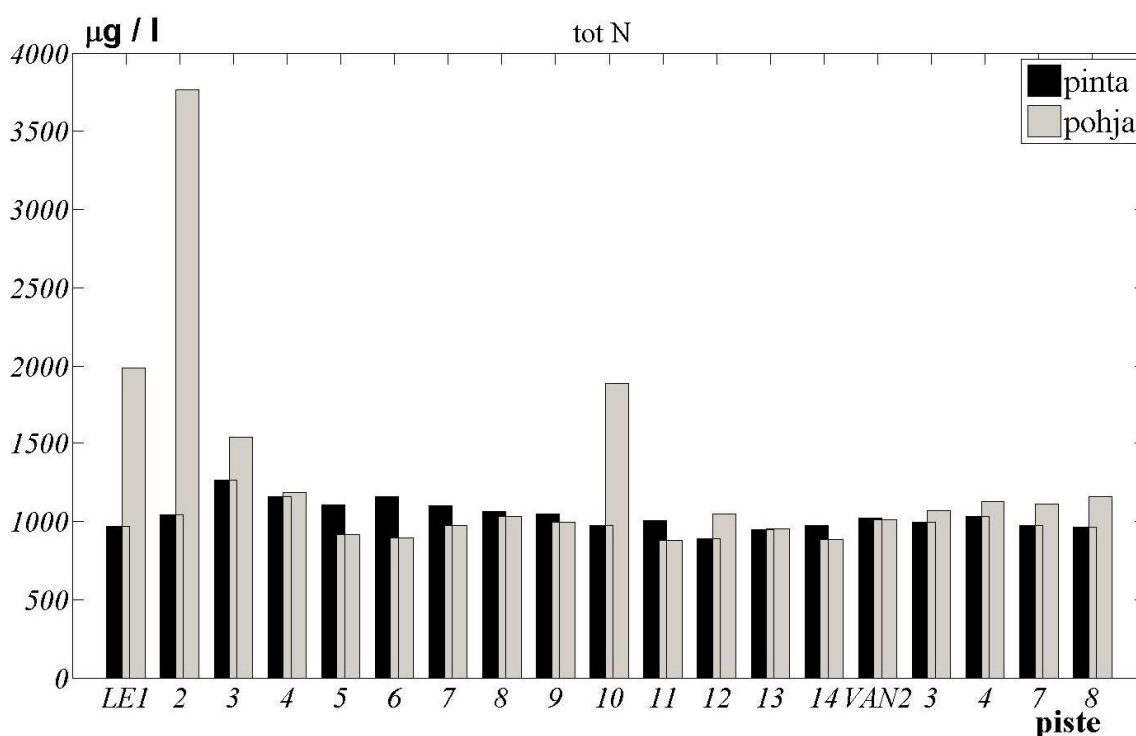
Typpi

Seuraavissa kuvissa (5.11 - 5.13) ovat Vanajavedellä mitatut kokonais-, ammonium- sekä nitriitti- ja nitraattityppipitoisuudet. Kokonaistyyppipitoisuus oli pintanäytteissä ja suurimmassa osassa pohjanäytteitä melko tasainen. Ilman kolmen ensimmäisen pisteen ja syvänteen LE 10 pohjamittauksia, pitoisuus oli keskimäärin $1\,027 \pm 94$ µg/l. Suurin arvo on LE 2:n pohjassa, 3 765 µg/l ja myös läheisimmät pohjanäytteet olivat erityisen tyyppipitoisia. Pitoisuus oli korkea myös pisteen LE 10 syvänteen pohjalla, 1 881 µg/l.

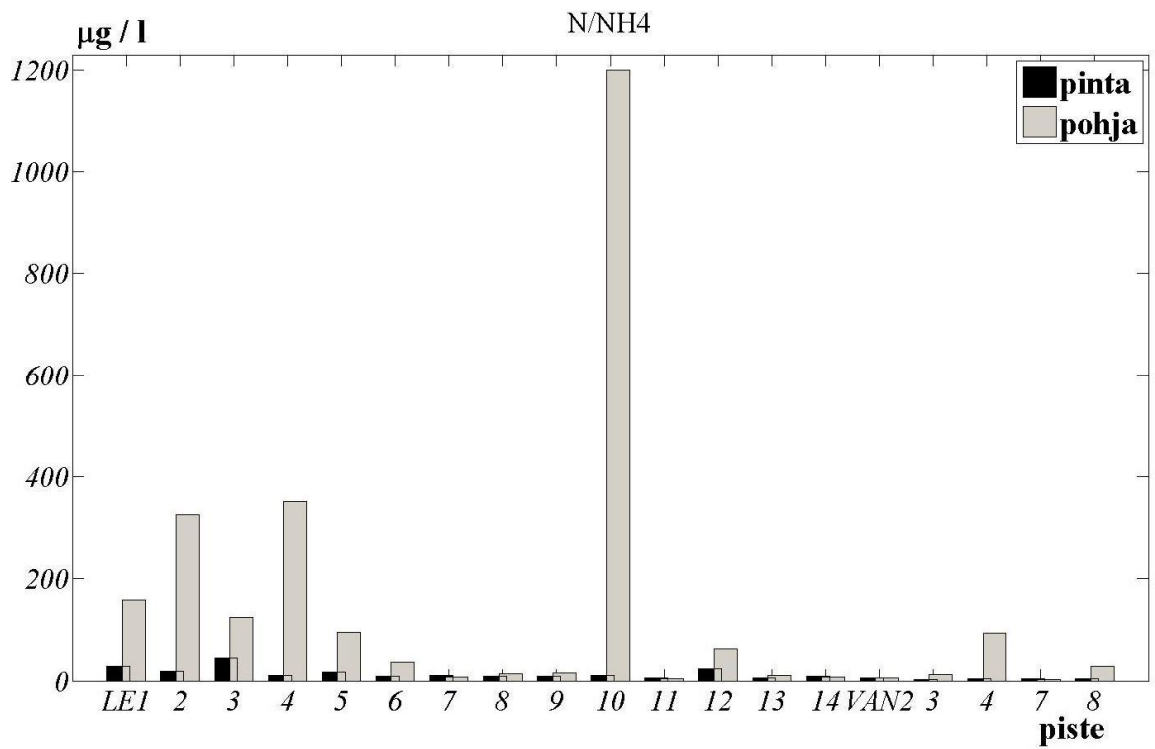
Ammoniumpitoisuus oli pintanäytteissä melko alhainen pohjaan verrattuna. Suurimmalla osalla pintanäytteistä pitoisuus oli 3 - 12 µg/l, mutta pisteillä LE 1 – 3, LE 5 ja LE 12 se oli tätä paljon korkeampi. Eniten pintanäytteessä oli ammoniumia LE 3:lla (44 µg/l).

Suurimmalla osalla pohjanäytteistä ammoniumpitoisuus oli pintanäytteiden luokkaa, 3 – 15 µg/l. Korkein pitoisuus oli LE 10 pohjassa 1200 µg/l, eli 140-kertainen muihin verrattuna. Seuraavaksi korkeimmat pitoisuudet olivat LE 2:lla ja 4:llä (326 ja 351 µg/l). Pitoisuus oli yli 100 µg/l pisteillä LE 1 ja LE 3, yli 90 µg/l LE 5:llä ja VAN 4:llä ja yli 25 µg/l LE 6:lla, LE 12:lla ja VAN 8:lla.

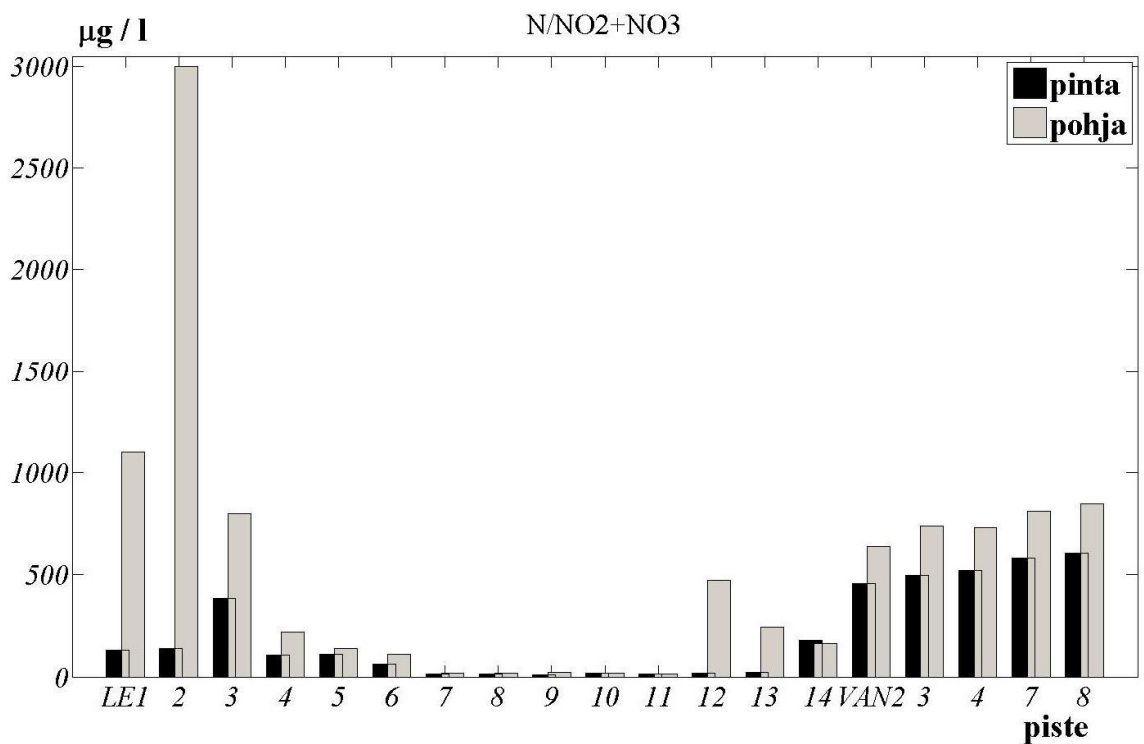
Myös nitriitti- ja nitraattipitoisuus on pohjalla pintaa korkeampi ja vaihtelevampi. Suurin pitoisuus on LE 2:n pohjan 3 000 µg/l ja myös viereisten pisteiden pitoisuudet ovat korkeat. Pintanäytteissäkin ensimmäisten pisteiden arvot ovat yli 100 µg/l, LE 3:lla jopa yli 300 µg/l. Tästä alavirtaan pitoisuus on alle 25 µg/l lähes Vanajanselälle asti. Vanajanselällä nitriitti- ja nitraattipitoisuus on pinnassa keskimäärin 532 ± 61 µg/l ja pohjassa 753 ± 82 µg/l.



Kuva 5.11: Kokonaistyyppipitoisuus [µg/l] Vanajavedellä 20.7.2011



Kuva 5.12: Ammoniumtyyppipitoisuus [$\mu\text{g/l}$] Vanajavedellä 20.7.2011.

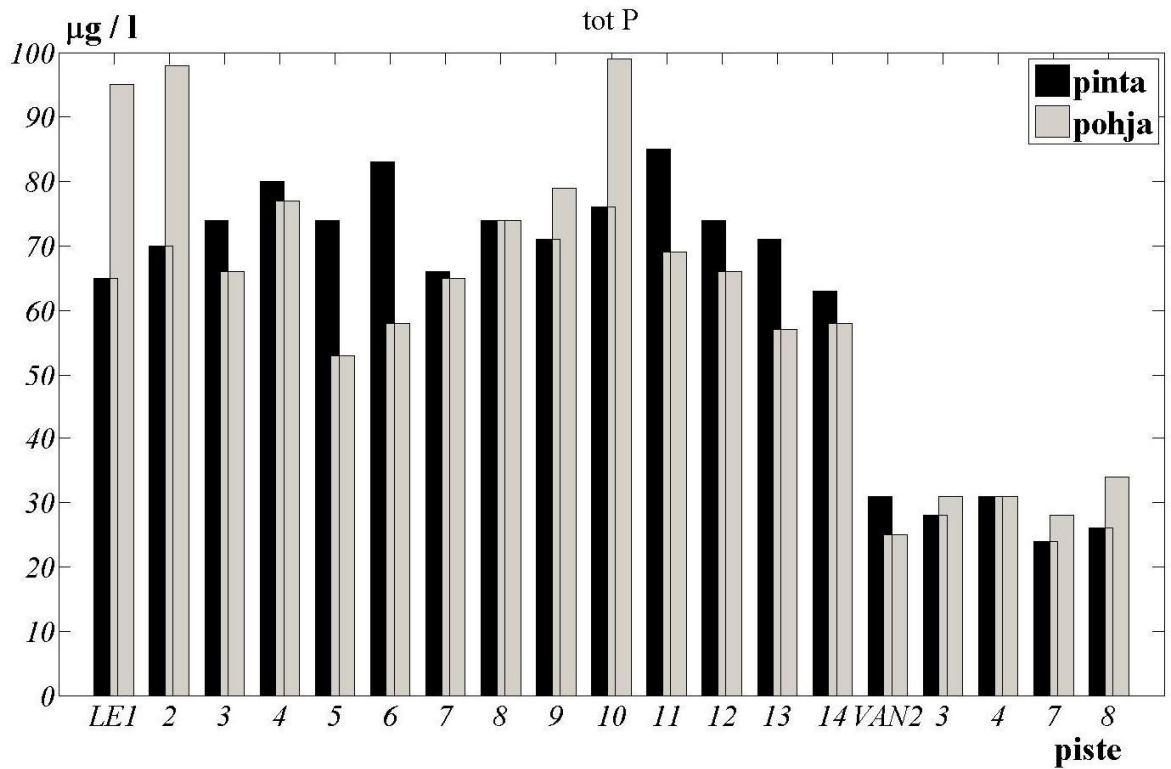


Kuva 5.13: Nitriitti- ja nitraattityyppipitoisuudet [$\mu\text{g/l}$] Vanajavedellä 20.7.2011.

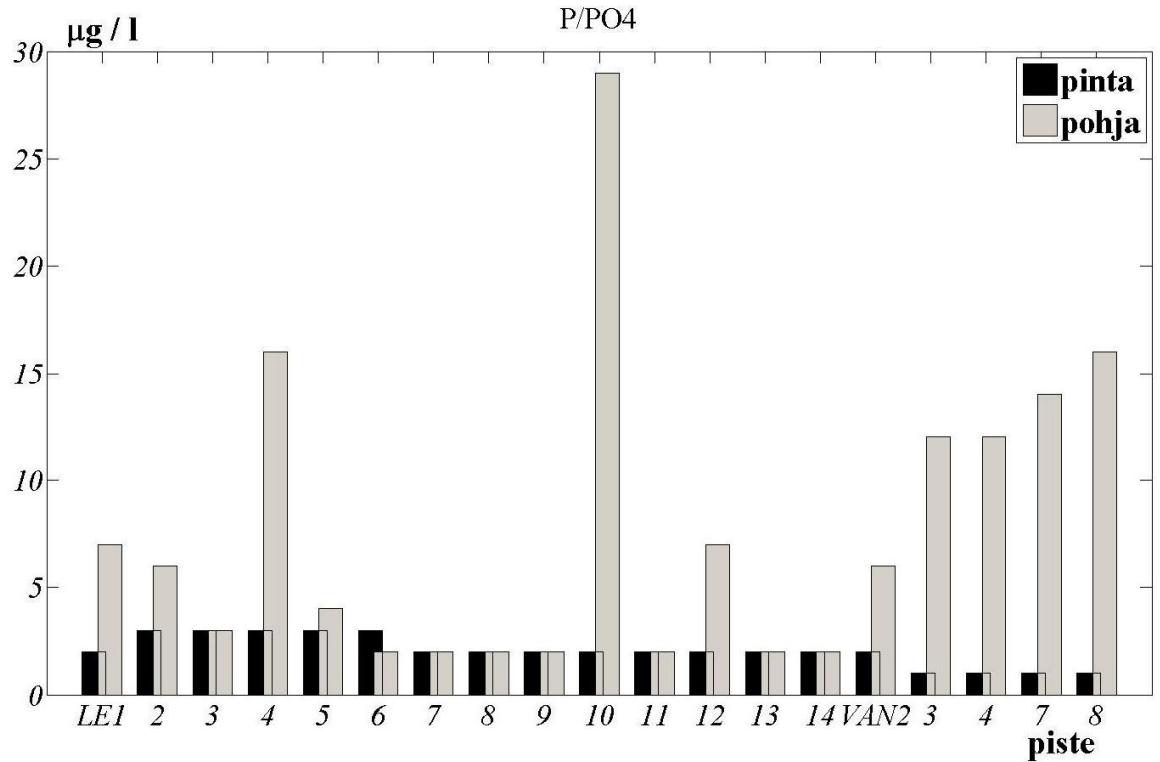
Fosfori

Kokonaisfosforipitoisuus vaihteli paljon pisteittäin ja fosfaattimuotoisen fosforin pitoisuudet ovat merkittävämpiä tarkastella (kuvat 5.14 ja 5.15). Kokonaisfosforista mainittakoon kapeikon kesmääräisen pitoisuuden ($73 \pm 12 \mu\text{g/l}$) olleen Vanajanselän keskipitoisuutta ($29 \pm 3 \mu\text{g/l}$) korkeampi.

Fosfaattia ei ole käytännössä yhtään pintavedessä ja valtaosassa pohjanäytteitä. Poikkeavan paljon fosfaattia on kapeikossa pohjanäytteissä pisteillä LE 4 ja 10, mutta myös pisteillä LE 1, 2 ja 12 pohjan fosfaattipitoisuus on koholla. Vanajanselällä pohjan fosfaattipitoisuus on korkeampi ($12 \pm 4 \mu\text{g/l}$) kuin kapeikossa ja ero kasvaa kauempana selällä.



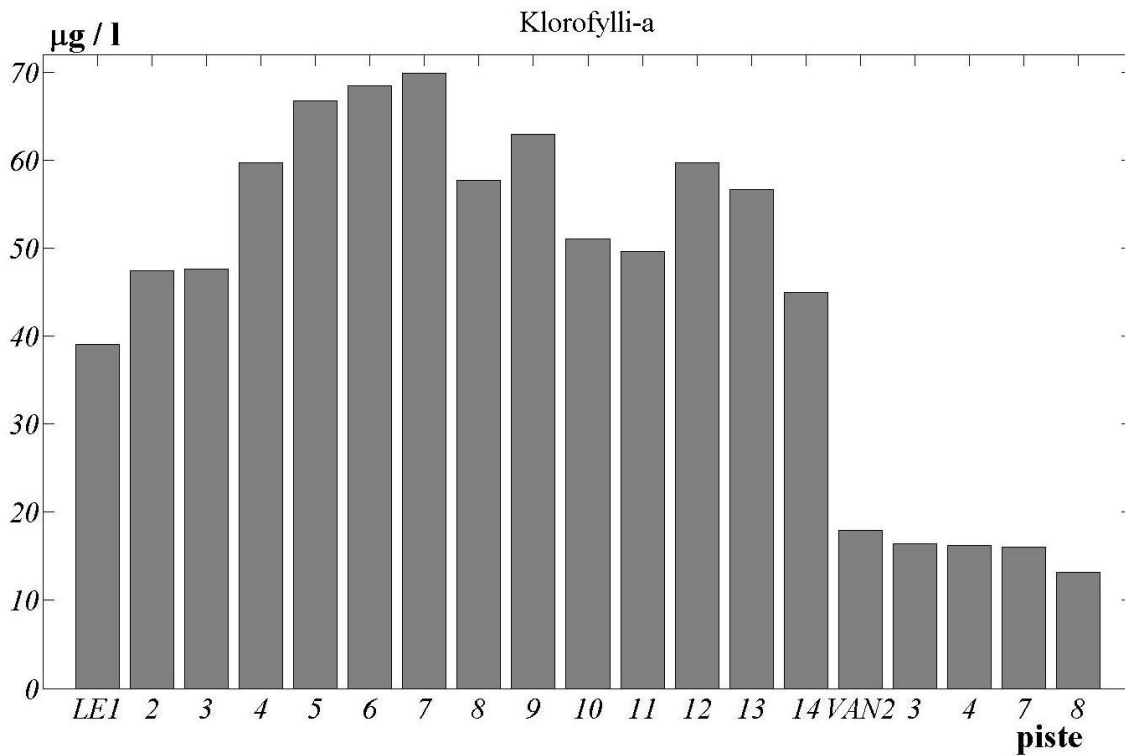
Kuva 5.14: Kokonaisfosforipitoisuus [µg/l] Vanajavedellä 20.7.2011



Kuva 5.15: Fosfaattipitoisuus [µg/l] Vanajavedellä 20.7.2011

Klorofylli

Kapeikon klorofylli-a –pitoisuus vaihteli välillä 39 - 70 $\mu\text{g/l}$, kun Vanajanselällä pitoisuus oli paljon matalampi, keskimäärin $16 \pm 1,7 \mu\text{g/l}$ (kuva 5.16)



Kuva 5.16: Klorofylli-a pitoisuus [$\mu\text{g/l}$] Vanajavedellä 20.7.2011

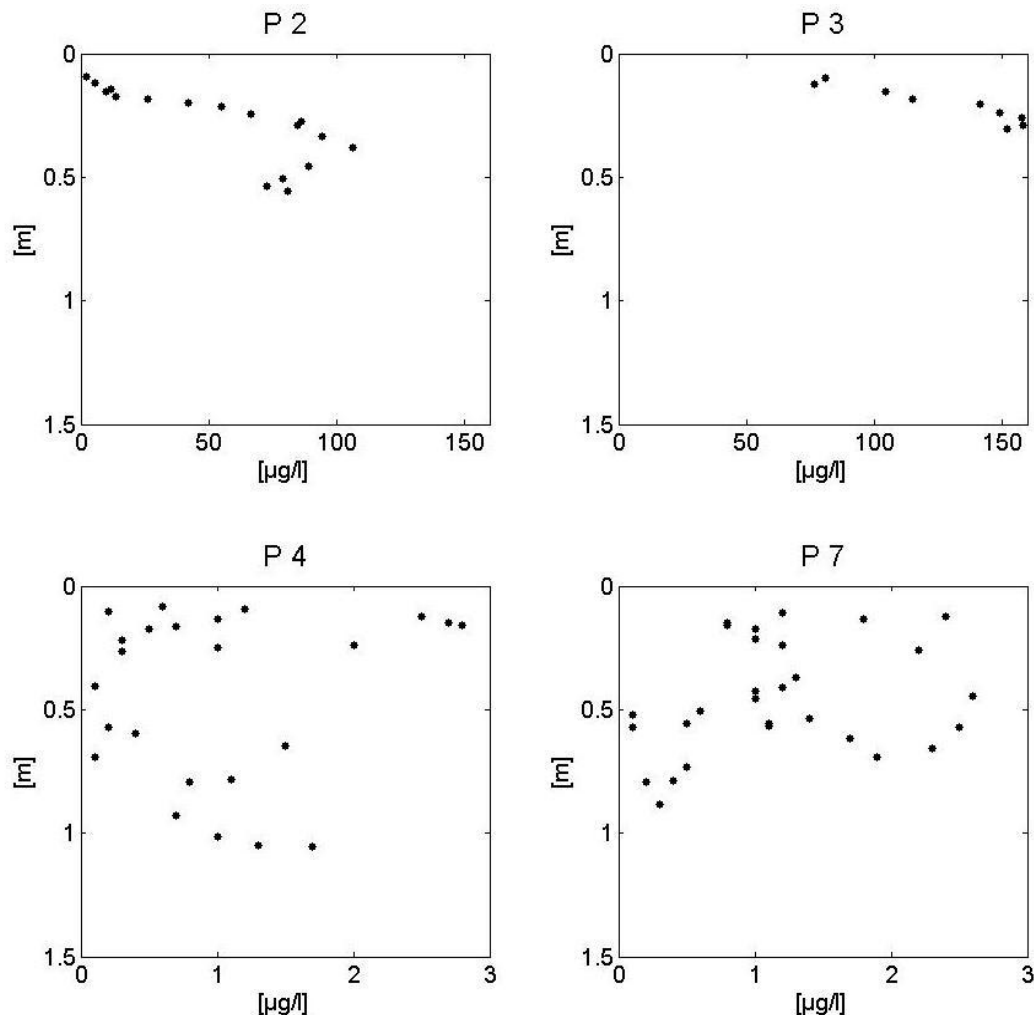
5.1.6 Rodamiinin leviäminen Rautamonojasta Vanajaveteen

Elokuussa 2011 rodamiinilla toteutettu merkkiainekoe käsitti melko suppean alueen aivan Rautamonojan suun lähetyvillä, joten mittausvyvyys jäi monella kohdalla matalaksi. Rodamiinia havaittiin vain neljässä luotauksessa, joiden rodamiinipitoisuus on esitetty syvyyden suhteen kuvassa 5.17. Muilla pisteillä laitteen antama lukema oli alle alueen luonnollisen tausta-arvon tai niin lähellä sitä, ettei voida sanoa rodamiinia havaitun.

Rodamiini laskettiin purkuojaan parin metrin päässä sen suuaukosta. Aine värjäsi hetkeksi vettä voimakkaan punaiseksi ja sen kulkeutumisen Vanajaveteen pystyi toteamaan paljain silmin. Hetken kuluttua punainen väri oli jo hävinnyt pinnasta, mutta jos vettä sekoitti pohjaa myöten, punainen nousi näkyville.

Pisteillä P 2 ja 3 rodamiinia oli paljon, jopa 158 $\mu\text{g/l}$. Vaihtelu oli kuitenkin suurta. Pisteellä P 2 pinnan rodamiinipitoisuus oli lähellä nollaa, mutta nousi jyrkästi noin 40 cm syvyydelle asti, missä sitä on jopa 106 $\mu\text{g/l}$. Tästä syvemmälle pitoisuus laski ja pohjimmaisina mitattu arvo 56 cm syvyydellä oli 81,1 $\mu\text{g/l}$. Pisteellä P 3 pitoisuus taas oli korkea läpi vesipatsaan, mutta siinäkin pitoisuus nousi syvyyden mukaan. Pohjalla suurin pitoisuus todettiin 30 cm syvyydellä, mikä oli käytännössä kyseisen pisteen kokonaissyvyys.

Pisteillä 4 ja 7 rodamiinimäärä oli huomattavasti alhaisempi, korkeimmillaankin 2,8 $\mu\text{g/l}$, mutta yhä koholla taustaan verrattuna. Aine oli myös jakautunut tasaisesti koko vesipatsaaseen.



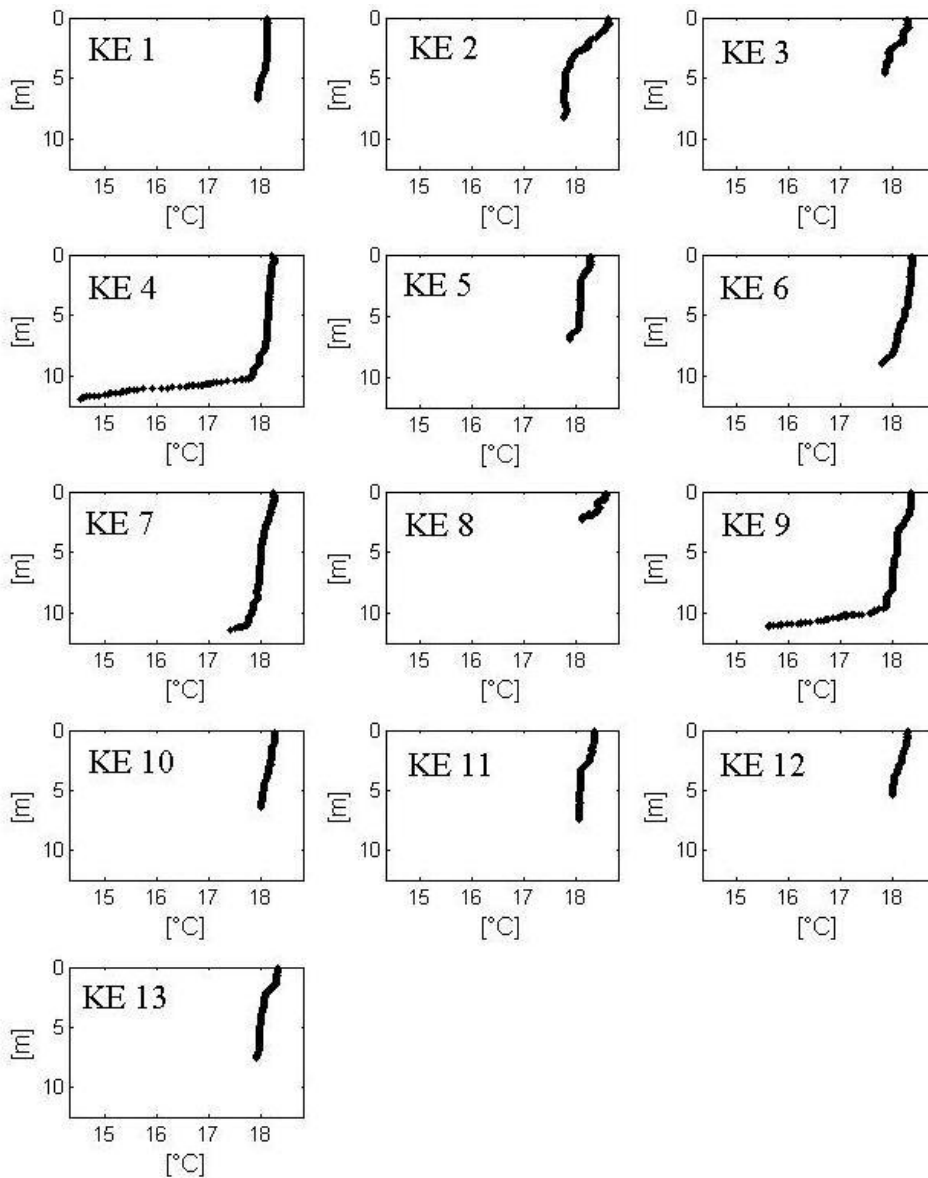
Kuva 5.17: Rodamiinipitoisuus pisteillä P 2, 3, 4 ja 7, joilla se ylitti reilusti luonnollisen tausta-arvon. Huom. Ylärivin kuvaajien asteikko x-akselilla on nollasta 160 $\mu\text{g/l}$ asti, alarivillä 3 $\mu\text{g/l}$ asti.

5.2 Keurusselkä

Keurusselän mittaukset tehtiin 22.8.2011. Sää oli aluksi pilvinen, mutta muuttui iltapäivällä puolipilviseksi. Lämpötila oli 18 °C.

5.2.1 Lämpötila Keurusselällä

Keurusselän pohjoisosassa, missä mittaukset tehtiin, oli lämpötilaltaan melko homogeeninen, (kuva 5.18). Valtaosa pisteistä oli niin matalia, että koko vesipatsas oli tasalämpöinen, keskimäärin $18,1 \pm 0,1$ °C. Termokliini alkoi 10 metrin syvyydellä. Vain kolme mittauspistettä oli tätä syvempiä ja niillä veden lämpötila aleni pohjalla.



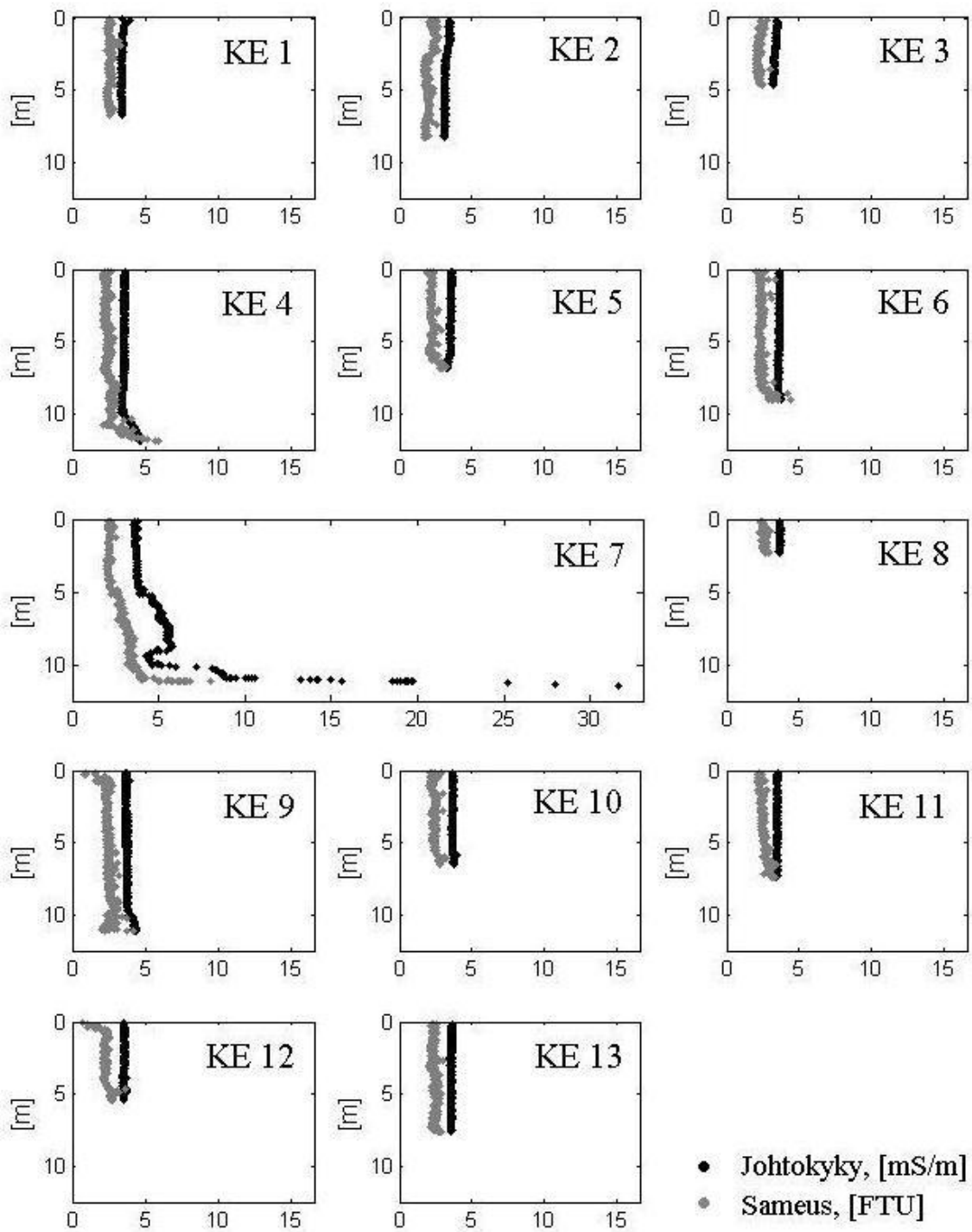
Kuva 5.18: Lämpötila [°C] Keurusselällä 22.8.2011

5.2.2 Sähkönjohtokyky ja sameus Keurusselällä

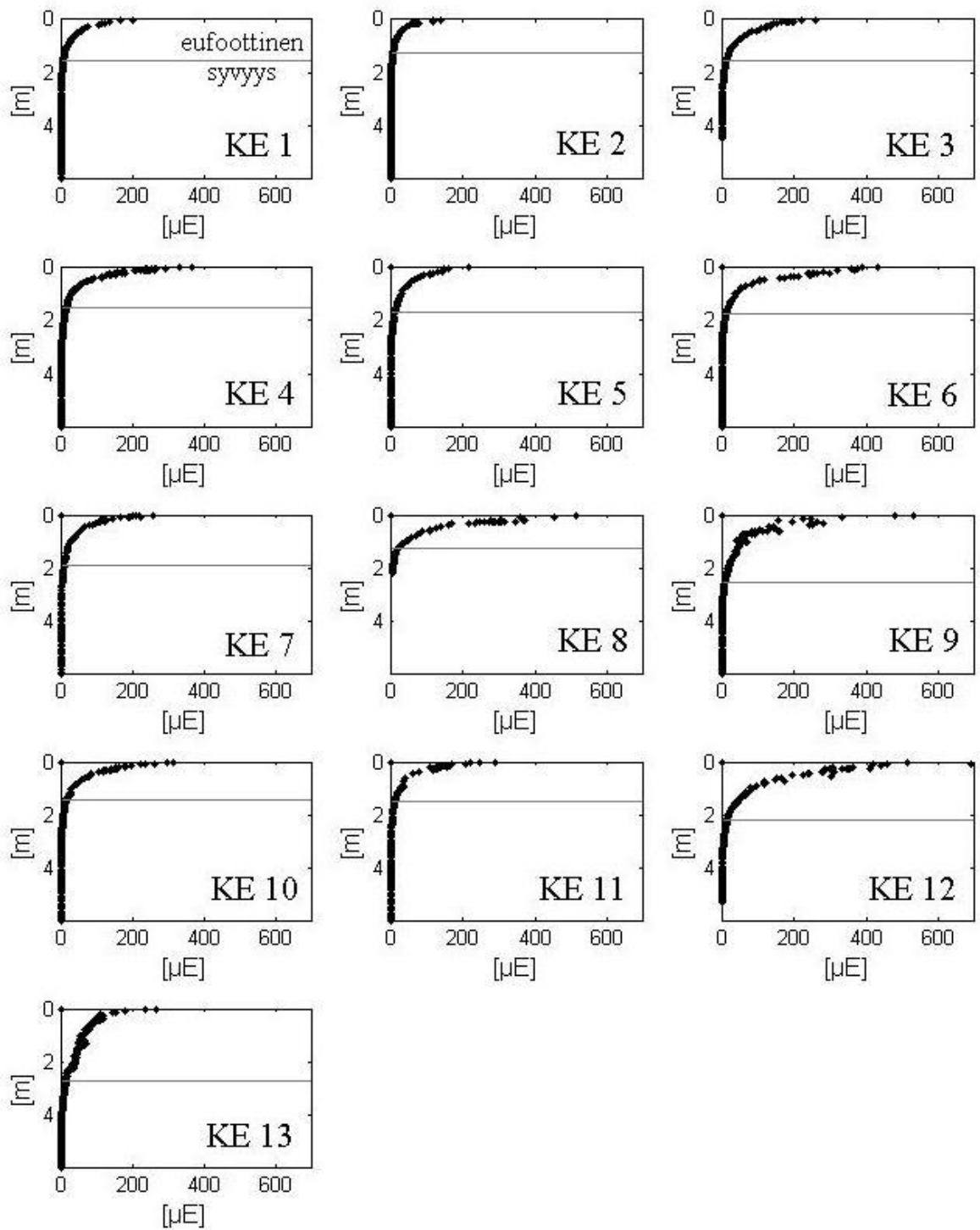
Keurusselän sähkönjohtokyky ja sameus olivat 22.8.2011 varsin tasaiset kaikilla mittauspisteillä ja koko vesirungossa (kuva 5.19). Johtokyky oli yleisesti noin 4 mS/m. Vain pisteen KE 7 pohjalla, 5,2 metristä alkaen, johtokyky kohosi tästä huomattavasti ollen korkeimmillaan pohjalla, 11,4 metrissä, 32 mS/m. Kasvu ei ollut lineaarista, vaan 9 – 10 metrissä johtokyky oli jälleen pintalukemissa, alle 5 mS/m, ennen kuin kasvoi pohjalla jälleen nopeasti. Sameus on käytännössä 2 - 3 FTU:n välillä (keskiarvo $2,4 \pm 0,3$ FTU) kaikkialla paitsi pisteiden KE 4, 6, 7 ja 9 pohjilla, missä se kohoaa yli 4 FTU:n.

5.2.3 Valaistusolot Keurusselällä

PAR-profiilien perusteella (kuva 5.20) määritettynä eufottinen syvyys oli $1,8 \pm 0,5$ m. Kahdella pisteellä mitattiin myös secchi-syvyys joka oli KE 2:lla 1,25 m ja KE 10:llä 1,5 metriä. Keskisuomen ELY-keskuksen havaintojen (1973 – 2012) perusteella väriluku on ollut alueella keskimäärin 140 mgPt/l, joten näkösyvyydestä laskien eufottinen syvyys on sama 1,25 m ja 1,5 metriä. Vaihtelua on etenkin eteläisimmillä pisteillä, missä mitattiin sekä suurempia että pienempiä eufottisia syvyyksiä.



Kuva 5.19: Keurusselän sähkön johtokyky[mS/m] ja sameus [FTU] 22.8.2011. Jätevesi purkautuu pisteiden KE 5 ja KE 7 välille. Huom! Pisteiden KE 7 kuvaajassa on muista poikkeava asteikko.



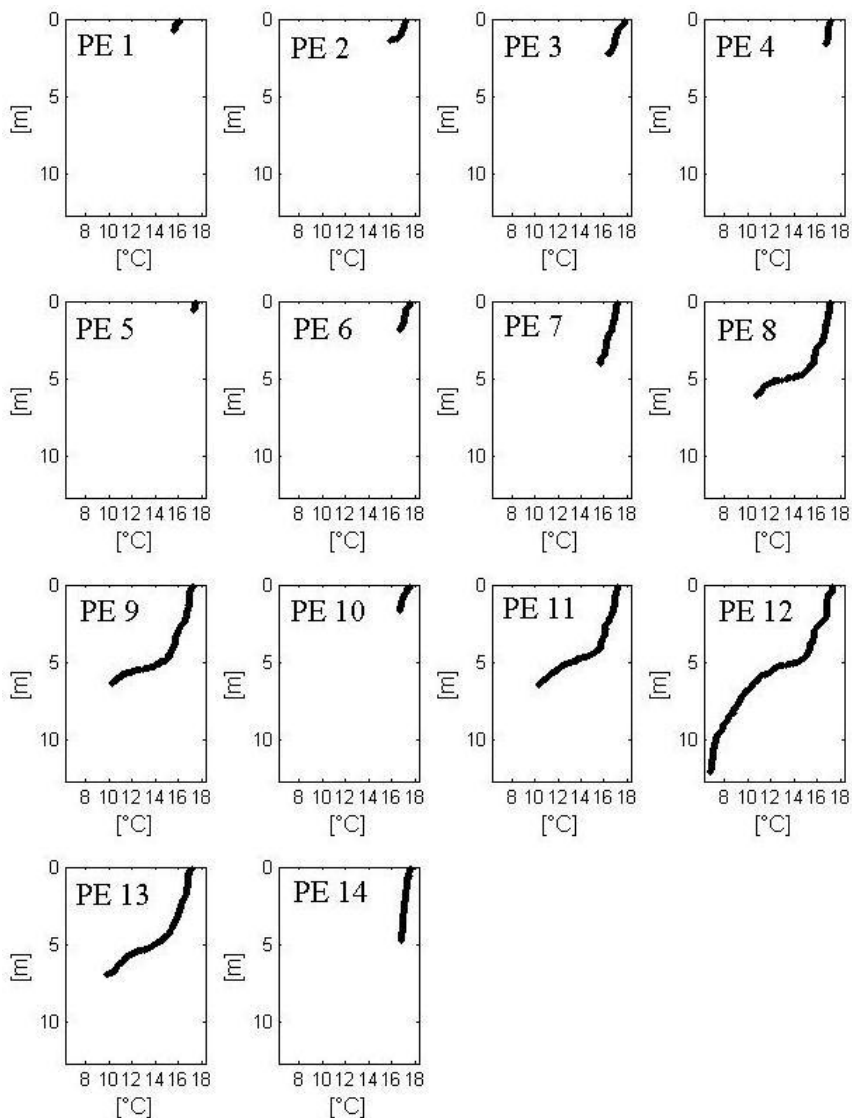
Kuva 5.20: PAR-säteily [μE] Keurusselällä 22.8.2011. Kuvaajat on piirretty vain 6 metrin syvyydelle asti, sillä pohjaa kohden PAR-säteilyn määrä on edelleen nolla. Harmaa viiva on kyseiselle pisteelle laskettu eufoottinen syvyys.

5.3 Petäjävesi

Petäjävedellä mittaukset tehtiin Keurusselän mittauksia seuraavana päivänä, 23.8.2011. Sää oli pilvinen ja vettä tihutti ajoittain. Ilman lämpötila oli 16 °C. Koska järvi on melko matala, myös valtaosa mittausprofiileista oli lyhyitä.

5.3.1 Lämpötila

Petäjävedellä mitatut lämpötilat on esitetty kuvassa 5.21. Matalimmilla mittauspisteillä koko vesipatsas oli tasaisen lämmintä päällysvettä, mutta syvemmillä paikoilla havaittiin myös termokliini. Päällysveden lämpötila oli keskimäärin $16,7 \pm 0,4$ °C. Syvimmillä pisteillä, PE 8, 9 ja 11 – 13 Mustaselän keskellä, termokliini alkoi 4,6 m syvyydellä ja oli jyrkkä. Alhaisin lämpötila oli myös syvimmällä, 12 metrissä mitattu 6,8 °C.

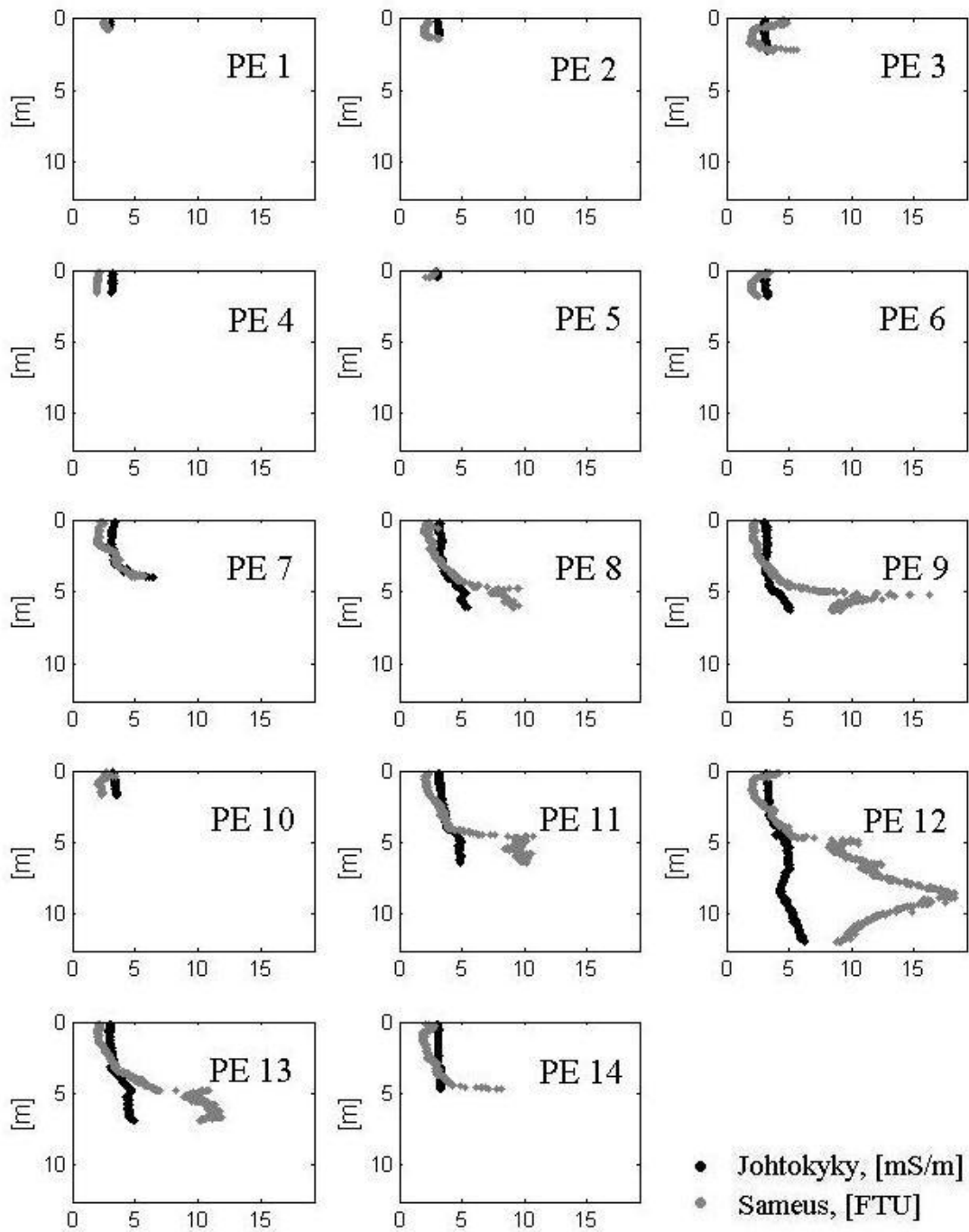


Kuva 5.21:
*Lämpötila [°C]
Petäjävedellä
23.8.2011.*

5.3.2 Sähkönjohtokyky ja sameus Petäjävedellä

Seuraavassa kuvassa (5.22) on Petäjäveden sähkönjohtokyky ja sameus. Pintaveden johtokyky oli tasaisen matala, keskimäärin 3 mS/m. Alle 5 metrin mittauksilla PE 1 - 6, PE 10 ja PE 14 johtokyky oli vakio pohjaan asti, kun muilla se alkoi pintakerroksen jälkeen kasvaa. Harppauskerroksen alun syvyys vaihteli ollen PE 7:llä ja PE 13:lla noin 3,0 m, pisteillä PE 8, PE 11 ja PE 12 2,5 m ja PE 9:llä 4,5 m. Korkein johtokykyarvo oli 6 mS/m PE 7:llä. Syvimmällä PE 12:lla johtokyky nousi 5 metriin asti, arvoon 5 mS/m. Tämän alla se pysyi vakiona tai laski, kunnes 9 metrissä alkoi jälleen kasvaa. Myös pisteillä PE 8, 9, 11 ja 13 johtokyvyn arvot vaihtelivat vastaavasti aina niin pitkälle kuin oli syvää.

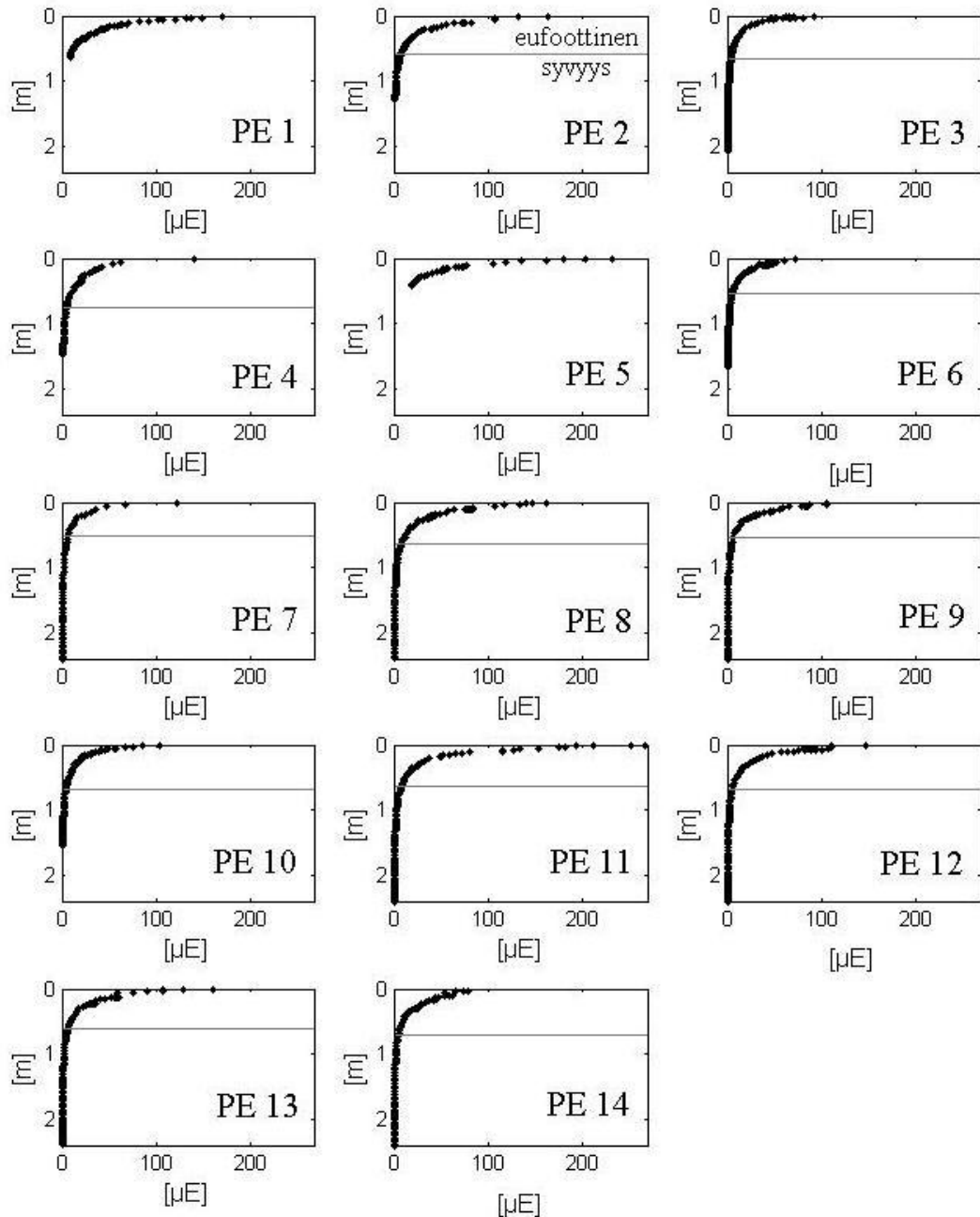
Sameus oli alle 5 metrisissä mittauksissa tasainen, keskimäärin $2,5 \pm 0,4$ FTU ja samaa luokkaa muuallakin pinnalla. Alempana se kasvoi ollen korkein PE 12:lla 9 m syvyydellä 18,3 FTU ja lähes yhtä paljon PE 9:llä 5 metrissä. Näiden alla sameus laski jälleen.



Kuva 5.22: Johtokyky [mS/m] ja sameus [FTU] Petäjäviedellä 23.8.2011. Jäteveden purkupaikka on pisteen PE 7 kohdalla pohjassa.

5.3.3 Valaistusolot Petäjävedellä

Näkösyyvyys oli Petäjäveden secchi-mittauksessa 0,75 m. Väriluvun perusteella Petäjävesi on erittäin ruskeavetinen järvi, joten eufoottinen syvyys on sama kuin näkösyyvyys. PAR-mittausten perusteella (kuva 5.23) eufoottisen syvyyden keskiarvo oli $0,6 \pm 0,1$ m, eli tulos on käytännössä sama.



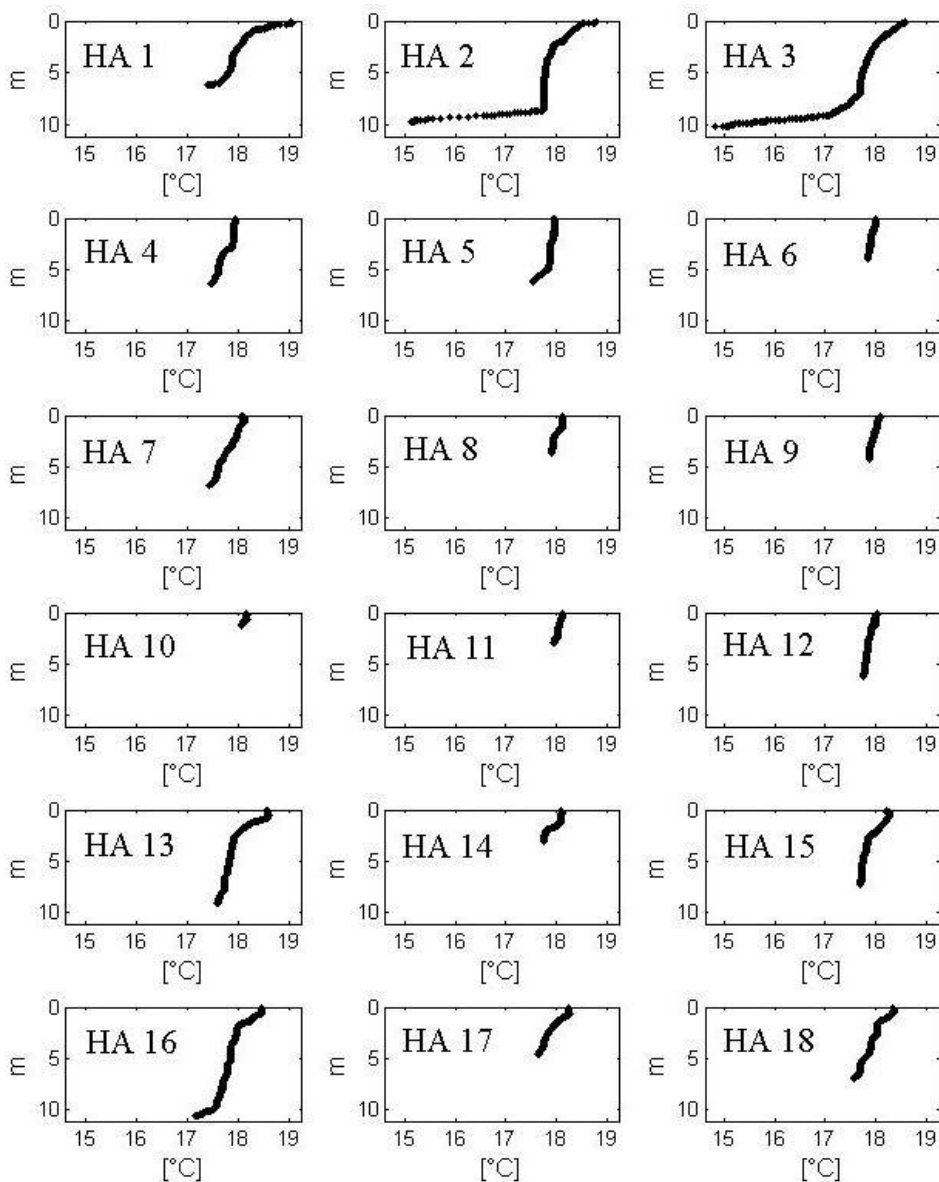
Kuva 5.23: PAR-säteily (μE) Petäjävedellä 23.8.2011. Kuvaajat on piirretty vain 2 m syvyyteen, sillä pohjaa kohden PAR-säteily jatkuu nollana. Harmaa viiva on kyseiselle pisteelle laskettu eufoottinen syvyys.

5.4 Kuuhankevesi

Kuuhankeveden mittaukset suoritettiin 24. elokuuta 2011. Ilmanlämpötila oli 18 °C. Aluksi oli pilvistä, mutta päivän mittaan pilvipeite alkoi rakoilla ja sää muuttui puolipilviseksi.

5.4.1 Lämpötila Kuuhankevedellä

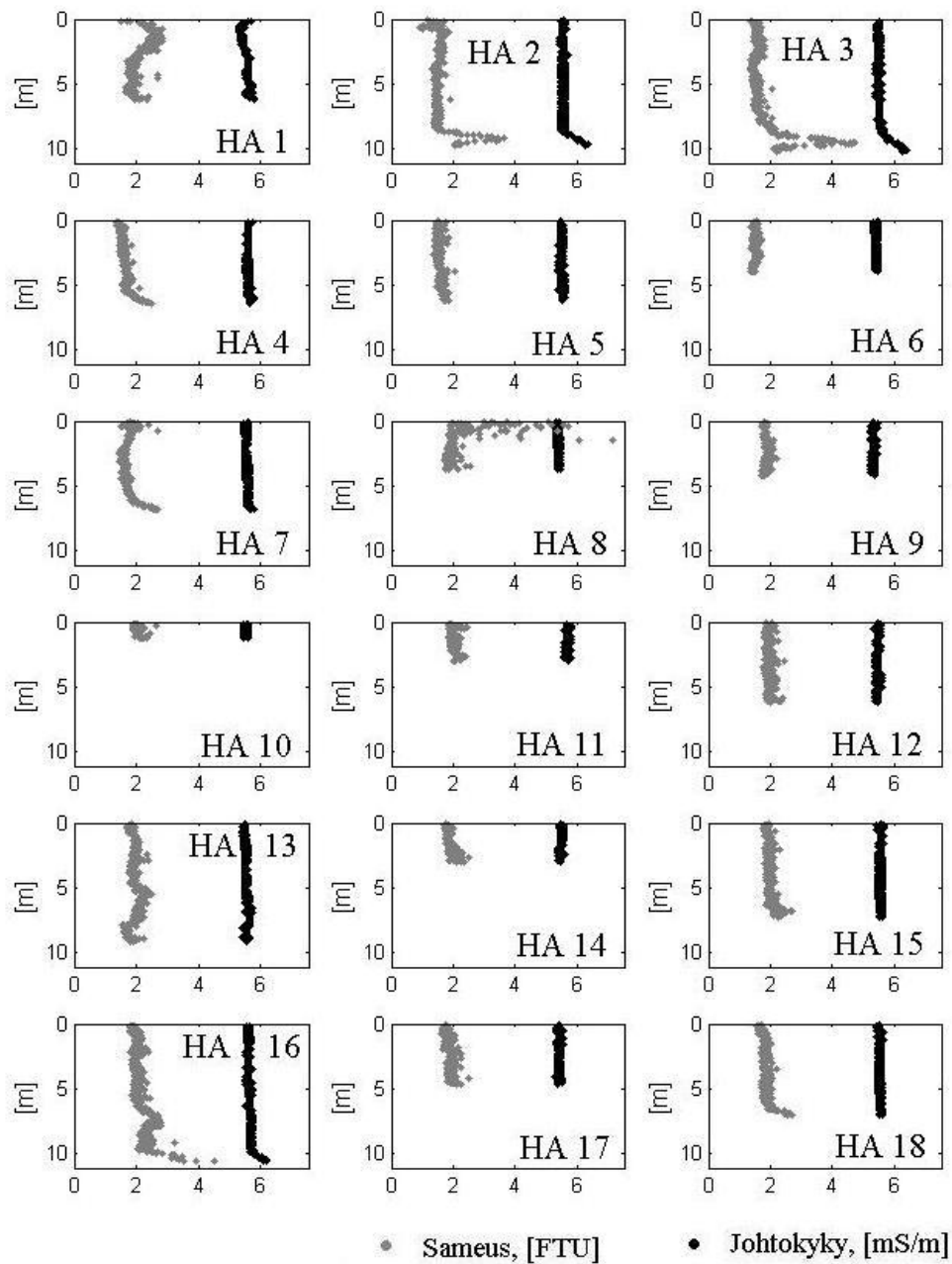
Kuuhankeveden lämpötilaprofiilit ovat kuvassa 5.24. Veden keskilämpötila oli 17,9 °C ja vaihtelu pientä, alin lämpötila oli 17,1 °C ja ylin 19,1 °C. Yli 10 m syvien pisteiden pohjalla lämpötila laski hieman, mutta muilla kerrostuneisuutta ei havaittu.



Kuva 5.24: Lämpötila [°C] Kuuhankevedellä 24.8.2011

5.4.2 Sähkönjohtokyky ja sameus Kuuhanavedellä

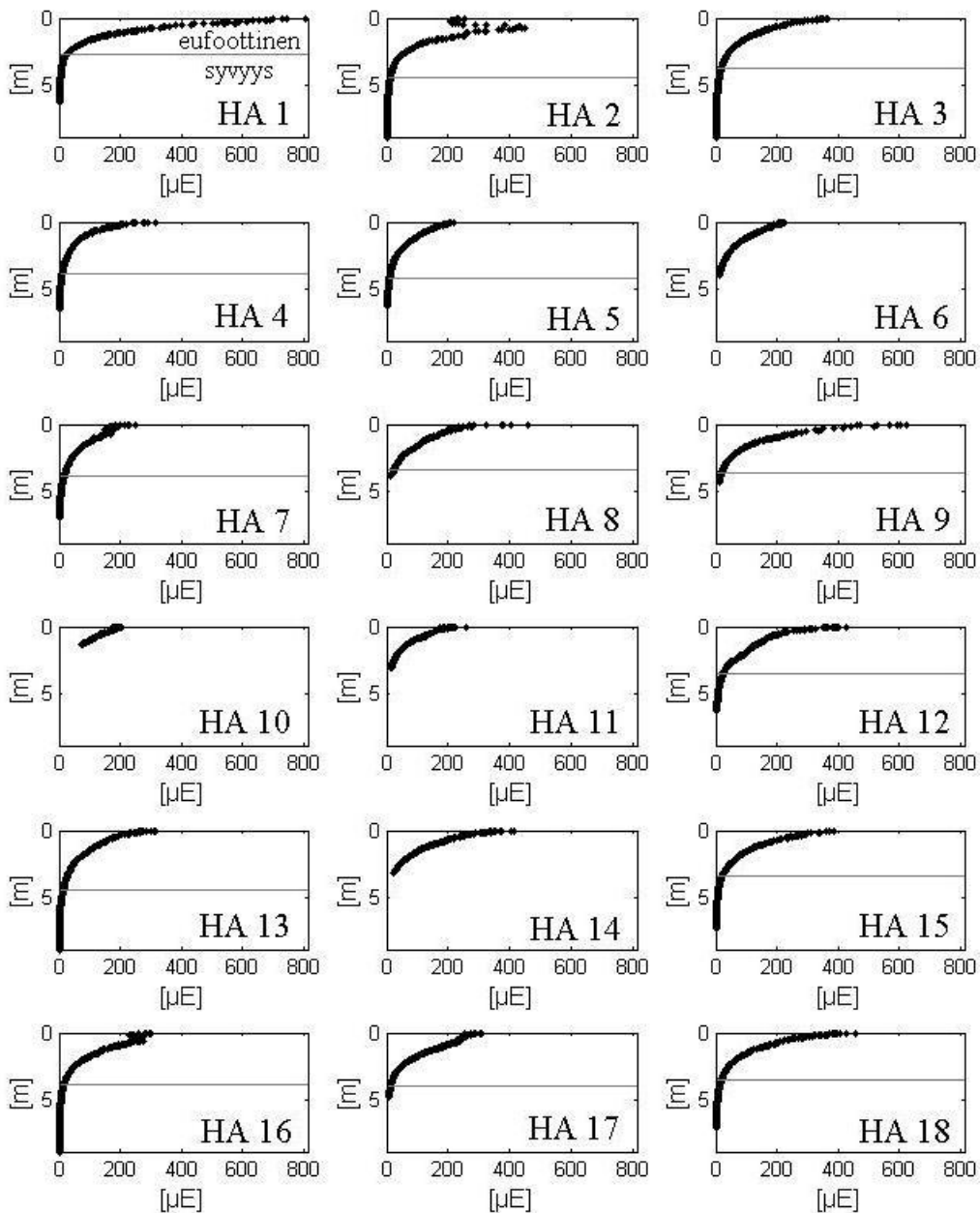
Johtokyky (kuva 5.25) on Kuuhanavedellä tasainen, 5 - 6 mS/m ilman havaittavaa trendiä. Vain kolmen syvimmän pisteen HA 2, 3 ja 16 pohjassa se ylitti 6 mS/m. Sameus oli suurimmalla osalla mittauksista tasainen pohjaan saakka ja keskimäärin 2 FTU. Pisteiden HA 2 - 4, 7, 16 ja 18 pohjilla sameus lähenee arvoa 5 FTU. Sameinta oli pisteen HA 8 pinnassa, lähes 13 FTU.



Kuva 5.25: Sähkönjohtokyky [mS/m] ja sameus [FTU] Kuuhanavedellä 24.8.2011. Jäteveden purkupiste on pohjassa pisteen HA 9 kohdalla.

5.4.3 Valaistusolot Kuuhanavedellä

Kuuhanveden näkösyvyys mitattiin kolmella pisteellä, joilla kaikilla se oli 2,25 m. Keski-suomen ELY-keskuksen mittausten perusteella (OIVA, 28.2.2013) järven väriluku on keskimäärin 60 mgPt/l, ja täten eufottinen syvyys on näkösyvyyden verran. PAR-säteilystä laskettuna (kuva 5.26) eufottinen syvyys oli keskimäärin 3,7 m, mutta vaihtelu pisteiden välillä oli suurta, 2,6 - 4,4 m.



Kuva 5.26: PAR-säteily [μE] Kuuhanavedellä 24.8.2011. Kuvaajat on piirretty vain 9 m syvyyteen, sillä pohjaa kohden PAR-säteily on edelleen nolla. Harmaa viiva on kyseiselle pisteelle laskettu eufottinen syvyys.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Vanajavesi

6.1.1 Lämpötila Vanajavedellä

Rautamonojan suulla vesipatsas oli elokuussa melko tasalämpöinen ja lämpötila vain hieman alempi kuin heinäkuussa. Ojavesi oli asteen viileämpää kuin järvi. Usein jätevedenpuhdistamoilta tuleva vesi on luonnonvettä lämpimämpää, etenkin kylmään vuodenaikaan, mutta kesäkaudella lämpötilat ovat lähempänä toisiaan.

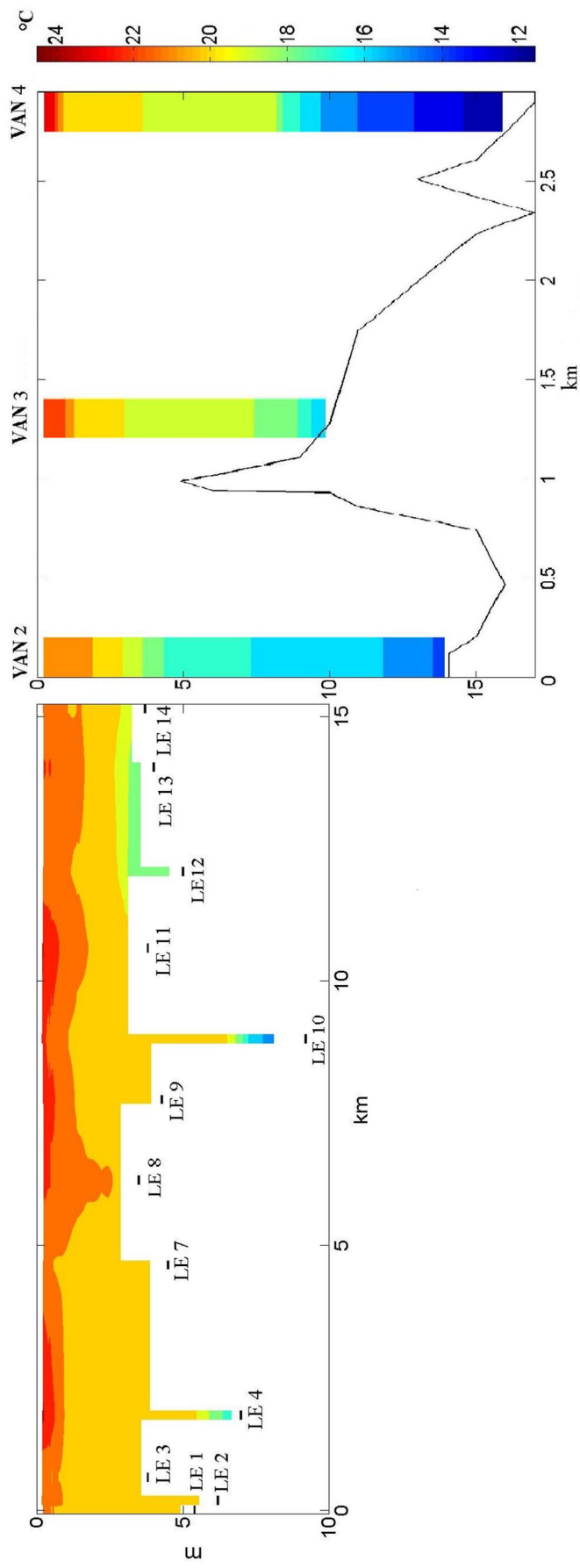
Heinäkuussa lämmin kesäsää nosti Vanajavedellä pintakerroksen lämpötilan korkeaksi. Sen alla päällysvesi (paksuus 6 - 8 m) oli tasaisen lämmintä, eli sekoittunutta. Kapeikon päällysvesi oli asteen Vanajanselkää lämpimämpää.

Kapeikon mittauspaikoista suurin osa oli termokliinin alkamissyvyyttä (5 – 6 m) matalampia, joten ne olivat pohjaan asti päällysvettä. Pisteillä LE 4, 5 ja 10 syvyys oli yli 6 metriä ja termokliinin alku erottui. Poikkeuksena ovat kaksi ensimmäistä pistettä LE 1 ja 2, joiden syvyydet olivat 5,4 ja 6,2 m, minkä puolesta termokliinin alku olisi voinut muodostua näilläkin, mutta niin ei ollut. Selittävänä tekijänä voi olla tuleva jätevesi, joka on voinut aiheuttaa häiriön lämpötilakerrostuneisuuteen tai olosuhteet yläjuoksulla. Itse purkuojassa tai kauempana yläjuoksulla ei tehty mittauksia 20.7. Myös kapeikon suuta lähimmät pisteet LE 12, 13 ja 14 poikkesivat muista. Tasalämpöistä päällysvettä ei ollut, vaan lämpötila laski koko matkan pohjaan asti ja vesi oli viileämpää.

Vanajanselkä on niin syvä, että kaikilla pisteillä erottui termokliini, joka jatkui pohjaan saakka. Pisteiden VAN 2 profiili poikkesi neljästä muusta keskenään hyvin samankaltaisesta pisteestä. Näillä neljällä pisteellä $0,9 \pm 0,4$ m paksu pintakerros oli lämmennyt päivän aikana yli 20 °C :seen ja vasta sen alla oli 5 – 7 metriä paksu tasaisen lämmin päällysvesikerros, kun taas VAN 2:lla päällysvesikerros alkoi jo pinnasta ja jatkui vain parin metrin syvyydelle. Voidaan siten olettaa näiden neljän pisteen olleen samaa vesimassaa ja läheisessä vuorovaikutuksessa. VAN 2 ei ollut sen kauempana kuin muutkaan pisteet toisistaan, mutta sen ja VAN 3:n välissä pohjassa oleva järven jakava selänne, estää virtausta niiden välillä. Sama selänne jatkuu myös pisteiden VAN 7 ja 8 välillä, mutta siellä eroa ei ollut, joten rajoittava vaikutus jäi vain harjanteen eteläosaan.

Pohjaselänne on yhtenäisin ja korkein etelässä Ruskeenkärjen päässä. Ruskeenkärjen ja Pikku-Pyterin saaren välillä kynnyssyvyys on noin 5 m, kun pohjoisempana saaren luoteispuolella selänne jatkuu rikkonaisempana ja matalampana. Siten sekoittumista tapahtui paremmin järven pohjoisempien pisteiden välillä.

Kun kapeikon viimeisten pisteiden LE 12 - 14 lämpötilaprofiileja vertaa rinnakkain Vanajanselän pisteisiin, kapeikon loppu näyttäisi olevan samaa vesimassaa purkuaukosta länteen pohjarahjanteen takana olevan VAN 2:n kanssa (kuva 6.1). Pisteet ovat alle 4 km päässä kapeikon suulta. Sen sijaan purkuaukkoa lähinnä olevan VAN 3:n vesi poikkeaa lämpötilan perusteella selvästi kapeikosta. Myös pohjimmaisten vesinäytteiden nitriitti- ja nitraattityypipitoisuudet sekä väriluku tukevat tätä oletusta, eivätkä muutenkaan vesinäytteiden tulokset ole sitä vastaan. Sen sijaan sameusarvoissa kaikki Vanajanselän mittaukset, VAN 2 mukaan lukien, ovat samaa suurusluokkaa (keskimäärin $6,6 \pm 1,7$ FTU) poiketen kapeikon sameuksista ($17 \pm 1,7$ FTU) huomattavasti. Lämpötila-, nitriitti- ja nitraattityppi sekä värilukumittausten perusteella virta on siis voinut kääntyä Lepaalta tullessaan lounaaseen pohjaselänteen yli, Ruskeenkärjen toiselle puolelle, sen sijaan että olisi jatkanut suoraan syvemmillä alueilla luoteeseen tai koilliseen. Tällainen on ajoittain mahdollista.



Kuva 6.1: Lämpötila ($^{\circ}\text{C}$) Vanajavedellä 20.7.2011. Vasemmalla on kapeikon saaduista arvoista mittauksista tehty lämpötilaprofiili ja oikealla Vanajanselän kapeikon suuta lähinnä olevalta pisteeltä piirretyt profiilit. Kapeikon syvyys mittauskohdissa on merkitty mustin vaakaviivoin ja pisteen nimi on kirjoitettu viereen, Vanajanselällä musta viiva hahmottelee pohjan topografian pisteiden väillä pystyakselilla on syvyys (m) pinnasta pohjaan ja vaak-akseli kuvaa vertikaalisia etäisyyksiä (km). Tulokset on interpoloitu CTD900M:llä luotaamalla saaduista arvoista.

6.1.2 Sähkönjohtokyky ja sameus Vanajavedellä

Veden sähkönjohtokyky oli yleisesti Vanajavedellä korkea, 14 mS/m ja vesi oli sameaa, mikä viittaa siihen, että valuma-alue on voimakkaasti viljelty. Arvoissa oli vaihtelua sekä syvyyden että paikan suhteen. Kapeikossa vesi oli Vanajanselkää sameampaa pienemmän vesitilavuuden vuoksi.

Heinäkuun mittauksessa kolmella ensimmäisellä pisteellä johtokyky oli korkeampi kuin muualla. Pisteillä LE 1 ja 2 pinnassa oli samanlaista johtokyvyltään tasaista vettä kuin kauempana alavirtaan, mutta syvemmällä, 1,5 ja 2 metrissä, johtokyky alkoi kasvaa jyrkästi. Purkupaikkaa edeltävässä kapenemassa (LE 1) myös sameus lisääntyi syvyyden suhteen, mikä on voinut aiheuttaa myös sähkönjohtavuuden nousun. Vasta 1,5 m pohjan yläpuolella sameus alkaa pienetä, kun johtokyky nousee edelleen, eli jätevesi voi selittää varmasti vain alimman vesikerroksen korkean sähkönjohtavuuden. Suuremmissa määrin jätevesi kulkeutui LE 2:lle, jonka johtokyky nousi jyrkästi syvyyden suhteen samalla kun sameuden nousu oli loivempaa. Tulosten perusteella jätevesi painui Rautamonojasta laskeutuen alas ja levisi pohjalla, lähinnä syvänteeseen LE 2.

Alavirtaan veden esteeksi tulee kapea ja matala Kirstulansalmi (LE 3), missä jätevesi sekoittui ylimpään vesikerrokseen. Laimenemisen tuloksena johtokyky ei ollut enää yhtä suuri kuin edellisten pisteiden pohjilla.

Kirstulansalmen jälkeen vesi virtaa Hattulanselälle, missä jäteveden vaikutusta ei voitu enää selvästi havaita. Hattulanselän syvänteen LE 4 pohjalla johtokyky ja sameus nousevat, mutta syynä voi olla aineksen kerääntyminen syvänteeseen. Sameuden pieneneminen juuri ennen pohjaa, missä se taas kasvaa, voi johtua siitä, että termokliini rajoittaa vesimassojen sekoittumista, ja paikallisista virtauksista.

Myös syvänteen LE 10 pohjassa johtokyky nousee kolme yksikköä, mutta sameus vastaavasti laskee jyrkästi. Periaatteessa tilanne on samankaltainen kuin jäteveden purkualueella, jolloin syynä voisi olla jäteveden kerääntyminen syvänteeseen, mutta vesinäytteiden väri ja nitraattikonsentraatio eivät tue tätä teoriaa vaan viittaavat ennemminkin pohjan hapettomuuteen. Voi olla, että aineksen hajotuksessa vapautuvat suolat kerääntyvät pohjalle, mutta itse hajoava aines ei sinne kulkeudu termokliinin tai

virtausten vaikutuksesta tai että suolot ovat peräisin sedimentistä eivätkä aineksen hajoamisesta ylempänä vedessä.

Vanajanselällä johtokyky nousee syvimpien pisteiden (VAN 4 ja 8) pohjalla 1 mS/m veden kirkastuessa samalla jyrkästi, aivan kuten LE 10:llä. Tulosten perusteella ei voi kuitenkaan päätellä, onko syynä jätevesi tai happivaje. Ammoniumin kohonnut määrä voi viitata kumpaankin mahdollisuuteen, mutta muiden tulosten perusteella pisteet eivät eroa toisista Vanajanselän pisteistä.

Sameinta (jopa lähes 12 FTU) Vanajanselällä oli pintakerroksessa leväkasvun seurauksena ja lähellä pohjaa hajotuksen vuoksi. Kirkkainta vesi oli aivan pinnassa ja keskellä vesirunkoa. Suurin vaihtelu oli VAN 2:lla. Sameus on myös alentunut kauemmilla Vanajanselän pisteillä VAN 7 ja 8, mikä viittaa Lepaanvirralta tulevan veden laimenevan tasaisesti suureen vesitilavuuteen.

6.1.3 Tiheys Vanajavedellä

Rautamonijan kuljettaman puhdistetun jäteveden suuri tiheys suhteessa Vanajaveden veteen aikaansaa sen, että jätevesi painuu järveen laskiessaan alaspäin. Se, että Rautamonijan purkualueella mitatut tiheydet ovat muun Vanajaveden tiheyksiä suuremmat, selittyy ainakin osin mittausajankohtien erosta, kun elokuussa veden lämpötila oli matalampi kuin heinäkuussa.

Lämpötila-johtokykykuvaajien perusteella Vanajaveden kapeikon kolmella jäteveden purkuaukkoa lähimpänä olevalla pisteellä johtokyky määrää vesimassojen kerrostuneisuuden. Sen sijaan muualla määräävä tekijä on lämpötila.

6.1.4 Valaistusolot Vanajavedellä

Eufoottinen syvyys oli kapeikossa alhainen, $1,2 \pm 0,4$ m. Vanajanselällä valo tunkeutui yli kaksi kertaa syvemmälle, $2,7 \pm 0,1$ metriin, mikä kuvastaa osaltaan eroosioaineksen nopeaa sedimentoitumista Vanajanselällä ja toisaalta kasviplanktonin vähäisempää määrää. Vedenlaatuluokituksessa kapeikko kuuluisi hyvään ja Vanajanselkä erinomaiseen luokkaan.

6.1.5 Vesinäytteet Vanajavedeltä

Vesinäytteiden tulokset kertovat järven yleisestä kunnosta mittauspäivänä, kapeikon ja Vanajanselän eroista, hapettomasta pohjasta ainakin pisteellä LE 10 ja jäteveden kertymisestä syvänteeseen lähelle purkuojaa.

Väri

Kapeikon vesi oli värin perusteella luokiteltuna humuspitoista, kun Vanajanselällä veden väriarvo oli pienempi ja se voidaan luokitella lievästi humuspitoiseksi. Muutamalla kapeikon pisteistä väriluku poikkesi selvemmin kapeikon keskiarvosta. Kapeikon loppupäässä, Lepaanvirrassa, väriluku oli etenkin pohjalla muuta kapeikkoa matalampi, vaikka ei vielä Vanajanselän luokkaa. Syvänteen LE 10 pohjalla vesi oli erittäin ruskeaa, mikä selittyy sedimentin raudan vapautumisella pohjan hapettomissa oloissa. Myös toisiksi syvimmillä mittauspisteellä LE 4 on viitteitä vastaavasta. Vaikka pisteellä LE 2 on melkein yhtä syvää kuin LE 4:llä, humuspitoisuus on sillä erityisen alhainen. Koska jäteveden humuspitoisuus on myös alhainen, tulos vahvistaa osaltaan jäteveden kerääntyneen LE 2:lle. Pisteellä LE 11 pohjan väriarvo on erityisen matala pintaveden sameuden ollessa keskimääräistä luokkaa. Yksi syy voi olla, että paikalle tulee puhdasta vettä läheisestä harjusta.

Typpi

Typpipitoisuutensa perusteella Vanajavesi kuuluu reheviin vesistöihin. Kokonaistyppipitoisuus oli huomattavan korkea pohjan lähellä jäteveden purkuojan ympärillä ja syvänteen LE 10 pohjalla. Muualla levät ottavat epäorgaanisen typen tehokkaasti käyttöönsä.

Jäteveden purkualueen typpi on enimmäkseen nitriitti- ja nitraattimuotoista, mikä viittaa puhdistettuun jäteveeseen, sillä puhdistamolla ammonium hapetetaan nitraatiksi. Nitriittiä ja nitraattia on kerääntynyt paljon LE 2:n pohjalle, mutta pinnassa pitoisuus on alhainen, eli jätevesi painuu pohjalle. Samanlainen tilanne on edellisessä salmessa LE 1:llä, mutta alavirtaan LE 3:lla nitraattia on tasaisemmin pinnasta pohjaan, eli se sekoittuu kapeammassa kohdassa myös pintaveteen.

Pohjan hapettomuus mittausajankohtana syvänteessä LE 10 ilmenee selvästi typpinäytteissä, sillä pohjanäytteessä oli paljon ammoniumtyyppiä, mutta nitriitti- ja nitraattipitoisuus on alhainen. Myös LE 4:n samankaltaiset olosuhteet viestivät hapen vähyydestä.

Fosfori

Kokonaisfosforipitoisuuden perusteella Vanajanselkä on luokitukseltaan rehevä ja kapeikko erittäin rehevä. Fosfaattimittauksista näkyy selkeästi näytepisteiden väliset erot. Pinnassa fosfaattia ei ole juuri lainkaan, koska valoa on riittävästi tuotannon kannalta, jolloin fosfori sitoutuu nopeasti kasvibiomassaan. Useimmilla kapeikon mittauspisteistä kasvit kuluttavat fosfaatin pohjaa myöten. Syvänteissä LE 10 ja LE 4 pohja on hapeton ja pitoisuudet korkeat sedimentistä vapautuvan fosfaatin vuoksi. Vanajanselän pohjan korkea fosfaattipitoisuus selittyy sen syvyydellä, kun pohjan biologinen aktiivisuus on valon vähäisyyden vuoksi kapeikkoa alhaisempi.

Klorofylli-a

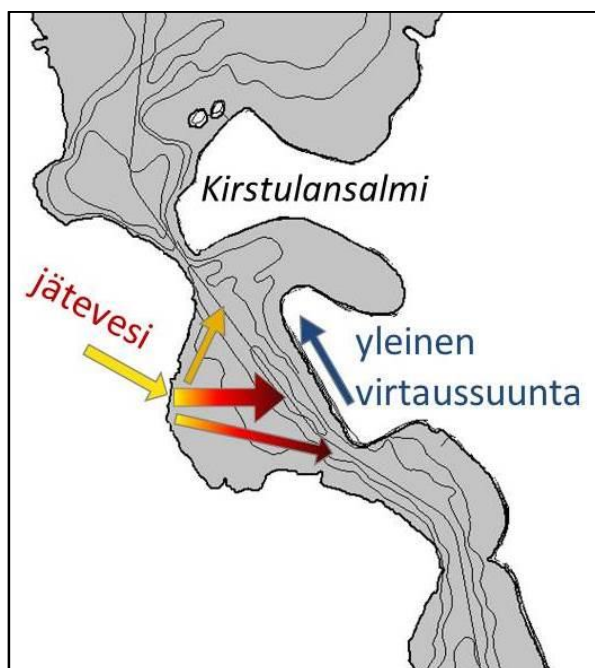
Klorofyllitulosten perusteella, yhtäpitävästi typpi- ja fosforitulosten kanssa, Vanajanselkä oli rehevä ja kapeikko erittäin rehevä. Vanajanselällä levämäärä oli lähes sama kaikkialla, kapeikossa määrä kasvoi suunnilleen pappilansalmeen asti, minkä jälkeen se väheni hieman kohti järven selkää.

6.1.6 Rodamiinin leviäminen

Myös merkkiainekokeen tulokset 16.8.2011 kertovat jäteveden leviämisestä pohjaa pitkin. Näköhavainto punaisen rodamiinin nopeasta katoamisesta veden pinnalta ja esiinnousun pohjan läheltä sekoittaessa vahvistaa Rautamonojasta tulevan veden painumisen purkualueen pohjalle. Rodamiinipitoisuus oli korkea vain aivan ojan läheisyydessä ja suurimmillaan pohjalla. Ojansuulta noin 20 m itään pisteelle P 2 merkkiaine levisi pohjavirtauksen kuljettamana. Sen sijaan suunnilleen saman verran itäkoilliseen olleella pisteellä P 3, pitoisuus oli pintavedessäkin korkeahko nousten vielä pohjaa kohden. P 3:lla rodamiinipitoisuus oli myös kokonaisuudessaan korkeampi, mutta ero voi johtua myös mittausten ajallisesta erosta, sillä P 2:lla mittaus tehtiin reilut 10 minuuttia myöhemmin. Rautamonojan vesi painui siis idän ja kaakon suunnissa hyvin nopeasti

pohjaan ja levisi siellä, kun taas itäkoillisessa, joka on päävirtausta vastaava suunta, jätevettä kulki myös pinnassa. Koska mittaukset tehtiin lähinnä purkuojasta koilliseen, eikä heinäkuun mittauspisteellä LE 2 käyty lainkaan, voi vain arvailla, että jätevesi kulkeutui myös elokuussa LE 2:n syvänteeseen. Pisteiden P 2 tulokset ja merkkiaineen katoaminen puoltavat rodamiinin kulkeutumista ja nopeaa sedimentoitumista.

Kuvassa 6.2 on esitetty tulosten perusteella oletettu jäteveden leviäminen.



Kuva 6.2: Jäteveden oletettu leviäminen Rautamonojasta Vanajaveden kapeikkoon. Keltainen kuvaa virtauksen tapahtuvan lähempänä pintaa ja punainen viittaa syvemmälle. Nuolen paksuus kuvaa virtauksen määrää (Pohjakartta: Maanmittauslaitos, 2012).

6.2 Keurusselkä

22. elokuuta 2011 Keurusselän pohjoisosassa vesi oli hyvin tasalämpöistä. Päälyysvesikerros oli paksu, lämpötilaltaan ilman päivälämpötila luokkaa. Termokliini alkoi 10 metrin syvyydellä, mikä oli enemmän kuin useimpien pisteiden kokonaissyvyys. Järven keskiosissa, missä mittauksia ei tehty, on syvempää ja siellä kerrostuneisuuden olisi voinut havaita selkeämmin. Ajankohta oli kuitenkin kesäkerrostuneisuuskauden loppupuolta, jolloin lämpötilaerot eivät enää kasva vaan alkavat tasaantua.

Sähkönjohtokyky oli Suomen vesistöjen keskimääräisiin oloihin hieman alhainen. Sameuden perusteella vesi olisi lievästi rehevää. Keurusselällä aiemmin mitattuihin arvoihin verrattuna sekä johtokyky että sameus ovat hieman keskimääräistä alhaisemmat, mutta normaalit. Vennänlahdessa olevan jäteveden purkukohdan eteläpuolella

sijaitsevalla pisteellä KE 7:llä johtokyky ja sameus nousivat pohjalla huomattavasti. Syynä voi jäteveden leviämisen lisäksi olla pohjalle laskeutunut aines. Jäteveden purkuaukolla pohjassa oleva hapetin aiheuttaa veteen turbulenssia, mikä liikuttaa pohja-ainesta saaden sameuden ja sähkönjohtavuuden nousemaan. Sameus kasvaa hieman myös aivan syvimpien mittausten pohjalla, mikä on tavallista syvänteissä laskeutuvan aineksen takia.

Näkösyvyyden puolesta Keurusselän vesistöluokitus on hyvä. Sekä secchi-levyllä tehdyistä mittauksista että PAR-sensorin arvoista määritettynä eufottinen syvyys oli noin 1,5 m. Eteläisimmillä pisteillä oli jonkin verran vaihtelua.

6.3 Petäjävesi

Petäjävesi oli lämpötilakerrostunut mittausaikaan elokuun loppupuoliskolla. Suurin osa mittauksista oli kuitenkin 4,6 metrissä ollutta termokliiniä matalampia, joten niillä koko vesipatsas oli tasalämpöistä sekoittunutta päällysvettä. Päällysveden lämpötila oli lähes sama kuin ilman lämpötila. Vain syvimmällä mittauspisteellä (PE 12) näkyi myös termokliinin alapuolinen alusvesi.

Pintaveden sähkönjohtokyky oli tasainen 3 mS/m, mikä on Suomessa alhainen ja hieman vähemmän kuin ELY-keskuksen aiempien havaintojen keskiarvo (4 mS/m). Purkuaukon pohjoispuolella ja salmessa sen kaakkoispuolella syvyyttä oli vain noin 2 m ja johtokyky pieni, joten jätevesi ei kerääntynyt purkuaukon pohjoispuolelle matalalle vesialueelle. Pintavesi oli lievästi sameaa. Jätevesi purkautuu Petäjäveteen pisteen PE 7 pohjassa, missä sekä sähkönjohtavuus että sameus kasvavat voimakkaasti. Paikalla on syvyyttä noin 4 metriä.

Pisteet PE 8 ja PE 11 – 13 olivat suurin piirtein suorassa linjassa purkuaukolta etelään ja niiden johtokyky- ja sameusprofiilitkin olivat samankaltaisia. Pohjaa kohti kasvava sähkönjohtokyky voisi viitata jätevesivirtaamaan, mutta koska sameus kasvaa pitkälti samalla lailla, ei asiasta saada varmuutta. Kuitenkin pisteiden PE 9 ja PE 12 pohjilla johtokyvyn yhä kasvaessa sameus pienenee voimakkaasti. Tämä viittaisi kirkkaan, mutta johtokykyisemmän jäteveden kerääntymisestä näihin kohtiin. Sen sijaan Lehmänkurkussa (PE 14) johtokyky ei ole kohonnut.

Eufoottinen syvyys oli Petäjävedellä 0,7 m ja näkösyvyys sama. Vaihtelu oli pientä. Veden laatuluokitus olisi tämän perusteella tyydyttävä, eli huonoin kolmiportaisessa luokituksessa.

Tulosten perusteella näyttää, ettei jätevettä virrannut havaittavissa määrin Lehmänkurkun salmeen, jonka kautta vesi päätyisi kohti Piesalanjokea ja kokonaan ulos Petäjävedeltä. Sen sijaan se kerääntyi purkuaukon eteläpuoliseen syvänteeseen, pisteelle PE 12, mistä se saattaisi päätyä myös Mustaselän lounaisosan lahtiin, joista ei ole laskujokea (kuva 6.3). Osa jätevedestä näyttäisi myös kääntyneen ympäri aivan päinvastaiseen suuntaan ja virranneen purkuaukolta Selkäsaaren vastakkaiselle puolelle pisteelle PE 9. Purkuaukon pohjoispuolella, yleistä virtaussuuntaa vastaan matalammilla vesialueilla, jäteveden leviämisestä ei ollut havaintoja.



Kuva 6.3: Jäteveden oletettu leviäminen Petäjävedellä 23.8.2011. Jätevesi kulkeutui nuolten mukaisesti alemmissa vesikerroksissa kerääntyen syvänteisiin. (Pohjakartta: Maanmittauslaitos, 2012).

6.4 Kuuhankavesi

Päällysveden lämpötila oli Kuuhankavedellä 18 °C ja lähes kaikki mittauspisteistä olivat pohjaan saakka päällysvettä. Termokliini alkoi noin 10 metrissä, mikä näkyi pienenä viilenemisenä syvimpien mittauspaikkojen pohjalla. Järven syvemmissä kohdissa, missä mittauksia ei suoritettu, lämpötilakerrostuneisuuden olisi saattanut havaita selkeämmin.

Myöskään sähkönjohtavuudessa ei ollut merkittävää vaihtelua, vaan koko järvellä ja koko vesipatsaassa johtokyky oli 5 – 6 mS/m, mikä on normaali arvo Suomen järvilla. Aiempiin Kuuhankavedellä tehtyihin mittauksiin verrattuna tulos oli alhaisemmasta päästä. Johtokyky ei ollut koholla edes jäteveden purkautumispisteessä HA 9. Mittaustilanteen ja navigointilaitteen epätarkkuuden vuoksi ei toki voida sanoa, että mittaus olisi tehty täsmälleen pohjalla olleen purkutupken kohdalla. Voidaan todeta, että Kuuhankavedellä jätevesi sekoittui tehokkaasti järviveteen heti purkaututtuaan vesistöön. Kolmen pisteen pohjalla tapahtunut lievä johtokyvyn ja sameuden nousu kertoo hajonneen aineen kerääntymisestä järven syvimpien kohtien pohjimmaiseen kerrokseen. Mittausten perusteella Kuuhankavesi on lievästi samea.

Eufoottinen syvyys oli keskimäärin 3,7 m ja näkösyvyys saman verran, mutta vaihtelu oli suurta pisteiden välillä. Kuitenkin alhaisimmankin näkösyvyyden perusteella (2,6 m pisteellä HA 1) järvi kuuluisi erinomaiseen vedenlaatuluokkaan.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuskohteista Keski-Suomen järvet muistuttivat enemmän toisiaan niin jäteveden purkutavassa kuin järviveden ominaisuuksissa. Yleisesti voidaan todeta jäteveden painuneen enemmän pohjan läheisyyteen kuin asettuvan järven pintakerrokseen. Lisää tutkimusta jätevettä kuljettavista virtauksista, sekä järvi- ja jäteveden sekoittumisesta tarvitaan kuitenkin vielä. Näin on etenkin ajallisten vaihteluiden selvittämiseksi, sillä yhden kesäpäivän tulokset voivat olla hyvin erilaiset kuin esimerkiksi seuraavan talven.

Vanajavedellä puhdistettu jätevesi johdetaan ojaa pitkin järvessä olevaan pitkään kapeikkoon. Ojasta pinnan lähelle purkautunut jätevesi painui nopeasti syvemmälle ja kerääntyi läheiseen syvänteeseen (kuva 6.2). Alapuolisessa Kirstulansalmessa järven kapeneminen sai jäteveden sekoittumaan myös pintaveteen. Kirstulansalmen jälkeen alajuoksulle jätevesi ei enää erottunut mittauksissa. Kapeikon syvemmissä paikoissa havaittiin merkkejä hapettomuudesta. Kapeikon vesi laskee Vanajanselälle selän pohjaa halkovan harjanteen itäpuolelle. Mittauspäivänä oli havaittavissa joitain merkkejä virran kääntymisestä länteen pohjarahjanteen toiselle puolelle, tavanomaisesta poiketen, mutta kaikki tulokset eivät puolla tätä.

Keurusselällä, Petäjävedellä ja Kuuhankavedellä jätevesi johdetaan järvien pohjille putkia pitkin, toisin kuin Vanajavedellä. Keurusselällä ja Kuuhankavedellä jätevesi sekoittui ja laimeni heti järveen tultuaan niin tehokkaasti, ettei sitä voitu havaita mittauksissa. Myös Petäjävedellä laimeneminen oli tehokasta, mutta jätevesi kerääntyi osittain purkupaikalta etelään olevaan syvänteeseen ja osin virtasi vastakkaiseen suuntaan Selkäsaaren taakse (kuva 6.3). Sen sijaan Lehmänkirkussa, missä vesi virtaa ulos Mustaselältä, jätevettä ei havaittu. Kaikki kolme järveä olivat mittausten perusteella lievästi sameita. Sähkönjohtokyky oli Keurusselällä ja Petäjävedellä hyvin matala ja Kuuhankavedellä Suomen oloissa keskimääräinen.

Jotta jäteveden typenpoistumista voitaisiin käytännössä tehostaa vesistön virtauksia hyödyntämällä, on lisätutkimus välttämätöntä. Tässä käsitellyt mittaukset eivät kerro olosuhteiden vaihtelusta järvillä, sillä kaikki mittaukset oli tehty loppukesällä, eikä suurimmalta osalta vuodesta ole lainkaan tietoa. Myös vuosien erilaisuus pitäisi selvittää

tekemällä mittauksia useana vuonna. Tässä voisi hyödyntää osittain jo olemassa olevia seurantojen, velvoitetarkkailujen yms. jo tekemiä mittauksia alueilla.

Vesinäytteitä pitäisi ottaa myös Keski-Suomen järviltä ja lisää Vanajavedeltä, sillä niistä selviää suoraan typen ja fosforin määrä ja muoto. Myös happipitoisuuden voisi tutkia järvillä, mikä vaatii vain sen, että CTD90M-luotaus tehdään tarpeeksi hitaasti, jotta myös happianturi ehtii reagoida muutoksiin. Puhdistamoilta tulevan jäteveden ominaisuudet pitäisi mitata ennen, kuin jätevesi on sekoittunut vesistöön, jotta voidaan tarkemmin verrata mittauspäivänä puhdistamolta tulevaa jätevettä järviveteen. Vanajavedellä tämän voi toteuttaa tekemällä mittauspisteen myös Rautamonojaan, mutta muilla järvillä tieto pitäisi hankkia puhdistamolta.

Vanajavedellä lisämittauksia pitäisi tehdä varsinkin Rautamonojan lähellä. Mittauksia voisi laajentaa myös pidemmälle ojasta ylävirtaan, jolloin saataisiin parempi kuva veden laadusta ilman jäteveden vaikutusta. Tulisi myös selvittää, virtaako jätevesi yleisesti läheiseen syvänteeseen (piste LE 2) vai oliko tilanne 20.7.2011 poikkeuksellinen. Mikäli merkkiainekoe uusittaisiin, seuranta pitäisi ulottaa myös ylävirtaan päin. Lisäksi kulkuvälineenä soutuvene olisi moottorivenettä käytännöllisempi, jotta veneen aiheuttama sekoitus olisi mahdollisimman vähäinen.

8 LÄHTEET

Eloranta, Pertti, 1978. Light penetration in different types of lakes in Central Finland. Holarctic Ecology 1. Kööpenhamina. s.363 – 365.

Frisk, Tom, 1978. Järvien fosforimallit. Vesihallituksen tiedotus n:o 146. Helsinki. s.17

Granberg, K., 2000a. Hankasalmen, Kuuhankaveden, Niemisjärven ja Iso-Kaihlasen rehevöityminen. Kasviplankton vuonna 1998. Keski-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja n:o 29, s. 5, 15 – 17 & 37.

Granberg, K., 2000b. Jämsänveden, Mustaselän ja Karikkoselän tutkimukset vuosina 1996 ja 1998 (Petäjävesi). Keski-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja n:o 37. s. 5 - 6.

Haja-asutuksen jätevesiasetus. 2011. A10.3.2011/209

Hallanaro, E.-L. & Kujala-Räty, K., 2011. Haja-asutuksen jätevedet. Lainsäädäntö ja käytännöt. Ympäristöopas 2011. Helsinki, s. 11, 12, 17.

Horne, A. & Goldman, C., 2001. Limnology. McGraw-Hill Higher Education. s. 133 – 150.

Itä-Suomen ympäristölupavirasto. Päätös Nro 127/07/1. Jaakonsuon jätevedenpuhdistamon ja kompostin toiminnan ympäristölupa, Keuruu. s. 1-3

Juuti Petri, Rajala Riikka & Katko Tapio, 2010. Metropoli ja meri. 100 vuotta jätevedenpuhdistusta Helsingissä. HSY:n julkaisuja 6/2010, Helsinki. s. 13, 24 – 32, 54 - 59.

Juuti, Petri & Rajala, Riikka, 2011. Vinttikaivosta vesiyhtiöön. HS-vesi. Saarijärvi. s. 17, 226

Kaipainen Heikki, Jutila Heli, Bilaletdin Ämer & Frisk Tom, 2009. Vanajaveden vesiensuojelu ja yhdyskuntien jätevesikuormitus. Pirkanmaan ympäristökeskuksen raportteja 1/2009. s. 6 – 10, 27.

Keski-Suomen ympäristökeskus, 31.12.2009. Päätös KSU-2007-Y-479/111. s. 1 - 6.

Keski-Suomen ympäristökeskus, 29.4.2009. Päätös KSU-2008-Y-208/111. s. 2 – 7.

Kojo Pauli, Metsähuone Laina, Rätty Ritva, 1983. Mitä missä milloin 1984 – Kansalaisen vuosikirja. Otava, Keuruu. s. 30.

Lokki Juhani, 1994. Kaunis kotimaa 2. Metsät ja järvet. WSOY, Porvoo. s. 98

Lyytimäki Jari & Hakala Harri, 2008. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Gaudeamus, Helsinki. s. 54, 65.

Maanmittauslaitos, 7.8.2012. Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tietokanta, maastotietokanta. <<https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>>

OIVA - ympäristö- ja paikkatietopalvelu. <<http://www.wp2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>>

Oravainen, R., 1987. Opasvihkonen velvoitetarkkailun tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry, Tampere, 25 s.

Perttilä, Matti, 2006. Meriympäristön kemian perusteet. MERI – Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 53. s. 24 – 25.

Suomen ympäristökeskus, 2009. Yhdyskuntajätevesidirektiiviin perustuvat taajamien viemärointiin ja jätevesien käsittelyyn kohdistuvat vähimmäisvaatimukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2009. s. 11.

Särkkä, J., 1996. Järvet ja ympäristö. Gaudeamus, Tampere, s. 50.

UNESCO, 1981. Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards. Unesco technical papers in marine science 36. Ranska, s. 17, 18.

YSI Incorporated, 2006. YSI 6600 V2 Sonde. USA.

Vuori ym. 2006. Suomen pintavesien tyypittelyn ja ekologisen luokittelujärjestelmän perusteet. Yliopistopaino, Helsinki, s. 26.

Wetzel, Robert G., 200. Limnology. Lake and River Ecosystems. 3. Painos. Academic Press, UK. S. 239 – 246

9 LIITTEET

LIITE 1: Mittauspisteiden koordinaatit

(WGS-84 -koordinaattijärjestelmä)

Vanajavesi 20.7.2011

piste	lev.	pit.	syvyys (m)
LE 1	61.021635	24.438805	5,4
LE 2	61.022737	24.436292	6,2
LE 3	61.025866	24.431339	3,8
LE 4	61.035716	24.423766	7,0
LE 5	61.036244	24.430740	6,0
LE 6	61.037327	24.434336	4,0
LE 7	61.058037	24.406410	4,5
LE 8	61.063478	24.390975	3,5
LE 9	61.074325	24.375735	4,3
LE 10	61.083636	24.366936	9,2
LE 11	61.094383	24.345325	3,8
LE 12	61.103745	24.338751	5,0
LE 13	61.117288	24.315691	4,0
LE 14	61.126091	24.314944	3,7
VAN 2	61.129794	24.247262	14,1
VAN 3	61.138696	24.259823	10,2
VAN 4	61.151727	24.268782	16,2
VAN 7	61.143902	24.229276	15,0
VAN 8	61.156928	24.245845	16,2

Vanajavesi 16.8.2011

piste	lev.	pit.
OJA	61.0225262	24.4312060
P 2	61.0224965	24.4316115
P 3	61.0225755	24.4314921
P 4	61.0225791	24.4324730
P 5	61.0228217	24.4317218
P 6	61.0224833	24.4335305
P 7	61.0229583	24.4322800
P 8	61.0235160	24.4325226
P 9	61.0242067	24.4345205
P 10	61.0251005	24.4328297
LE 3	61.0258659	24.4313389

Keurusselkä 22.8.2011

piste	lev.	pit.
KE 1	62.25224	24.69384
KE 2	62.24821	24.70572
KE 3	62.24182	24.70205
KE 4	62.23881	24.69115
KE 5	62.23673	24.69924
KE 6	62.23538	24.69005
KE 7	62.23433	24.69961
KE 8	62.22896	24.69290
KE 9	62.22619	24.68603
KE 10	62.22441	24.69936
KE 11	62.22213	24.68450
KE 12	62.21967	24.69734
KE 13	62.21216	24.68933

Petäjavesi 23.8.2011

piste	lev.	pit.
PE 1	62.23930	25.19181
PE 2	62.23530	25.19221
PE 3	62.23538	25.19595
PE 4	62.23446	25.19361
PE 5	62.23467	25.19926
PE 6	62.23425	25.19802
PE 7	62.23372	25.19491
PE 8	62.23306	25.19552
PE 9	62.23266	25.18964
PE 10	62.23303	25.20057
PE 11	62.23193	25.19746
PE 12	62.22927	25.19734
PE 13	62.22653	25.20149
PE 14	62.22528	25.21081

Kuuhankavesi 24.8.2011

piste	lev.	pit.
HA 1	62.39249	26.43132
HA 2	62.38412	26.41290
HA 3	62.37307	26.42252
HA 4	62.36924	26.41455
HA 5	62.36526	26.42633
HA 6	62.36378	26.41120
HA 7	62.36039	26.41470
HA 8	62.36328	26.39960
HA 9	62.358901	26.40848

piste	lev.	pit.
HA 10	62.36373	26.38152
HA 11	62.36274	26.38469
HA 12	62.35769	26.39742
HA 13	62.35507	26.40606
HA 14	62.35655	26.38377
HA 15	62.35030	26.39603
HA 16	62.34543	26.40612
HA 17	62.34370	26.39623
HA 18	62.33850	26.41427