



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

HIDASVIRTAUSNÄYTTEENOTTO (LOW FLOW)

Vertailu perinteiseen pohjavesinäytteenottoon

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Ympäristötekniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2013
Tuuli Aalto

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

AALTO, TUULI:

Hidasvirtausnäytteenotto (Low Flow)
Vertailu perinteiseen pohjavesinäytteenottoon

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 91 sivua, 36 liitesivua

Syksy 2013

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. Työ tehtiin kokeellisena tutkimuksena ja sen tavoitteena oli selvittää vaikuttaako näytteenottotekniikan valinta merkittävästi analyysituloksiin verrattaessa perinteistä pohjavesinäytteenottomenetelmää hidaskvirtausnäytteenottoon. Työn tavoitteena oli myös hakea suositus eri menetelmien käytöstä ja selvittää, miten näytteenottotekniikat soveltuvat eri haitta-aineryhmille.

Työssä kohteina olivat entinen teollisuus-, varasto- ja satama-alue Helsingissä sekä neljä huoltoasemaa Etelä-Suomessa. Työn tuloksia käytetään kohteiden pohjavesiseurantatutkimuksissa. Valikoiduista pohjavesiputkista otettiin kahden näytteenottokerran ajan näytteet sekä perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä että hidaskvirtausnäytteenottomenetelmällä. Saatuja tuloksia verrattiin keskenään.

Tähän työhön valikoitujen pohjavesiputkien pitoisuustasot ovat olleet aikaisemmissa tutkimuksissa laskevia, ja tämä trendi näkyi myös työnaikaisten näytteiden tuloksissa. Osa haitta-aineista oli laskenut pitoisuuksiltaan alle määritysrajan, ja nämä rajattiin vertailun ulkopuolelle.

Hidaskvirtausnäytteenottomenetelmän todetaan olevan laadullisesti yhtä luotettava menetelmä kuin perinteinen. Menetelmillä saatiin melko tasaisia tuloksia, pieniä eroja oli havaittavissa. Vähäinen havaintoaineisto ja havaintoaineiston suuri hajonta aiheuttivat epävarmuutta menetelmien välisiä eroja tarkasteltaessa.

Tutkimuksessa käytetyn havaintoaineiston perusteella voidaan todeta, että hidaskvirtausnäytteenotolla voidaan saada niukkaliukoisilla, pääasiassa maainespartikkeleihin sitoutuneilla, haitta-aineilla alhaisempia tuloksia kuin perinteisellä. Se ei kasvata näytteenottolanteessa pohjaveden luonnollista virtaamaa, jolloin näytteessä ovat edustettuna vain normaalilanteessa liikkuvat haitta-aineet.

Asiasanat: hidaskvirtausnäytteenotto, pohjavesinäytteenotto, näytteenottotekniikka

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

AALTO, TUULI:

Comparison of low-flow ground water
sampling and traditional ground water
sampling methods

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering, 91 pages, 36 pages of appendices

Autumn 2013

ABSTRACT

This Bachelor's Thesis was commissioned by FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. The project was done as an experimental study. The goal of this project was to find out if there is a significant difference in results as measured with low flow sampling and traditional ground water sampling methods. The goal was also to find guidelines for the use of the methods and how they work with different contaminants.

There were five different locations used in the project, one former manufacturing, storage and dock site in Helsinki and four gas stations in southern Finland. The samples were collected from each well with low-flow sampling and traditional groundwater sampling methods on two monitoring occurrences. The results were then compared.

Former concentration levels of the monitoring wells have been descendent and this trend can also be seen in the results of this project. Some of the concentration levels of the contaminants have lowered under the definition level and these were left out of the comparison.

The results show that the low-flow sampling method is as reliable as the traditional sampling method. The results of both methods are almost similar, although there are some small differences. The small amount and dispersion of the material caused uncertainty regarding the differences between the methods.

Based on the material of this project, it can be determined that we can get lower concentrations for poorly soluble contaminants, which are mainly bound into soil particles, by using the low-flow sampling method. This is because it does not increase the natural flow of groundwater in sampling and then the sample is being represented only by naturally mobile contaminants. The results of the project are being used in the groundwater monitoring at the sites.

Key words: low-flow sampling, groundwater sampling, sampling method

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN TAUSTAA	2
3	POHJAVEDEN PILAANTUMINEN	3
3.1	Yleistä pohjavedestä	3
3.2	Pohjaveden pilaantuminen	3
3.3	Lainsäädäntö	6
3.4	Haitta-aineet	7
3.4.1	Haitta-aineiden kulkeutuminen	9
3.4.2	Metallit	12
3.4.3	Öljihiilivedyt (C ₅ - C ₄₀)	12
3.4.4	BTEX-yhdisteet	12
3.4.5	Oksygenaatit	13
3.4.6	PAH-yhdisteet	13
3.4.7	Klooratut hiilivedyt	13
3.4.8	Syanidi	14
4	POHJAVESINÄYTTEENOTTO	15
4.1	Yleistä pohjavesinäytteenotosta	15
4.1.1	Pohjavesiputket	16
4.1.2	Pohjavesinäytteenottopumput (nostopumppuja)	17
4.2	Perinteinen pohjavesinäytteenotto	17
4.2.1	Yleistä	17
4.2.2	Tarvikkeet	18
4.2.3	Näytteenotto	18
4.2.4	Hidasvirtausnäytteenotto	19
4.2.5	Yleistä	19
4.2.6	Tarvikkeet	20
4.2.7	Kenttäparametrit	22
4.2.8	Näytteenotto	22
4.3	Muita pohjavesinäytteenottomenetelmiä	23
5	AIEMPIÄ TUTKIMUKSIA	25
5.1	Vertailevia tutkimuksia hidasvirtausnäytteenotosta	25
5.1.1	Comparison of Purge-and-Bail Sampling to Low-Stress Sampling at NPL Site	25

5.1.2	Comparison of Temporal Trends in VOCs as Measured with PDB Samplers and Low-Flow Sampling Methods	25
5.1.3	Investigation of a chalk aquifer: advantages and limitations of diffusion samplers and low-flow sampling techniques	25
5.1.4	Field Comparison of Micropurging vs. traditional Ground Water Sampling	26
5.1.5	Comparison of No-Purge and Pumped Sampling Methods for Monitoring Concentrations of Ordnance-Related Compounds in Groundwater, Camp Edwards, Massachusetts Military Reservation, Cape Cod, Massachusetts, 2009-2010	26
5.1.6	Evaluation of a Small Mechanical and Pneumatic Bladder Pump for Water Quality Sampling	27
5.2	Muita tutkimuksia hidasvirtausnäytteenotosta	27
5.2.1	An analysis of Low-Flow Ground Water Sampling Methodology	27
5.2.2	Numerical Simulations to Assess the Monitoring Zone Achieved during Low-Flow Purging and Sampling	28
5.2.3	Assessment of a Low Purge Volume Technique For the Collection of Groundwater Samples At Brookhaven National Laboratory	28
5.3	Menetelmäohjeet	29
5.3.1	Representative Sampling of Groundwater for Hazardous Substances - Guidance Manual for Groundwater Investigations	29
5.3.2	Low Stress (low flow) purging and Sampling Procedure for the Collection of Groundwater Samples from Monitoring Wells ²⁹	
5.4	Yhteenvedo aiemmista tutkimuksista	29
6	TUTKIMUKSET KEVÄÄLLÄ JA SYKSYLLÄ 2013	31
6.1	Yleistä	31
6.2	Tutkimuskohteiden esittely	31
6.2.1	Kohde A, Kalasatama	31
6.2.2	Kohde B, huoltoasema	32
6.2.3	Kohde C, huoltoasema	33
6.2.4	Kohde D, huoltoasema	33
6.2.5	Kohde E, huoltoasema	33
6.3	Näytteenotto	34
6.3.1	Kenttätyöskentely	34
6.3.2	Huomioita kenttätyöskentelyssä	35

7	TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU	36
7.1	Tutkimustulosten tarkastelu	36
7.2	Kohteiden aikaisemmat analyysitulokset	36
7.2.1	Kohde A	36
7.2.2	Kohde B	37
7.2.3	Kohde C	37
7.2.4	Kohde D	37
7.2.5	Kohde E	37
7.2.6	Aikaisempien analyysitulosten yhteenveto	37
7.3	Haitta-ainekohtainen tarkastelu	38
7.3.1	Taulukoiden ja kuvioiden tulkinnasta	38
7.3.2	Metallit	39
7.3.3	Syanidi	49
7.3.4	BTEX-yhdisteet	50
7.3.5	PAH-yhdisteet	59
7.3.6	Klooratut hiilivedyt	65
7.3.7	Öljihiilivedyt	66
7.3.8	Oksygenaatit	71
7.4	Tilastollinen tarkastelu	76
7.4.1	Näytteenottomenetelmien välinen korrelaatio	77
7.4.2	Johtopäätökset	82
8	YHTEENVETO	84
	LÄHTEET	86
	LIITTEET	92

LYHENNELUETTELO

BTEX-yhdisteet =	Aromaattiset hiilivety-yhdisteet bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleenit, jotka tässä työssä ovat vesinäytteistä seurattavia haitta-aineita
ORP =	Hapetus/pelkistys-potentiaali, joka tässä työssä on yksi hidasvirtausnäytteenottomenetelmässä seurattavista kenttäparametreista ennen varsinaista näytteenottoa
PAH-yhdisteet =	Polyaromaattiset hiilivety-yhdisteet, joka tässä työssä on yksi vesinäytteistä seurattavista haitta-aineryhmistä
PDB =	Diffuusioon perustuva passiivinen näytteenotin (Passive Diffusion Bailer)
VNa =	Valtioneuvoston asetus
VOC-yhdisteet =	Yleisnimitys erilaisille haihtuville orgaanisille yhdisteille

1 JOHDANTO

Työ tehdään Lahden ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä, ja sen toimeksiantajana on FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. Työn tavoitteena on selvittää, vaikuttaako näytteenottotekniikan valinta merkittävästi analyysituloksiin. Työ tehdään kokeellisena tutkimuksena ja siinä verrataan keskenään perinteistä pohjavesinäytteenottomenetelmää ja hidasvirtausnäytteenottoa käytännössä.

Pohjavesinäytteenoton tavoitteena on kerätä luotettavia tutkimustuloksia alueen haitta-ainepitoisuuksista. Näytteiden käsittely ei saa muuttaa näytteiden kemiallista eikä veden laatua. Työn tavoitteena on selvittää, voidaanko menetelmävalinnalla vähentää näytteenotosta aiheutuvaa hajontaa tutkimustuloksissa.

Tutkimuksessa hyödynnetään Helsingin kaupungin kiinteistöviraston ja kaupunkisuunnitteluviraston, ST1 Energy Oy:n sekä Neste Markkinointi Oy:n kohteita. Työn tulokset ovat osana kohteissa meneillään olevia pohjaveden seuranta-tutkimuksia. Työssä tarkastellaan niitä haitta-aineita, joita kohdeputkien aikaisemmissa seuranta-tutkimuksissa on tarkasteltu.

Työn tavoitteena on parantaa ja yhtenäistää toimeksiantajan nykyisiä pohjavesinäytteenottomenetelmiä ja vähentää näytteenotosta aiheutuvaa tulosten vaihtelevuutta. Tavoitteena on myös hakea lisätietoa hidasvirtausnäytteenottomenetelmästä ja tarkastella sen soveltuvuutta vaihtoehtoisena näytteenottomenetelmänä perinteisen pohjavesinäytteenoton rinnalle. Työstä saatuja tuloksia käytetään ohjeistuksena menetelmien käytöstä kohteiden kaltaisissa ympäristöissä työssä vertailtujen haitta-aineiden osalta.

2 TYÖN TAUSTAA

Hidasvirtausnäytteenottoa pohjavesinäytteenottomenetelmänä ei ole aiemmin tutkittu Suomessa. Sen sijaan Amerikassa hidasvirtausnäytteenottoa on tutkittu pohjavesinäytteenottoon soveltuvana menetelmänä jo 1990-luvun puolivälistä lähtien, ja se on standardoitu menetelmä. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy halusi selvittää, vaikuttaako näytteenottotekniikan valinta merkittävästi analyysituloksiin verrattaessa perinteistä pohjavesinäytteenottomenetelmää hidasvirtausnäytteenottoon. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko menetelmävalinnalla vähentää näytteenotosta aiheutuvaa hajontaa tutkimustuloksissa. Työssä tarkasteltiin hidasvirtausnäytteenottomenetelmän soveltuvuutta vaihtoehtoisena näytteenottomenetelmänä perinteisen pohjavesinäytteenoton rinnalle ja haettiin lisätietoa näytteenottomenetelmästä.

Tutkimus tehtiin osana meneillään olevia pohjavesiseurantoja valikoiduissa kohteissa. Kahden näytteenottokerran ajan pohjavesiputkista otettiin näytteet sekä hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä että perinteisellä menetelmällä ja ympäristölaboratoriossa analysoitiin aiemmin kohteissa tutkittuja haitta-aineita. Saatuja tuloksia verrattiin keskenään.

Tutkimukseen valittiin pohjavesiputkia, joissa on aiemmin esiintynyt haitta-aineista metalleja, syanidia, kloorattuja yhdisteitä, BTEX- ja PAH-yhdisteitä, öljyhiilivetyjä ja oksygenaatteja. Kohteina olivat entinen teollisuus-, varasto- ja satama-alue Helsingissä sekä neljä huoltoasema-aluetta Etelä-Suomessa.

Ensimmäinen kohde on 75 hehtaarin suuruinen teollisuus-, varasto- ja satama-alue, jota on laajennettu meritäytöllä 1860-luvulta lähtien. Alueen välittömässä läheisyydessä sijaitsee vesialueita. Alue on pilaantunut nykystandardien mukaan hallitsemattomasti tehtyjen meritäyttöjen ja teollisen toiminnan yhteydessä. Muut kohteet ovat joko purettuja tai edelleen toiminnassa olevia huoltoasemia, joissa on suoritettu pohjavesitarkkailua vuosista 1995 - 2010 lähtien. Kohteista yksi sijaitsee I-luokan pohjavesialueella.

Tutkimuksessa on hyödynnetty Helsingin kaupungin kiinteistöviraston ja kaupunkisuunnitteluviraston, ST1 Energy Oy:n sekä Neste Markkinointi Oy:n kohteita.

3 POHJAVEDEN PILAANTUMINEN

3.1 Yleistä pohjavedestä

Pohjavedellä on lainsäädännössä monia määritelmiä. Ympäristönsuojelulaissa (4.2.2000/86 1 luku 3 §) ja vesilaissa (27.5.2011/587 1 luku 3 §) pohjavedellä tarkoitetaan maa- tai kallioperässä olevaa vettä. Laissa vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (30.12.2004/1299 1 luku 3 §) pohjavedellä tarkoitetaan vettä, joka on maan pinnan alla kyllästyneessä vyöhykkeessä ja suorassa yhteydessä kallio- tai maaperään. Keskimäärin pohjavedenpinta Suomessa on noin 7 metrin syvyydessä maanpinnasta (Britschgi, Antikainen, Ekholm-Peltonen, Hyvärinen, Nylander, Siiro & Suomela 2009, 31).

Pohjavettä muodostuu sade- ja pintaveden imeytyessä maakerrosten läpi (Suomen ympäristökeskus 2012b). Maalaji vaikuttaa voimakkaasti pohjaveden muodostumiseen: hiekka- ja sora-alueilla 30 - 60 % sadannasta suotautuu pohjavedeksi, kun taas moreenialueilla vain noin 10 % ja savi- ja kallioalueilla suotautuminen on vielä vähäisempää (Suomen ympäristökeskus 2011).

Pohjavesialueet luokitellaan seuraavaan kolmeen luokkaan suojelutarpeensa ja käyttökelpoisuutensa mukaan: I. Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue, jonka pohjavettä käytetään tai tullaan käyttämään 20 - 30 vuoden kuluessa, II. Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue on alue, joka soveltuu vedenottoon, mutta sille ei ole toistaiseksi käyttöä ja III. Muu pohjavesialue, jonka käyttö vaatii lisätutkimuksia (Britschgi ym. 2009, 14). Vedenhankinnan kannalta parhaat pohjavesivarat sijaitsevat alueilla, joilla on sora- ja hiekkamuodostumia (Karvonen, Taina, Gustafsson, Mannio, Mehtonen, Nystén, Ruoppa, Sainio, Siimes, Silvo, Tuominen, Verta, Vuori & Äystö 2012, 66).

3.2 Pohjaveden pilaantuminen

Pohjaveden pilaantuminen tarkoittaa pohjaveden laadun heikkenemistä vedenhankintakäyttöön soveltuvalla alueella tai terveyttä tai ympäristöä vaarantavaa tai haittaavaa muutosta pohjaveden laadussa (Ympäristöministeriö 2013).

Alun perin pohjavesien laadun arviointia painotettiin niiden käytössä juomavetenä. Kun tietoisuus pohjavesivarojen pilaantuneisuudesta kasvoi, lisääntyi ymmärrys hydrogeokemiallisista prosesseista haitta-aineiden hallinnassa ja kulkeutumisessa. Tämä vaikutti myös pohjavesinäytteenottovälineistön paranemiseen. Pohjaveden pilaantuneisuuden tutkimuksissa lainattiin ideoita, toimintatapoja ja materiaaleja vesihuoltoalalta ja vesianalyysejä julkisen terveyden toiminnoilta. Myöhemmin selvisi heterogeenisyyden rooli geologisissa, fysikaalisissa, kemiallisissa ja biologisissa pinnanalaisissa prosesseissa. Pienemmän mittakaavan prosessit ja heterogeenisuus osoittautuivat merkittäviksi pilaantuneisuuden levinneisyyden määrittämisessä sekä veden ja haitta-aineiden virtaaman kulun hallinnassa. (U.S. Environmental Protection Agency 1996, 1 - 2.)

Pilaavat aineet pääsevät ihmistoiminnan seurauksena pohjaveteen joko suorasti tai epäsuorasti. Suora päästö tarkoittaa pilaavien aineiden suotautumista maa- tai kallioperän kautta ja epäsuora suotautumista maa- tai kallioperän läpi. (Karvonen ym. 2012, 66.) Suurin pohjaveden pilaantumisriski on hiekka- ja soramailla, jotka ovat hyvin vettä ja haitta-aineita läpäiseviä (Suomen ympäristökeskus 2012a). Pohjavesi voi pilaantua joko piste- tai hajakuormituksena. Hajakuormitustapauksessa pohjavesialueeseen kohdistuu kuormitusta, joka on peräisin useasta eri päästölähteestä, pistekuormituksessa päästö on peräisin yhdestä päästölähteestä. (Rintala, Hyvärinen, Illmer, Nylander, Pulkkinen, Rantala & Siiro 2007, 34.)

Pohjaveden laadussa ja määrissä on alueellisia vaihteluja (Britschgi ym. 2009, 54). Laatuun vaikuttavat kaikki ne toiminnot, joiden yhteydessä käsitellään, kuljetetaan tai varastoidaan pohjaveden laadulle haitallisia aineita (Karvonen ym. 2012, 68). Merkittävää riskiä pohjaveden laatuun aiheuttavat teollisuuden ja yritystoiminnan kemikaalipäästöt, liikenteen suolaus, torjunta-aineet, polttoaine- ja kemikaalipäästöt, maa- ja metsätalouden lannoitteet sekä taajama- ja haja-asutusalueiden jätevesi- ja polttoainevuodot. Lisäksi merkittävää riskiä pohjaveden laatuun voivat aiheuttaa myös pohjaveden laadun muutokset ja vedenpinnan aleneminen, jotka voivat aiheutua liiallisesta pohjavedenotosta tai maa-aineksenotosta. (Britschgi ym. 2009, 31.)

Ympäristönsuojelulain (86/2000) mukaisen ympäristöluvan vaativat toiminnot on esitetty ympäristönsuojeluasetuksen (18.2.2000/169) 1 luvun 1 momentissa. Ym-

päristöluvan vaativia toimintoja ovat muun muassa teollisuus-, laitos- ja tehdas-toiminta, maa-aineksen otto, jätevesien käsittely ja kaatopaikkatoiminta. Ympäristölupia on myönnetty muun muassa huoltamoille, teollisuus- ja maataloustoiminoille, moottoriurheilu- ja ampumaradoille. (Orvomaa 2008, 30 - 32.) Taulukossa 1 on esitetty esimerkkejä pilaantumista aiheuttavista toimialoista ja niihin liittyvistä haitta-aineista.

TAULUKKO 1. Esimerkkejä maaperän ja pohjaveden pilaantumista mahdollisesti aiheuttavista haitta-aineista ja toimialoista (Karvonen ym. 2012, 68)

Toimiala	Mahdolliset haitta-aineet	Mahdolliset lähteet
Polttoaineen jakelu	Öljyhiilivedyt, Pb, MTBE, TAME	Polttoainee ja niiden lisäaineet
Korjaamot, maalaamot ja romuttamot	Öljyhiilivedyt, metallit (mm. Pb, Cu), dioksiinit ja furaanit sekä PCB:t	Jäteöljyt, akut, kaapeleiden muovit, kondensaattorit ja muuntajat, liuottimet, maalit ja ruosteenestoaineet
Sahat ja kyllästämöt	Kloorifenolit, dioksiinit ja furaanit, PAH-yhdisteet, As, Cu, Cr	Kyllästys- ja puunsuoja-aineet
Ampumaradat	Pb	Luodit ja haulit
Kaatopaikat	Lähes mitä vain	
Pesulat	Perkloorietyleni	Pesuaineet

3.3 Lainsäädäntö

Pohjavedensuojelun perusta on ympäristönsuojelulaissa. Ympäristönsuojelulain (4.2.2000/86) 8 §:n pohjaveden pilaamiskiellon tarkoituksena on suojella vedenhankintaan soveltuvia pohjavesiä (Britschgi ym. 2009, 17 - 19).

Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86 (1:8)

Pohjaveden pilaamiskielto

Ainetta tai energiaa ei saa panna tai johtaa sellaiseen paikkaan tai käsitellä siten, että

1) tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua;

2) toisen kiinteistöllä oleva pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai kelpaamattomaksi tarkoitukseen, johon sitä voitaisiin käyttää; tai

3) toimenpide vaikuttamalla pohjaveden laatuun muutoin saattaa loukata yleistä tai toisen yksityistä etua (pohjaveden pilaamiskielto).

TAULUKKO 2. Taulukko pohjavesien kannalta olennaisesta EU-lainsäädännöstä

Direktiivi		Direktiivin tarkoitus
Juomavesidirektiivi	98/83/EY	Direktiivi ihmisen käyttöön tarkoitetusta veden laadusta (YM)
Pohjavesidirektiivi	2006/118/EY	Direktiivi pohjaveden suojelusta pilaantumiselta ja huononemiselta (YM)
Vesipuitedirektiivi	2000/60/EY	Direktiivi yhteisön vesipolitiikan puitteista (YM)

TAULUKKO 3. Taulukko pohjavesien kannalta olennaisesta kansallisesta lainsäädännöstä

Laki / asetus		Lain / asetuksen tarkoitus
Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä	1299/2004	Suojella, parantaa ja ennallistaa vesiä niin, ettei niiden tila heikkene ja että vesistöjen tila on vähintään hyvä vuonna 2015 (SYKE)
Vesihuoltolaki	119/2001	Turvata sellainen vesihuolto, että kohtuullisin kustannuksin on saatavissa riittävästi terveydellisesti ja muutoinkin moitteetonta talousvettä sekä terveyden- että ympäristösuojelun kannalta asianomainen viemäriönti (Finlex)
Vesilaki	587/2011	Ehkäistä ja vähentää vedestä ja vesiympäristön käytöstä aiheutuvia haittoja ja parantaa vesivarojen ja ympäristön tilaa (Finlex)
Ympäristönsuojelulaki	86/2000	Määrittää pohjavedenpilaamiskiellon (SYKE)
Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä	341/2009	Säädetään vesienhoitosuunnitelmaan sisällytettävistä selvityksistä, vesien tilan arvioimisesta ja seurannasta sekä vesienhoitosuunnitelman laatimisesta (Finlex)
Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista	868/2010	Suojella pinta- ja pohjavesiä ja parantaa niiden laatua ehkäisemällä vaarallisista ja haitallisista aineista aiheutuvaa pilaantumista ja sen vaaraa (Finlex)

3.4 Haitta-aineet

Valtioneuvoston asetuksen vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (342/2009) liitteessä 1 E on luetteloitu vaarallisia aineita ja aineita, jotka ovat pohjavedelle tai ihmisen terveydelle vaarallisia. Kyseisiä aineita ei saa päästää suoraan tai välillisesti pohjaveteen. (Karvonen ym. 2012, 19 - 20.) Liitteen 1 E mukainen luettelo on esitetty liitteessä 1.

Taulukossa 4 esitellään talousveden laatuvaatimuksia ja -suosituksia sekä pohjavettä pilaavien aineiden ympäristölaatonormit tutkimuksessa tutkittujen haitta-aineiden osalta. Esitetyt laatuvaatimukset- ja suositukset sekä ympäristölaatonormit ovat nähtävissä myös liitteen 4 työnaikaisten näytteiden taulukossa.

TAULUKKO 4. Talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset (STMa 461/2000) ja pohjavettä pilaavat aineet ja niiden ympäristölaatonormit (VNa 341/2009)

	Yksikkö	Laatuvaatimus (STMa 461/2000)	Laatusuositus (STMa 461/2000)	Pohjaveden ympäristölaatonormi (Vna 341/2009)
Sähkönjohtavuus	(μ S/cm)		<2 500	
Kloridi	(mg/l)		250	25
Sulfaatti	(mg/l)		250	150
Natrium	(mg/l)		200	
Ammoniumtyppi	(mg/l)		0,4	0,2
pH			6,5-9,5	
Arseeni (liuk.)	(μ g/l)	10		5
Arseeni (kok.)	(μ g/l)	1000		
Kadmium (liuk.)	(μ g/l)	5		0,4
Koboltti (liuk.)	(μ g/l)			2
Kromi (liuk.)	(μ g/l)	2		10
Kupari (liuk.)	(mg/l)	2		0,02
Elohopea (liuk.)	(μ g/l)	1		0,6
Elohopea (kok.)	(μ g/l)		50	
Nikkeli (liuk.)	(μ g/l)	20		10
Lyijy (liuk.)	(μ g/l)	10		5
Antimoni (liuk.)	(μ g/l)	5		2,5
Antimoni (kok.)	(μ g/l)	10		
Sinkki (liuk.)	(μ g/l)			60
Syanidi	(μ g/l)	50		

(jatkuu)

TAULUKKO 4. (jatkuu)

	Yksikkö	Laatuvaatimus (STMa 461/2000)	Laatusuositus (STMa 461/2000)	Pohjaveden ympäristölaatinormi (Vna 341/2009)
Bentseeni	(µg/l)	1		0,5
Tolueeni	(µg/l)			12
Etyylibentseeni	(µg/l)			1
Ksyleenit	(µg/l)			10
1,2- Diklooribentseeni	(µg/l)			0,3
1,2,4- Trikllooribentseeni	(µg/l)			2,5
Dikloorimetaani	(µg/l)			10
Kloroformi	(µg/l)			100
1,2-Dikloorietaani	(µg/l)	3		
Dikloorieteenit	(µg/l)			25
Triklloorieteeni	(µg/l)	10		5
Tetrakloorieteeni	(µg/l)	10		5
Vinyylikloridi	(µg/l)	0,5		0,15
MTBE	(µg/l)			7,5
TAME	(µg/l)			60
C ₁₀ -C ₄₀	(µg/l)	5 000		50

3.4.1 Haitta-aineiden kulkeutuminen

Haitta-aineet voivat kulkeutua maaperässä liukoisessa muodossa, maainespattikkeleihin kiinnittyneinä tai kaasuna. Pääasiallinen kulkeutumismekanismi on veden mukana. Kulkeutumiseen vaikuttavat maaperän ominaisuuksista veden virtaama, maaperän vedenläpäisevyys, kerroksellisuus, koostumus ja kemialliset olosuhteet. Kulkeutumiseen vaikuttavat myös haitta-aineiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, kuten vesiliukoisuus, höyrypaine, molekyylipaino ja polaarisuus.

Haitta-aineiden kulkeutumista vähentävät muun muassa kertyminen eliöihin, sitoutuminen maaperään sekä haihtuminen. Myös haitta-aineiden ominaisuudet vaikuttavat kulkeutumattomuuteen.

Haitta-aineiden kulkeutuminen on vilkkainta hyvin vettä läpäisevissä sora- ja hiekkamaassa ja hitainta heikosti vettäläpäisevillä savimailla. Haitta-aineiden kulkeutuminen voi estyä, jos ne pidättyvät maaperään. Haitta-aineiden pidättyminen riippuu kuitenkin haitta-aineen sekä maaperän ominaisuuksista. (Heikkinen 2000, 11 - 12, 15.) Taulukossa 5 esitellään haitta-aineiden fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia.

TAULUKKO 5. Haitta-aineiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet (Otte, Lijzen, Otte, Swartjes & Versluijs 2001, 121 - 123; Reinikainen 2007, 42, 152)

	Vesiliukoisuus (S) [mg/l]	Kulkeutuvuus (K_d/K_{oc}) [l/kg]	Höyrypaine (V_p) [Pa]	Henryn lain vakio eli haihtuvuus (H)	Kertyvyys ($\log K_{ow}$)
Arseeni		9,80E+02			
Kadmium		1,90E+02			
Koboltti		1,20E+02			
Kromi		1,44E+04			
Kupari		5,40E+02			
Elohopea		3,30E+03			
Nikkeli		5,60E+02			
Lyijy		2,38E+03			
Antimoni		8,50E+01			
Sinkki		2,50E+02			
Vanadiini		3,09E+02			
Bentseeni	1,99E+03	1,87E+00	9,51E+03	1,59E-01	2,13E+00
Tolueeni	6,11E+02	2,09E+00	2,96E+03	1,90E-01	2,73E+00
Etyyli-bentseeni	1,59E+02	2,53E+00	9,53E+02	2,70E-01	3,15E+00
Ksyleenit	2,09E+02	2,41E+00	7,76E+02	1,69E-01	3,16E+00
1,2-Dikloori-bentseeni	1,40E+02	2,60E+00	1,30E+02	5,80E-02	3,43E+00
1,2,4-Trikloori-Dikloori-metaani	1,88E+01	3,28E+00	4,07E+01	1,09E-01	4,05E+00
Kloroformi	9,39E+03	1,66E+00	2,01E+04	1,09E-01	
1,2-Dikloori-etaani	1,02E+04	1,49E+00	7,39E+03	3,05E-02	1,47E+00
Dikloori-eteenit	7,76E+02	1,82E+00	1,55E+04		1,27E+00
Trikloori-eteeni	1,16E+03	2,06E+00	5,81E+03	2,78E-01	2,61E+00
Tetrakloori-eteeni	1,19E+02	2,42E+00	1,57E+03	9,29E-01	3,40E+00
Vinyylkloridi	4,28E+02	1,56E+00	2,98E+05	1,85E+01	1,52E+00
MTBE	2,89E+04	1,13E+00	1,76E+04		9,40E-01

(jatkuu)

TAULUKKO 5. (jatkuu)

	Vesiliukoisuus (S) [mg/l]	Kulkeutuvuus (K _d /K _{oc}) [l/kg]	Höyrypaine (V _p) [Pa]	Henryn lain vakio eli haihtuvuus (H)	Kertyvyys (logK _{ow})
EC ₅ -EC ₆ (alifaattiset öljyhiilivedyt)	2,80E+01	2,90E+00	5,00E+04	4,70E+01	3,52E+00
EC ₆ - EC ₈ (alifaattiset öljyhiilivedyt)	4,20E+00	3,60E+00	8,61E+03	5,00E+01	3,60E+00
EC ₈ -EC ₁₀ (alifaattiset öljyhiilivedyt)	3,25E-01	4,50E+00	8,21E+02	5,50E+01	3,69E+00
EC ₁₀ -EC ₁₂ (alifaattiset öljyhiilivedyt)	2,61E-02	5,40E+00	7,90E+01	6,00E+01	3,76E+00
EC ₁₂ -EC ₁₆ (alifaattiset öljyhiilivedyt)	5,90E-03	6,70E+00	3,55E+00	6,90E+01	3,85E+00
EC ₁₆ -EC ₃₅ (alifaattiset öljyhiilivedyt)	9,99E-06	8,80E+00	1,72E-01	8,70E+01	3,97E+00
EC ₅ -EC ₇ (aromaattiset öljyhiilivedyt)	2,20E+02	3,00E+00	1,11E+04	1,50E+00	3,53E+00
EC ₇ -EC ₈ (aromaattiset öljyhiilivedyt)	1,30E+02	3,10E+00	3,24E+03	8,20E-01	3,54E+00
EC ₈ -EC ₁₀ (aromaattiset öljyhiilivedyt)	6,50E+01	3,20E+00	8,21E+02	3,90E-01	3,55E+00
EC ₁₀ -EC ₁₂ (aromaattiset öljyhiilivedyt)	2,50E+01	3,40E+00	7,90E+01	1,30E-01	3,58E+00
EC ₁₂ -EC ₁₆ (aromaattiset öljyhiilivedyt)	5,80E+00	3,70E+00	3,55E+00	2,80E-02	3,61E+00
EC ₁₆ -EC ₂₁ (aromaattiset öljyhiilivedyt)	6,50E-01	4,20E+00	1,72E-01	1,90E-02	3,66E+00
EC ₂₁ -EC ₃₅ (aromaattiset öljyhiilivedyt)	6,60E-02	5,10E+00	1,70E-05	1,70E-05	3,74E+00

Taulukosta 5 voidaan nähdä, että esimerkiksi yhdisteistä bentseeni on hyvin liukeneva, erittäin haihtuva ja ei kertyvä, kun taas aromaattisista öljyhiilivedyistä C₂₁-C₃₅ on hyvin niukkaliukoinen, heikosti haihtuva ja erittäin kertyvä.

3.4.2 Metallit

Metallien ohjeavot (VNa 341/2009) määräytyvät pääasiassa ekologisten riskien perusteella, sillä metallien aiheuttamia terveysriskejä esiintyy vasta suuremmissa pitoisuuksissa. Suomen maa- ja kallioperässä on sekä yleisesti esiintyviä (arseeni ja sinkki) että hyvin vähän esiintyviä (antimoni) metalleja. Jotkut metallit aiheuttavat pohjaveden pilaantumisriskin jo pienemmissä pitoisuuksissa, tällaisia ovat muun muassa antimoni, arseeni ja koboltti. Nämä metallit voivat olla maaperässä helposti liikkuvia ja kulkeutua pohjaveteen. Metallit voivat olla vesieliöstölle joko erittäin myrkyllisiä (muun muassa antimoni, koboltti, nikkeli ja sinkki) tai tiettyinä yhdisteinä myrkyllisiä (arseeni, kupari ja lyijy). Maaperässä esiintyy myös heikosti kulkeutuvia metalleja, kuten lyijy, joka kadmiumin ohella kertyy ravintoketjussa. Metallit voivat olla myös tärkeitä hivenaineita (koboltti, kupari, nikkeli ja sinkki) pieninä pitoisuuksina. Metalleja käytetään ja pääsee luontoon niin teollisuuden, ampumaratojen, puunsuojauksen kuin elektroniikkatavaran mukana. (Reinikainen 2007, 76, 92 - 101.)

3.4.3 Öljyhiilivedyt (C₅ - C₄₀)

Kevyt polttoöljy, petroli ja bensiini ovat öljytuotteista haitallisimpia pohjavedelle. Öljy pidättäytyy maaperään ja liukenee veteen erilaisina hiilivetyinä. Pohjaveteen liunneet hiilivedyt aiheuttavat haju- ja makuhaittoja (Suomen ympäristökeskus 2012c). Raskaat öljyjakeet (voiteluöljy, raskas polttoöljy) pidättäytyvät maaperään eivätkä liukene veteen eivätkä näin ollen aiheuta pohjaveden pilaantumista. (Reinikainen 2007, 158 - 159.)

3.4.4 BTEX-yhdisteet

BTEX-yhdisteet (aromaattiset hiilivety-yhdisteet bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni) ovat vesiliukoisia, herkästi haihtuvia haitta-aineita, jotka kulkeutuvat helposti maaperässä. BTEX-yhdisteet tuotetaan maaöljystä ja niitä pääsee maaperään tyypillisesti bensiinin käytön ja varastoinnin seurauksena. Yhdisteet ovat myrkyllisiä vesieliöille. (Reinikainen 2007, 77, 103 - 106.)

3.4.5 Oksygenaattit

MTBE ja TAME ovat bensiinin lisäaineina käytettäviä vesiliukoisia, herkästi haihtuvia haitta-aineita, jotka kulkeutuvat helposti maaperässä ja jo pieninä pitoisuuksina voivat aiheuttaa pohjavedenpilaantumisriskin. Tyypillisin päästö maaperään ja sitä kautta pohjaveteen on bensiinin käytön ja varastoinnin seurauksena. Aineille tyypillistä on hidas hajoaminen pohjavedessä. (Reinikainen 2007, 76 - 77, 107.)

3.4.6 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteitä eli polyaromaattisia hiilivetyjä esiintyy luontaisesti raakaöljyssä ja niitä syntyy myös epätäydellisen palamisen yhteydessä, jolloin ne esiintyvät kaasumaisessa muodossa tai hiukkasina (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2011). Yhdisteet ovat veteen niukkaliukoisia, heikosti haihtuvia ja pidättäytyvät maan orgaaniseen ainekseen, mikä vähentää liikkuvuutta. Yhdisteitä pääsee maaperään esimerkiksi poltto- ja voiteluöljypäästöinä, kreosootista tai teollisuuden ja liikenteen päästöistä. PAH-yhdisteet ovat vesieliöstölle myrkyllisiä. (Reinikainen 2007, 78, 108 - 114.)

3.4.7 Klooratut hiilivedyt

Klooratut aromaattiset yhdisteet ovat liuottimina, lisäaineina ja muiden yhdisteiden valmistuksessa käytettäviä, heikosti kulkeutuvia, vesiympäristölle erittäin myrkyllisiä, huonosti hajoavia ja eliöihin kertyviä yhdisteitä (Reinikainen 2007, 120 - 121). Klooratut alifaattiset yhdisteet ovat maaperässä herkästi kulkeutuvia ja vesiliukoisia, helposti haihtuvia ja pohjavedessä hitaasti hajoavia yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa pieninäkin pitoisuuksina pohjaveden pilaantumisriskin (Reinikainen 2007, 70 - 71, 115 - 119).

3.4.8 Syanidi

Syanidi koostuu kolmoissidoksella toisiinsa liittyneistä hiili- ja typpi-atomeista (CN). Syanidin haitallisin muoto on vapaa syanidi, jota esiintyy syanidi-anionia ja vetysyanidina (HCN). Syanidi on reaktiivinen ja muodostaa suoloja. Natriumin-, kalium- ja kalsiumsyanidin suolat ovat myrkyllisiä, koska ne liukenevat herkästi veteen. Metallisyaniidiyhdisteet ovat vähemmän haitallisia kuin vapaasyanidi, mutta niiden hajoamisesta vapautuu vapaata syanidia ja mahdollisesti haitallisia metalleja. Syanidi voi olla voimakkaasti haitallinen jo pieninä pitoisuuksina ja vesieliöt ovat erityisen herkkiä syanidille altistumiselle. Syanidin suolojen ja yhdisteiden pysyvyys riippuu pH:sta, ja näin ollen niiden ympäristövaikutukset voivat vaihdella. (International Cyanide Management Code 2013.)

4 POHJAVESINÄYTTEENOTTO

4.1 Yleistä pohjavesinäytteenotosta

Pohjavesinäytteenoton tavoitteena on kerätä tutkimustuloksia, jotka ilmentävät alueen tilaa. Tutkimustuloksiin sisältyy tilastollista vaihtelua fysikaalisten ominaisuuksien ja haitta-aineiden pitoisuuksien vuoksi. Tulosten edustavuutta voidaan pyrkiä parantamaan näytteenottotekniikoiden valinnoilla näytteenotosta aiheutuvien häiriöiden rajoittamiseksi. (U.S. Environmental Protection Agency 1996, 3.)

Pohjavesiputkien asentamisessa käytetyt materiaalit ja näytteenottovälineet voivat vaikuttaa kerättyjen näytteiden veden laatuun ja kemiaan. Näihin luetaan mukaan monet perinteiset pohjavesinäytteenottomenetelmät (McCall 2005, 142). Näytteenottovälineistön valinnan tulisi perustua tutkittaviin haitta-aineisiin, ja käytetty välineistö, menetelmä, pohjavesiputken rakenne, toiminta ja huolto sekä näytteiden käsittely eivät saisi muuttaa näytteen kemiallista (California Environmental Protection Agency 2008, 2, 12).

Pohjavesiputkessa oleva vettä pidetään yleisesti epäedustavana näytteenottoon ja se huuhdellaan, koska ilman läsnäolo vaikuttaa vesipatsaan happipitoisuuteen ja voi aiheuttaa kemiallisia muutoksia (U.S. Environmental Protection Agency 1996, 4). Pohjavesiputkeen näytteenoton aikana virtaavan veden vertikaalista levinneisyyttä pidetään tärkeimpänä tekijänä pohjavesinäytteen kemiallisten pitoisuuksien hallinnassa (Varljen, Barcelona, Obereiner & Kaminski 2006, 45).

Pohjavesinäytteenoton nykypäivän ongelmat liittyvät pohjavesikerroksen heterogeenisyyteen ja kolloidiseen kulkeutumiseen. Pohjavesikerroksessa on geologista, geokemiallista, hydrologista ja mikrobiologista vaihtelua. (U.S. Environmental Protection Agency 1996, 2.)

Kaikki tyhjennysmenetelmät eivät sovellu kaikille kohteille. Esimerkiksi perinteinen pohjavesinäytteenottomenetelmä voi havaita pilaantuneisuutta, kun taas hidasvirtausnäytteenotto samassa kohteessa ei. Tämä voi johtua esimerkiksi eroavista nesteiden vaikutuksista. Pumpun syvyyden tulisi määräytyä valitun tyhjennysmenetelmän, pumpun, pohjavesikerroksen ja pohjavesiputken omi-

naisuuksien ja haitta-aineiden fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksien mukaan. (California Environmental Protection Agency 2008, 9.)

4.1.1 Pohjavesiputket

Maaperä- ja geologiatiedot vaaditaan putkia asennettaessa. Yksityiskohtainen tieto pohjaveden virtausnopeudesta, suunnasta sekä horisontaalisesta ja vertikaalisesta vaihtelusta vaikuttavat olennaisesti tutkimustulosten tulkintaan. (U.S. Environmental Protection Agency 1996, 2, 5.)

Pilaantumisen laajuuden selvittämiseksi putket asennetaan haitta-ainelähteen virtaussuunnan alapuolelle. Pohjavesinäytteet otetaan pääasiassa näytteenottoa varten asennetuista pohjavesiputkista, mutta myös pohjavesikaivoista, lähteistä ja pohjavesilammikoista. (Karvonen ym. 2012, 84.) Seka- ja hajapilaantuneissa kohteissa, joiden maaperä on voimakkaan heterogeenistä ja joissa pohjaveden virtaussuunta vaihtelee voimakkaasti pienellä alueella, pohjavesiputket pyritään sijoittamaan siten, että kulkeutuvien haitta-aineiden levinneisyys saadaan luontevasti selvitettyä. Samalla pyritään selvittämään pohjaveden paikalliset virtaussuunnat.

Pohjavesiputkien erot liittyvät putken materiaaleihin, rakenteisiin ja läpimittoihin. Muoviputket soveltuvat teräsputkia paremmin pohjavesinäytteenottoon kuin teräsputket, sillä teräsputket ruostuessaan voivat päästää analysoitavia aineita näytteeseen. Teräsputket soveltuvat parhaiten pohjavedenpinnan määrittämiseen. Muoviputket ovat tavallisimmin PVC- tai PEH-muovia ja sisähalkaisijaltaan 52 millimetriä. Muoviputki koostuu noin 1 - 2 metrin pituisista umpi- ja siiviläputkesta. Siiviläputken raot ovat 0,1 - 0,5 millimetriä maakerroksen raekoosta riippuen ja sijoitetaan parhaiten vettäjohtavaan maakerrokseen. Maanpinnan yläpuolinen osa suojataan yleensä teräksestä valmistetulla suojaputkella ja lukittavalla kansirakenteella. (Rintala & Suokko 2009, 16 - 17.)

4.1.2 Pohjavesinäytteenottopumput (nostopumppuja)

Suomessa pohjavesinäytteenotossa käytetään pääasiassa alla esitettyjen kaltaisia nostopumppuja, jotka lasketaan pohjaveteen.

- Whale on pienakkukäyttöinen näytteenottopumppu, jonka maksimi pumppausvyvyys on 18 metriä ja tuottavuus 1,9 litraa/ minuutti.
- Super Twister on akkukäyttöinen näytteenottopumppu, jonka maksimi pumppausvyvyys on 26 metriä ja tuottavuus 3,7 litraa/ minuutti.
- SS-Monsoon on akkukäyttöinen näytteenottopumppu, jonka maksimi pumppausvyvyys on 40 metriä ja tuottavuus 0,95 litraa/ minuutti (GWM-ENGINEERING 2013a). SS-Monsoon pumppu on esitetty kuvassa 1. Hidasvirtausnäytteenottoa varten pumpun tuottoa voidaan säädellä erillisellä säätimellä (Proactive Environmental Products 2013b).



KUVA 1. SS-Monsoon pumppu (Proactive Environmental Products 2013b)

4.2 Perinteinen pohjavesinäytteenotto

4.2.1 Yleistä

Yleisin pohjavesinäytteenottomenetelmä on tyhjentää kolmesta viiteen kertaa putken tilavuus, jonka jälkeen suoritetaan näytteenotto (U. S. Environmental Protection Agency 1996, 2). Tämä lähestymistapa perustuu tutkimuksiin, jotka osoittavat, että pH ja sähkönjohtavuus stabiloituvat, kun pohjavesiputken on tyhjennetty

vettä kolmesta viiteen kertaa sen sisältämän vesipatsaan tilavuus (Kearl, Korte, Stites & Baker 1994, 183).

Nykyiset pohjavesinäytteenottotekniikat laskevat vedenpinnan tasoa. Vedenpinnan tason lasku voi aiheuttaa kulkeutumista orgaanisessa ja epäorgaanisessa haitta-aineksessa, joka normaalitilanteessa ei välttämättä lähtisi liikkeelle pohjaveden mukana. (Sevee, White, Maher 2000, 87 - 88.) Tästä voi aiheutua haitta-aineiden ylitulkintaa (U. S. Environmental Protection Agency 1996, 2). Haitta-aineiden ylitulkinta voi vaikuttaa menetelmällä saatuihin tutkimustuloksiin (GWM-ENGINEERING 2013c).

4.2.2 Tarvikkeet

Suomessa pohjavesinäytteenotossa käytetään pääasiassa nostopumppuja, jotka lasketaan pohjaveteen. Yleisimmät kentällä näytteenoton yhteydessä kenttämittareilla tehdyt määrittelyt ovat sameus, sähkönjohtavuus, pH, happi-, hiilidioksidi- ja rautapitoisuus sekä lämpötila ja pohjavedenpinnan korkeus, mutta konsulttitoimistot teettävät pääasiassa kemialliset analyysit laboratoriossa. (Rintala & Suokko 2008, 20 - 24.)

Näytepullot valitaan tutkimuksessa tehtävien määrittelysten mukaisesti. Fysikaalis-kemiallisiin epäorgaanisten aineiden määrittelyyn soveltuvat polyeteenimuovista valmistetut, värittömällä kierretulpalla valmistetut muovipullot, orgaanisten yhdisteiden, kaasumaisten yhdisteiden, pH:n ja sähkönjohtavuuden analysointiin lasiset, hiostulpalliset pullot. Pumpun, kenttämittarin ja näytepullon lisäksi muita tarvittavia tarvikkeita ovat esimerkiksi pohjavesiputkien avaimet, kertakäyttöhanskat sekä astia tyhjennyspumppauksen vesimäärän mittaamiseksi. (Rintala & Suokko 2008, 28 - 29.)

4.2.3 Näytteenotto

Pohjavesinäytteenotto aloitetaan näytteenoton esivalmistelulla näytteenottokaluston ja näyteastioiden valinnalla. Kentälle päästyä pohjavesinäytteenotto aloitetaan pohjavedenpinnan korkeuden mittaamisella. Pohjavedenpinnan korkeus voidaan määrittää mittanauhalla mittaluodilla, joka pohjavedenpintaan osuessaan pääs-

tää äänimerkin. Tämän jälkeen suoritetaan esipumppaus. Pumppaus aloitetaan halutulta syvyydeltä teholla 8-10 litraa/minuutti. Pumppauksen yhteydessä seurataan veden tuottoa sekä sameutta, veden kirkastuessa pumppaustehoa voidaan kasvattaa. (Rintala & Suokko 2008, 9, 35 - 36.) Perinteisessä pohjavesinäytteenotossa pohjavesiputken vesitilavuus tyhjennetään pumpulla kolme kertaa, jotta näyte edustaisi pohjavesialueen vettä. (Karvonen ym. 2012, 86).

Pohjaveden lämpötila mitataan virtaavasta vedestä pumppauksen yhteydessä. Pohjaveden lämpötilan mittaamisen jälkeen suoritetaan pohjavesinäytteiden otto näytepulloihin. Tarvittaessa pohjavesinäytteet kestävöidään ja suoritetaan tarvittavat kenttämääritykset. Kemialliset analyysit suoritetaan pääasiassa laboratoriossa, mutta kentällä voidaan määrittää esimerkiksi sähkönjohtavuutta, pH:ta, lämpötilaa sekä rauta- ja mangaanipitoisuutta. Näytteenoton jälkeen pohjavesiputken vedenpinnan korkeus mitataan uudelleen. Havaintolomake täytetään kentällä, johon kirjataan pohjavesinäytteenottohavainnot (näytteenotto-olosuhteet, kenttähavainnot, pumppaustiedot, näytteenottosyvyys jne.). Lopuksi näytteet toimitetaan laboratorioon analysoitavaksi. (Rintala & Suokko 2008, 9, 36 - 37, 42.)

2.3. Hidasvirtausnäytteenotto

4.2.4 Yleistä

Hidasvirtausnäytteenoton tavoitteena on näytteenotosta aiheutuvien fysikaalisten ja kemiallisten muutosten minimointi vesinäytteessä, jolloin kerättävä vesinäyte vastaa orgaanisten ja epäorgaanisten haitta-aineiden kulkeutumista maaperässä. Tyhjennyksen ja näytteenoton aikainen alhainen pumppausteho ja minimaalinen vedenpinnan taso mahdollistavat hydraulisen stressin minimoimisen. (U.S. Environmental Protection Agency 2010, 5.) Alhaisen virtausnopeuden ja vähäisen vedenpinnan tason alenemisen aikaansaamiseksi hidasvirtausnäytteenotossa käytetään säädettyjä pumppuja (GWM-ENGINEERING 2013c).

Hidasvirtaus terminä viittaa nopeuteen, jolla vesi virtaa pumppuun, ei välttämättä varsinaiseen virtausnopeuteen, jolla vesi purkautuu. Tyypilliset virtausnopeudet ovat luokkaa 0,1 - 0,5 litraa/minuutissa, mutta riippuvat alueen hydrogeologiasta. (U.S. Environmental Protection Agency 1996, 5.)

Yleinen huolenaihe on, että hidasvirtausnäytteenotolla kerätty näyte edustaa vain kapeaa osaa lähellä pumppua ja kaikkia haitta-aineita ei näin saada kerätyksi. Pohjavesiputkeen tulevat virtaukset ovat kuitenkin peräisin siiviläputken ylä- ja alapuolelta ja näin ollen varsinainen tutkittava alue on siiviläputkea pidempi. Koska näyte edustaa koko siiviläputkea, voidaan edustava näyte kerätä sijoittamalla pumppu mihin tahansa siiviläputken kohtaan. Pumppu tulee kuitenkin pitää pohjan yläpuolella, jotta voidaan välttää putken pohjalle kertyneen hienoaineksen joutuminen näytteeseen. (Varljen ym. 2006, 44, 50 - 51.)

4.2.5 Tarvikkeet

- tiedot näytteenottokohteesta (putkikortit, aiempien mittausten havaintolomakkeet)
- havaintojen kirjausvälineet (tyhjiä havaintolomakkeita)
- pohjavesiputkien avaimet
- pumppu (pumppuvaihtoehdot esitetty tarkemmin kohdassa 4.1.2.)
- virtalähde (akku)
- kertakäyttöletkua
- vedenpinnankorkeuden mittausvälineet (manuaalinen mittaus)
- virtauksen säätölaite (esimerkki esitetty kuvassa 3)
- low flow -päätte parametrien seuraamiseen (esim. YSI 556 Multi-Probe System, joka esitetty kuvassa 4)
- valmiiksi merkityt näytepullot
- kestäväintivälineet tarvittaessa
- PID (tarvittaessa)
- muut välineet (kumihanskat, huuhteluvesi) (U. S. Environmental Protection Agency 2010, 9 - 13).

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkiasetus hidasvirtausnäytteenotossa tarvittavasta välineistöstä, kuten esimerkiksi virtauksen säätölaite ja low flow -päätte parametrien seuraamiseen. Virtauksen säätölaite on esitetty tarkemmin kuvassa 3. Virtausnopeuden säätämistä on käsitelty tarkemmin kohdissa 4.2.4 ja 4.2.7. Low flow -päätte parametrien seuraamiseen on esitetty tarkemmin kuvassa 4 ja kenttäparametrien seuraamista on käsitelty tarkemmin kohdissa 4.2.6 ja 4.2.7.



KUVA 2. Hidasvirtausnäytteenottovälineistö (GWM-ENGINEERING 2013b)



KUVA 3. Virtauksen säätölaite (Proactive Environmental Products 2013a)



KUVA 4. Low flow -päätte parametrien seuraamiseen (YSI Environmental 2013)

4.2.6 Kenttäparametrit

Kenttäparametrien stabiloinnin tarkoituksena on varmistaa olosuhteiden olevan sopivat näytteenoton aloittamiseksi. Parametrien stabiloitumisella pyritään seuraamaan, että näytteistettävä pohjavesi on putken ympärillä luonnollisesti liikkuvaa pohjavettä, jossa on mukana vain luonnollisesti mobiileita haitta-aineta. Mikäli kenttäparametrit eivät ole stabiloituneet kahden tunnin kuluessa, Yhdysvaltojen ympäristöviranomaisen ohjeen mukaan voidaan odottaa parametrien stabiloitumista tai lopettaa stabilointi. Stabiloinnin lopettamisen jälkeen joko näytteet otetaan tai ei oteta. Tiedot kirjataan havaintolomakkeeseen, josta esimerkki on nähtävissä liitteessä 3. (U.S. Environmental Protection Agency 2010, 6 - 7.) Hidasvirtausnäytteenotossa tarkasteltavat kenttäparametrit ennen varsinaista näytteenottoa ovat sameus, lämpötila, sähkönjohtavuus, pH, ORP ja liukoinen happi (U. S. Environmental Protection Agency 2010, 17).

4.2.7 Näytteenotto

Hidasvirtausnäytteenottoon käytettävät mittalaitteet on kalibroitava päivittäin. Vaihtoehtoisesti mitattavien parametrien oikeellisuus voidaan testata tarkoitusta varten tehdyillä testiliuoksilla. Ennen pohjavesipumpun asentamista vedenpinnan korkeus on mitattava. Halutun pumppausvyöhykkeen saa katsomalla edellisten mitauskertojen havaintolomakkeesta näytteenottosyvyys. Tiedot kirjataan havaintolomakkeeseen.

Ennen varsinaista näytteenottoa suoritetaan putkessa seisoneen veden vaihto ja sen aikana seurataan pumpattavan veden määrää, ja minkä jälkeen tiedot kirjataan havaintolomakkeeseen. Pumppausnopeus säädetään siten, että vedenpinnan korkeus ei muutu. (U.S. Environmental Protection Agency 2010. 14 - 18, 25 - 31.) Virtausnopeuden tulisi pysyä tasaisena parametrien stabiloinnin ja näytteidenoton aikana. Tyypillinen virtausnopeus on noin 0,1 - 0,5 litraa/minuutti. (GWM-ENGINEERING 2013c.)

Parametrien monitoroinnissa tarkastellaan sameutta (NTU), lämpötilaa (°C), sähkönjohtavuutta ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH:ta, ORP (mV) ja liukoista happea (mg/l). Monitorointi suoritetaan monianturilaitteella virtauskammioista, jonka läpi pumpattava vesi

johdetaan. Parametreja monitoroidaan 3 - 5 minuutin välein ja tiedot kirjataan havaintolomakkeeseen. Monitorointivälin tulee olla minimissään sellainen, että läpivirtauskammion läpi on kulkeutunut sen tilavuuden verran vettä. Ennen varsinaista näytteenottoa tehtävä veden vaihto katsotaan riittäväksi, kun kaikki parametrit ovat stabiloituneet. Parametrien katsotaan stabiloituneen, kun mittaustulokset ovat kolmen peräkkäisen monitoroinnin aikana seuraavien marginaalien sisällä: sameus 10 %, liuennut happi 10 %, sähkönjohtavuus 3 %, lämpötila 3 %, ORP +/- 10 mV ja pH +/- 0,1 yksikköä.

Ennen varsinaista näytteenottoa letku irrotetaan läpivirtauskammiosta. Näytteet kerätään suoraan pumpun putkesta eikä läpivirtauskammiosta. VOC-näytteet kerätään tavallisesti ensimmäisenä. Jos pumppausnopeus on liian suuri VOC-näytteiden keräämiseen, kerätään muut näytteet ensin ja lasketaan pumppausnopeutta VOC-näytteiden keräämistä varten. Tyhjennyksen ja näytteenoton aikana pumpun putken tulee olla täynnä vettä ilmastuksen estämiseksi. Pumpua ei tule poistaa pohjavesiputkesta huuhtelun ja näytteenoton välillä kontaminaation estämiseksi. (U.S. Environmental Protection Agency 2010. 14 - 18, 25 - 31.) Yhdysvaltojen ympäristöviranomaisen 2010 mukainen hidasvirtausnäytteenoton menetelmäohjeen tiivistelmä on esitetty liitteessä 2.

4.3 Muita pohjavesinäytteenottomenetelmiä

Diffuusioon perustuvia passiivisia näytteenottomenetelmiä on alun perin käytetty lyhyt- ja pitkäaikaiseen ilmanlaadun tutkimiseen (Mills, Greenwood, Vrana, Allan & Ocelka 2011, 2979). Viime aikoina niitä on alettu käyttää vesien, maaperän ja sedimenttien haitta-ainepitoisuuksien monitorointiin. Passiivikeräimet keräävät tietoa ympäristön tilasta ja tulevaisuudesta sekä aineiden käyttäytymisestä. Suurin osa passiivikeräimistä tarkkailee vain vapaasti liukenevien yhdisteiden määrää eikä niinkään vesipatsaan kaikkia yhdisteitä. (Greenwood, Mills & Vrana 2008, 631-633.) Diffuusioon perustuvia passiivisia näytteenottomenetelmiä käytetään selvitetessä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (Rintala, Suokko 2008. 20). Passiivikeräimeissä huuhtelu ja pumppaus eivät sisälly osana pohjavesinäytteenottomenetelmää (California Environmental Protection Agency 2008, 11).

Passiivikeräinten etuja ovat muun muassa halvat kustannukset ja tutkimusten hyvä toistettavuus (Greenwood ym. 2008, 631). Passiiviset näytteenottimet keräävät pitkällä aikavälillä tietoa itsenäisesti sen kautta kulkevista haitta-aineista. Tämän automaattisen menetelmän vuoksi näytteenottimen tulee tunnistaa laaja kirjo fyysikaalisilta ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan eroavia haitta-aineita. Tästä johtuen joidenkin haitta-aineiden esiintyminen tutkittavassa pohjavedessä voi jäädä havaitsematta. (Mills ym. 2011, 2980.) Diffuusioon perustuvia passiivisia näytteenottimia ei käsitellä tässä tutkimuksessa tarkemmin.

5 AIEMPIA TUTKIMUKSIA

5.1 Vertailevia tutkimuksia hidasvirtausnäytteenotosta

5.1.1 Comparison of Purge-and-Bail Sampling to Low-Stress Sampling at NPL Site

Washingtonissa tehdyn perinteisen näytteenotomenetelmän ja hidasvirtausnäytteenottomenetelmän vertailututkimuksen tarkoituksena oli verrata kahdella eri näytteenotomenetelmällä saatuja tuloksia ja tulkita niiden merkittävyyttä. Tutkimus esittää tekniikoiden pääeroavaisuudet ja niiden vaikutukset tutkimustuloksiin. Hidasvirtausnäytteenotolla kerättyjen näytteiden tutkimustulokset olivat aavistuksen verreaan korkeampia, mutta tulokset ovat paremmin aluetta edustavia. Näytteenotomenetelmien välillä on myös merkittävä taloudellinen ero. Hidasvirtausnäytteenotolla huuhteluveden määrä oli 68 % matalampi ja näkyi merkittävänä kustannussäästönä. (Graham & Goodin 1995.)

5.1.2 Comparison of Temporal Trends in VOCs as Measured with PDB Samplers and Low-Flow Sampling Methods

Diffuuiioon perustuvien passiivisten näytteenottimien (PDB) ja hidasvirtausnäytteenotomenetelmän vertailututkimuksen tarkoituksena oli selvittää PDB-näytteenottimien luotettavuutta ja vertailukohtana käytetään hidasvirtausnäytteenottoa. Tutkimuksessa verrataan tetrakloorieteenin pitoisuuksia mitattuna molemmilla näytteenottimilla. Tutkimuksessa esitetään, että molempien näytteenotomenetelmien tutkimustulosten yleinen trendi on samankaltainen ja näin ollen PDB-näytteenotin on edustava tämänkaltaiseen näytteenottoon. (Harte 2002, 45 - 47.)

5.1.3 Investigation of a chalk aquifer: advantages and limitations of diffusion samplers and low-flow sampling techniques

Diffuusioon perustuvien passiivisten näytteenottimien ja hidasvirtausnäytteenotomenetelmän vertailututkimus käsittelee PDB-näytteenottimien ja hidasvirtaus-

näytteenoton hyötyjä ja haittoja pohjavesikerroksen haitta-aineiden levinneisyyden selvittämisessä. Tutkimuksessa todetaan, että hidasvirtausnäytteenoton edut ovat sen näytteenottomenetelmän nopeus ja pohjaveden kerroksellisuuden säilyminen. Hidasvirtausnäytteenoton haittapuolia ovat sen rajoittunut näytteenotosyvyys ja kemiallisen kerroksellisuuden säilymättömyys. Vastaavasti taas diffuusionäytteenottimessa kemiallinen kerroksellisuus on havaittavissa. Tutkimuksessa todetaan, että näiden kahden menetelmien kombinaatio mahdollistaa hahmottamaan kemiallisten ja fysikaalisten parametrien levinneisyyden. (Barrez, Mania, Mancy & Robaszynski 2007, 732 - 747.)

5.1.4 Field Comparison of Micropurging vs. traditional Ground Water Sampling

Vuonna 1994 tehdyssä vähäiseen tyhjennysmäärään perustuvan näytteenottimen ja perinteisen pohjavesinäytteenoton vertailututkimuksessa verrattiin kahta näytteenottomenetelmää rinnakkaisnäyttein. Näytteistä analysoitiin orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä ja tuloksia verrattiin tilastollisesti. Suurimmaksi osaksi näytteenottomenetelmien välillä ei esiintynyt merkittävää tilastollista eroa. Tutkimus päättyi tulokseen, että tutkimuksenkaltaisissa olosuhteissa perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän voisi korvata luotettavuuteen, hintaan ja jätteen minimointiin perustuen. (Kearl, Korte, Stites & Baker 1994.)

5.1.5 Comparison of No-Purge and Pumped Sampling Methods for Monitoring Concentrations of Ordnance-Related Compounds in Groundwater, Camp Edwards, Massachusetts Military Reservation, Cape Cod, Massachusetts, 2009-2010

Hidasvirtausnäytteenotolla otettuja näytteitä verrattiin tutkimuksessa näytteenottoon ilman tyhjennystä, joka on kehitetty halvemmaksi vaihtoehdoksi hidasvirtausnäytteenotolle. Näytteenotto ilman tyhjennystä hyödyntää luonnon omaa virtausta siiviläputken läpi diffuusion avulla. Diffuusionäytteenottimia käytetään pilaantuneiden pohjavesialueiden pitkäaikaiseen seurantaan. Tutkimuksessa ei löydetty systemaattista poikkeamaa pitoisuuseroissa, kun lähtökohtana oli näyt-

teenottomenetelmä, haitta-ainetyyppi tai näytteenottomenetelmien järjestys. (Savoie & LeBlanc 2012.)

5.1.6 Evaluation of a Small Mechanical and Pneumatic Bladder Pump for Water Quality Sampling

Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän vertailututkimuksessa otettiin rinnakkaiset vesinäytteet kuudesta pohjavesiputkesta kahdella eri pumpulla, ja tuloksia verrattiin keskenään. Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia näitä kahta pumppuvaihtoehtoa tavoitteena kustannustehokas mutta korkealaatuinen näyte. Tutkimustulokset osoittavat molempien pumppuvaihtoehtojen olevan edustavia verrattuna perinteisiin menetelmiin tutkittujen haitta-aineiden osalta, vaikkakin yksittäisiä eroavaisuuksia tutkimuksessa löytyi. (McCall 2005.)

5.2 Muita tutkimuksia hidasvirtausnäytteenotosta

5.2.1 An analysis of Low-Flow Ground Water Sampling Methodology

Tutkimus hidasvirtausnäytteenoton metodiikasta keskittyy hidasvirtausnäytteenoton pumppausnopeuden ja vedenpinnankorkeuden käyttäytymisen matemaattiseen suhteeseen. Tutkimuksessa tarkastellaan kuinka arvioida vakaan veden virtaaman saavuttamiseen kuluva aika. Tutkimuksesta saatavaa tietoa voidaan käyttää vaadittavan pumppausajan arvioimiseen tai mistä osasta pohjavesikerrosta näyte on peräisin. Tietoa voidaan käyttää myös hidasvirtausnäytteenotto-ohjelmien suunnitteluun ja näytteenottajien ohjeistamiseen kenttätyöskentelyä varten. Tutkimuksessa todetaan, että hidasvirtausnäytteenotto voi saada aikaan liiallista vedenpinnantason laskua pohjavesiputkissa, jotka on asennettu huonosti vettäjohtaviin kerroksiin. Vedenpinnanlaskusta voi aiheutua maa-aineksen kulkeutumista pohjavesiputkeen ja tällaisessa tilanteessa passiivikeräimillä voi saada edustavamman näytteen. Tutkimuksen laskelmissa kuitenkin todetaan, että vaatimukset täyttyvät hidasvirtausnäytteenoton kohdalla, koska se edustaa pohjavesiputken ympärillä olevaa luonnonvirtaamaa. (Sevee ym. 2000, 87 - 93.)

5.2.2 Numerical Simulations to Assess the Monitoring Zone Achieved during Low-Flow Purging and Sampling

Hidasvirtausnäytteenoton monitorointialueen tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hidasvirtausnäytteenotolla näytteistetty vertikaalinen matka sekä siiviläputkeen tulevien virtausten suunnat. Tarkoituksena oli havainnollistaa eroavan geometrian, pumpun sijainnin ja heterogeenisyyden vaikutukset pohjavesiputkessa. Vertikaalisen levinneisyyden todetaan olevan merkittävin tekijä pohjavesinäytteen kemiallisten pitoisuuksien hallinnassa. Tutkimuksessa todetaan, että pumpun sijainti siiviläputkessa ei vaikuta näytteistettyyn alueeseen, koska pohjavesiputkeen tulevat virtaukset ovat peräisin myös siiviläputken ylä- ja alapuolisesta pohjavesikerroksesta ja näin ollen tutkittu alue on siiviläputken pituutta pidempi. (Varljen ym. 2006, 44-52.)

5.2.3 Assessment of a Low Purge Volume Technique For the Collection of Groundwater Samples At Brookhaven National Laboratory

Tutkimuksessa vähäiseen tyhjennysmäärään perustuvasta näytteenotimesta selvitetään sen soveltuvuutta pohjavesinäytteenottoon. Tutkimuksen mukaan, aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että pohjavesiputkien suuri tyhjennysmäärä ei ole välttämätön riittävän laadun saavuttamiseksi. Tutkimuksessa näytteet kerättiin 21 pohjavesiputkesta ennalta määrätyillä tyhjennysmäärillä ja selvitettiin tyhjennysmäärän vaikutusta haitta-aineiden pitoisuuksiin. Tutkimuksessa havaittiin merkittäviä eroja samoista näyteputkista eri näytteenottokerroilla otetuissa näytteissä. Alhaisen tyhjennysmäärän käytöllä voidaan saavuttaa laadukkaita pohjavesinäytteitä vähentämällä näytteenottoon kuluva aikaa ja kustannuksia. Vertailukelpoisten näytteiden saavuttamiseksi tulisi pumppu asettaa jokaisella näytteenottokerralla samaan kohtaan. Tutkimus osoittaa, että esimerkiksi siiviläputken ja pumpun sijainnilla on suurempi vaikutus haitta-aineiden pitoisuuksiin kuin tyhjennysmäärällä. (Douglas & Paquette 1999.)

5.3 Menetelmäohjeet

5.3.1 Representative Sampling of Groundwater for Hazardous Substances - Guidance Manual for Groundwater Investigations

Edustavan pohjavesinäytteenoton ohjekirja haitta-aineiden tutkimiseen on Yhdysvaltojen ympäristöviraston ohje. Sen tarkoituksena on pohjavesinäytteenottovälineistön tai ohjeiden aiheuttaman tutkimustulosten vaihtelevuuden minimoiminen yhdenmukaistamalla näytteenottomenetelmiä. Dokumentin vuonna 2008 päivitetty versio sisältää hidasvirtausnäytteenoton ja passivikeräinten ohjeistukset. Ohjeen tarkoituksena on auttaa näytteenottovälineistön ja analyysimenetelmien valinnassa. Ohje on laadittu 1995 ja päivitetty 2008. (California Environmental Protection Agency 2008.)

5.3.2 Low Stress (low flow) purging and Sampling Procedure for the Collection of Groundwater Samples from Monitoring Wells

Toimintaohje hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä otettaville pohkavesinäytteille on Yhdysvaltojen ympäristöviraston laatima menetelmäohje hidasvirtausnäytteenottoa varten. Sen tavoitteena on vähentää vaihtelevuutta näytteenotossa. Menetelmäohje on yleisohje, joka tulee muokata projektikohtaisten tarpeiden mukaan. Se käsittää ohjeistuksen välineistöstä, näytteenottoon valmistavat toimenpiteet sekä näytteenoton kentällä. Vuoden 2010 menetelmäohje on päivitetty versio vuonna 1996 laaditusta ohjeistuksesta. (U.S. Environmental Protection Agency 2010.)

5.4 Yhteenveto aiemmista tutkimuksista

Vertailevia tutkimuksia hidasvirtausnäytteenoton ja perinteisen näytteenoton välillä on tehty aina 1990-luvun puolivälistä alkaen sekä hidasvirtausnäytteenoton ja diffuusionäytteenoton välillä 2000-luvun loppupuolelta. Yleistrendi kaikissa tutkimuksissa oli, että merkittäviä tilastollisia pitoisuuseroja näytteenottomenetelmien välillä ei havaittu. Eroja kuitenkin havaittiin näytteenoton kestossa, pohja-

vesikerroksen ja kemiallisen kerroksellisuuden säilymisessä, näytteenottosyvyydessä sekä pumppausmäärissä ja sitä kautta kustannuksissa.

Muissa tutkimuksissa hidasvirtausnäytteenotosta 2000-luvun taitteesta lähtien on tarkasteltu erilaisia tekijöitä, joita vaikuttavat hidasvirtausnäytteenotto-ohjelmien suunnitteluun ja näytteenottajien ohjeistamiseen kenttätyöskentelyä varten. Tutkimuksissa on muun muassa selvitetty eroavan geometrian, pumpun sijainnin ja heterogeenisyyden vaikutuksia pohjavesiputkessa vertikaalisen matkan ja virtaus-suuntien avulla sekä siiviläputken ja pumpun sijainnin sekä tyhjennysmäärän vaikutusta haitta-aineiden pitouksuksiin. Lisäksi on tarkasteltu erilaisia matemaattisia suhteita pumppausajan arviointia ja näytteen alkuperän selvittämistä varten.

Yhdysvaltojen ympäristövirasto on laatinut menetelmäohjeita, joiden tarkoituksena on näytteenottovälineistön tai näytteenoton aiheuttaman tutkimustulosten vaihtelevuuden minimoiminen. Vuonna 1995 on laadittu ja 2008 päivitetty menetelmäohje edustavasta pohjavesinäytteenotosta ja vuonna 1996 laadittu ja vuonna 2010 päivitetty menetelmäohje hidasvirtausnäytteenotosta.

6 TUTKIMUKSET KEVÄÄLLÄ JA SYKSYLLÄ 2013

6.1 Yleistä

Hidasvirtausnäytteenoton ja perinteisen pohjavesinäytteenoton vertailututkimus suoritettiin kalenterivuoden 2013 aikana kahdessa osassa kevään ja syksyn 2013 näytteenottoina. Kaikissa tutkimuskohteissa on meneillään oleva pohjaveden tarkkailu ja olemassa olevat pohjavesiputket.

6.2 Tutkimuskohteiden esittely

6.2.1 Kohde A, Kalasatama

Kohde A on entistä teollisuus-, varasto- ja satama-aluetta, jota ollaan nyt muuttamassa asuin- ja työpaikka-alueeksi. Kyseisellä aluella on paljon täyttömaata, jota on laajennettu vuosikymmenien aikana jo 1860-luvulta lähtien. Kohteen maa-alueita on laajennettu rantaa täyttämällä. Alueen pohjoisosassa sijainneen jätteenpolttolaitoksen tuhkaa on haudattu laajoille alueille alueen pohjoisosiin. Alueen maaperä on pilaantunut täytön ja kohteen aikaisemman toiminnan seurauksena.

Kohteen maapinta-ala on 75 hehtaaria. Täytöt on rakennettu sekä kantaville pohjille että heikosti kantaville maille ja tehty nykykäsityksen mukaan hallitsemattomasti muun muassa teollisuuslaitosten sivutuotteilla ja putkukohteista ylijääneellä materiaalilla. Alueen rakennuspohja on vähintään lievästi pilaantunut, lisäksi pilaantuneisuutta on kulkeutunut ilman ja veden kuljettamana.

Kohteessa yleisimmin todetut haitta-aineet ovat bensiini- ja öljyhiilivedyt, PAH- ja BTEX-yhdisteet, raskasmetallit, klooratut hiilivedyt sekä syanidi. Lisäksi alueella on todettu PCB:n ja PCDD/F-yhdisteiden aiheuttamaa pilaantumista.

Meren läheisyyden ja kohteen alavuuden vuoksi pohjaveden pinta on suhteellisen lähellä maanpintaa, keskimäärin -0,11 m mpy. Pohjaveden päävirtaussuunnan oletetaan olevan lännestä itään kohti viereistä merialuetta. Täyttöjen heterogeenisyyden vuoksi virtaussuunnat vaihtelevat paikallisesti käytännössä katsoen joka ilmansuuntiin. Kohde ei sijaitse luokitellulla pohjavesialueella, ja lähin I-luokan

pohjavesialue on merialueen takana noin 5 kilometrin etäisyydellä kohteesta kaakkoon. Pohjavetenä tässä kohteessa on käsitetty alueen täyttömaakerroksessa kulkeva vesi. Alueen todellinen pohjavesi on täytön alapuolisen savi- ja liejukerrostumien alapuolisessa vettäjohtavassa kerroksessa. Pohjaveden seurantanäytteet otetaan kahdesti vuodessa.

Kohde rajautuu itäreunalta laajaan matalahkoon vesialueeseen, jonka maksimisyvyys on noin 6 metriä. Vesialueen luoteisosaan laskee joki, jonka suisto on merkittävä lintualue. Vesialueen pohjoisosassa sijaitsee Natura-alue. Pohjoisosassa kohde rajautuu puroon. Kohde on suurimmaksi osaksi päällystämätön, ja sadevedet imeytyvät maaperään. Liikennealueilla on sadevesiviemärit, jotka laskevat mereen.

Nykyisin pohjavesitarkkailua suoritetaan 25 putkesta, joista tähän työhön valittiin mukaan vertailuun kuusi pohjavesiputkea. Pohjavesinäytteistä analysoidaan ammoniumtyppi, hiilidioksidi, magnesium, pH, sulfaatti, sähkönjohtavuus, kiintoaine, sameus, syanidi, metallit (liukoiset ja kokonaispitoisuudet), hiilivedyt C₅-C₄₀ (mukaanluettuna BTEX, MTBE, TAME), PAH-yhdisteet ja klooratut hiilivedyt.

6.2.2 Kohde B, huoltoasema

Kohteessa B on toiminut 1960-luvulta alkaen huoltoasema, joka 1993 muutettiin kylmäasemaksi. Kohde purettiin maaperän kunnostuksen yhteydessä 2010. Kohteessa on suoritettu pohjaveden vuositarkkailua 2010 lähtien. Pohjavesinäytteet otetaan kahdesti vuodessa kolmesta pohjavesiputkesta, joista tähän tutkimusvertailuun otettiin mukaan yksi pohjavesiputki. Vesinäytteistä analysoidaan öljyhiilivedyt (C₅-C₄₀), BTEX-yhdisteet sekä oksygenaatit.

Kohde ei sijaitse luokitellulla pohjavesialueella. Lähellä ei ole pohjavesialueita. Pohjaveden virtaussuunta on arvioitu olevan välillä itä-etelä ja pohjaveden pinta on noin 2 - 3 metrin syvyydessä maanpinnasta. Pohjavesiputki on asennettu sitä ympäröivään täyttöhiekkaan. Alueen luonnollisessa maaperässä on silttiä ja savea, josta haitta-aineet saattavat kulkeutua pohjavesiputkelle.

6.2.3 Kohde C, huoltoasema

Kohteessa C sijaitsee toiminnassa oleva liikenneasema. Pohjaveden vuositarkkailua on suoritettu vuodesta 2006 lähtien polttoainesäiliöiden täytön yhteydessä sattuneen polttoainevuodon vuoksi. Vesinäytteet otetaan kahdesti vuodessa viidestä pohjavesiputkesta, joista tähän tutkimukseen valittiin yksi vertailuun mukaan. Vesinäytteistä analysoidaan öljyhiilivedyt ($C_5 - C_{40}$), BTEX-yhdisteet sekä oksygenaatit.

Kohde ei sijaitse pohjavesialueella, lähin pohjavesialue sijaitsee noin 1 kilometrin päässä kohteesta. Maaperän kallioisuus vaikuttaa alueen pohjaveden virtaussuuntaan, pohjaveden pinta on noin 2 - 3 metrin syvyydessä maanpinnasta. Alueen maaperä on silttiä ja moreenia, osittain täyttöhiekkaa.

6.2.4 Kohde D, huoltoasema

Kohteessa D sijaitsee huoltoasema, jossa vuosittaista pohjavesitarkkailua on tehty vuodesta 1995 lähtien kahdesti vuodessa kolmesta pohjavesiputkesta, kaivosta, pumppauskaivosta sekä salaojakaivosta. Tähän vertailututkimukseen valittiin yksi tarkkailupiste. Vesinäytteistä analysoidaan öljyhiilivedyt ($C_5 - C_{40}$), BTEX-yhdisteet sekä oksygenaatit.

Kohde ei sijaitse pohjavesialueella, lähin I-luokan pohjavesialue on noin 600 metrin päässä kohteesta etelään. Pohjaveden pinta on noin 1 metrin syvyydessä maanpinnasta. Pohjavesiputken ympärillä on kerroksellista siltti- ja savimaata, paikoin hiekkaa.

6.2.5 Kohde E, huoltoasema

Kohteessa E on toiminnassa automaattiasema, ja kohteessa on suoritettu polttoaineen jakeluaseman pohjaveden vuositarkkailua. Pohjavesinäytteet otetaan neljästi vuodessa 13 tarkkailupisteestä, joista tähän tutkimukseen vertailtaviksi valittiin neljä. Vesinäytteistä analysoidaan öljyhiilivedyt ($C_5 - C_{40}$), BTEX-yhdisteet ja oksygenaatit.

Alueen pohjoispuolella kiinteistö rajautuu puistoalueeseen, itä- ja eteläpuolella pysäköintialueeseen ja länsipuolella tiealueeseen. Pohjavesi on noin 10 - 13 metrin syvyydessä maanpinnasta.

Kohde sijaitsee I-luokan pohjavesialueella, pohjavedenmuodostumisalueesta noin 650 metriä lounaaseen. Lähimmät vedenottamot sijaitsevat noin 1,2 ja 1,6 kilometrin etäisyydellä kohteesta, joista jälkimmäinen on talousvedenottamo. Arvioitu virtaussuunta pohjavedelle on pohjoiseen. Kohteen maaperä on kerroksellista savi-, siltti- ja hiekkamaata, 1 metri pinnasta soratäyttöä.

6.3 Näytteenotto

6.3.1 Kenttätyöskentely

Näytteenotto pyrittiin suorittamaan jokaisessa näytteenottokohteessa samoilla näytteenottovälineillä. Näytteenotto suoritettiin ensin hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä, jonka jälkeen perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä. Näytteenotto pyrittiin suorittamaan jokaisessa näytteenottokohteessa samalla tavalla.

Näytteenotossa on käytetty akkukäyttöistä uppopumppua ja säädettävää monsooniuppopumppua kohteesta ja näytteenottomenetelmästä riippuen. Näytteenoton yhteydessä kohteissa seurataan vedenpinnan tasoa ennen ja jälkeen näytteenoton, näytteenottosyvyyttä sekä näytteen hajua ja väriä, hienoaineksen esiintymistä, putken antoisuutta, pumpattavan veden määrää sekä hidasvirtausnäytteenoton yhteydessä lisäksi laatuparametrien stabiloitumista. Hidasvirtausnäytteenotossa tämän tutkimuksen yhteydessä on tutkittu seuraavien laatuparametrien stabiloitumista ennen näytteenottoa: vedenpinnan taso (m), tuotto (pumppausteho), lämpötila (°C), sähkönjohtavuus (mS/m), happi (mg/l), pH, ORP (mv) ja sameus (NTU).

Pohjavesinäytteet analysoitiin Novalab Oy:n ympäristölaboratoriossa. Kohteesta A analysoitiin ammoniumtyppi, hiilidioksidi, magnesium, pH, sulfaatti, sähkönjohtavuus, kiintoaine, sameus, syanidi, metallit (liukoiset ja kokonaispitoisuudet), hiilivedyt C₅-C₄₀ (mukaanluettuna BTEX, MTBE, TAME), PAH-yhdisteet ja

klooratut hiilivedyt ja kohteista B - E analysoitiin öljyhiilivedyt ($C_5 - C_{40}$), BTEX-yhdisteet ja oksygenaatit.

6.3.2 Huomioita kenttätyöskentelyssä

Kevään näytteenotoissa ei mainittavaa. Hidasvirtausnäytteenoton kenttäparametrit stabiloituivat hyvin. Syksyn näytteenoton aikana ilmaantui muutamia vastoinkäymisiä, jotka vaikuttivat muun muassa kenttäparametrien stabiloitumisen seurantaan. Joidenkin kohdeputkien osalta seurantanäytteenotto jäi vajaaksi ja vertailunäyte saatiin otettua vain ensimmäisellä näytteenottokerralla tai vain toisella näytteenottomenetelmistä.

Kohteen B - E syksyn näytteenotossa kohdattiin ongelmia parametrien stabiloitumisen seuraamista varten käytettävässä YSI hidasvirtausnäytteenoton monitorissa. Monitori ei näyttänyt arvoja hapelle ja sameudelle, eikä näiden stabiloitumista päästy kunnolla seuraamaan. Joidenkin näytteiden kohdalla monitori ei näyttänyt arvoja hapen ja sameuden lisäksi myöskään ORP:lle ja pH:lle. Muutoin kenttäparametrien stabiloitumisen todettiin onnistuneen hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä otettujen näytteiden osalta. Kohteen C pohjavesiputkesta sekä kohteen E yhdestä pohjavesiputkesta ei päästy hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ottamaan vertailunäytettä.

7 TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU

7.1 Tutkimustulosten tarkastelu

Pohjavesinäytteistä analysoitiin kohteesta riippuen seuraavia haitta-aineita: metallit, öljyhiilivedyt ja oksygenaattit, BTEX-yhdisteet, polyaromaattiset ja klooratut hiilivedyt sekä kokonaissyanidi. Tutkituista haitta-aineista todettiin useimmin öljyhiilivetyjä, oksygenaatteja sekä BTEX- ja PAH-yhdisteitä. Syanidin ja metallien osalta haitta-aineita esiintyi harvakseltaan ja kloorattuja hiilivetyjä ei lainkaan.

Oksygenaattien osalta todettiin korkeita pitoisuuksia joissain näytteissä, mutta ei merkittävää eroa hidasvirtausnäytteenoton ja perinteisen pohjavesinäytteenoton välillä. Öljyhiilivedyillä ei todettu merkittäviä pitoisuseroja hidasvirtausnäytteenoton ja perinteisen näytteenoton välillä. Hidasvirtausnäytteenotolla saatiin pienempiä pitoisuuksia kuin perinteisellä näytteenotolla etenkin PAH-yhdisteissä sekä metalleilla. BTEX-yhdisteille hidasvirtausnäytteenotolla sekä suurempia että pienempiä pitoisuuksia kuin perinteisellä näytteenotolla, näytteestä riippuen. Molemmilla näytteenottomenetelmillä alle määrittämissä rajatodetut tutkimustulokset eivät olleet vertailussa mukana.

7.2 Kohteiden aikaisemmat analyysitulokset

Alla käsitellään pohjavesiseurantatutkimuksien aikaisempia analyysituloksia ennen tämän työn näytteenottoja. Tulokset esitellään kohdekohtaisesti.

7.2.1 Kohde A

Tutkimukseen kuuluvista pohjaveden havaintoputkista otetuissa näytteissä kokonaissyanidin pitoisuudet ovat olleet suurimmaksi osaksi alle laboratorion analyysimenetelmän määrittämissä rajatodetut tutkimustulokset. BTEX-yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet alle määrittämissä rajatodetut tutkimustulokset. Todettujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet laskemaan päin, kloorattuja hiilivetyjä ei ole todettu. Öljyhiilivetyjen pitoisuudet ovat olleet pääsääntöisesti alle määrittämissä rajatodetut tutkimustulokset. Tämän tutkimuksen tulokset mukailevat aikaisempien seurantanäytteenottojen trendejä.

7.2.2 Kohde B

Kaikkien haitta-aineiden osalta pitoisuudet ovat olleet koko pohjavesitarkkailun ajan matalat ja laskusuuntaiset. Suuressa osassa tutkittavista haitta-aineista pitoisuudet ovat jo laskeneet alle määrittäysrajan. Määrittäysrajan ylittäviä tuloksia on ollut BTEX-yhdisteissä. Tässä tutkimuksessa seurattujen yhdisteiden pitoisuudet jäivät alle määrittäysrajan.

7.2.3 Kohde C

Öljyhiilivetyjen ja BTEX-yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet tarkkailun ajan matalat, suurimmaksi osaksi alle määrittäysrajan. Oksygenaattien pitoisuudet ovat olleet hiljaisessa nousussa, jota tämänkin tutkimuksen tulokset mukailevat.

7.2.4 Kohde D

Kaikkien tutkittujen haitta-aineiden pitoisuuksissa on ollut 2000-luvun alusta lähtien nouseva trendi. 2000-luvun puolivälistä lähtien haitta-aineiden pitoisuudet ovat laskeneet. Oksygenaattien pitoisuudet ovat laskeneet ollen muutaman kymmenen luokkaa ja BTEX-yhdisteet ovat laskeneet alle määrittäysrajan. Pitoisuustasojen laskeva trendi näkyy tässäkin tutkimuksessa ja pitoisuudet ovat samaa luokkaa aiempien tarkkailunäytteiden kanssa.

7.2.5 Kohde E

Kolmessa neljästä putkesta BTEX-yhdisteillä, öljyhiilivedyillä ja oksygenaateilla on ollut nouseva trendi ja viimeisessä putkessa pitoisuudet ovat olleet alle määrittäysrajan. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset noudattelevat trendiä ja pitoisuudet ovat samaa luokkaa aiempien tarkkailunäytteiden tulosten kanssa.

7.2.6 Aikaisempien analyysitulosten yhteenveto

Valtaosa tätä tutkimusta varten tehtyjen näytteenottojen tutkimustuloksista jäi määrittäysrajan alapuolelle. Tämä ilmiö selittyy aikaisempien seurantanäytteenottojen trendeissä, joista suurin osa on ollut laskevia ja nyt jo laskenut määrittäysrajan

alapuolelle. Joidenkin haitta-aineiden kohdalla yksittäisissä pohjavesiputkissa on kuitenkin ollut nouseva trendi. Tämän seurannan aikana otettujen näytteiden tulokset mukailevat pitoisuuksien aiempia kehityssuuntia eikä suuria poikkeavuuksia esiinny.

7.3 Haitta-ainekohtainen tarkastelu

Haitta-ainekohtaisessa tarkastelussa käsitellään työssä saatuja analyysituloksia. Haitta-aineryhmittäin on taulukoitu vertailun kannalta olennaiset tulokset sekä hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen menetelmän pitoisuuksien vertailusta ja näiden mittausepävarmuuksista on tehty kuvaajat. Kuvioista on jätetty pois alle määritysrajan jääneiden näytepisteiden tulokset. Alla olevassa taulukossa 6 on Novalab Oy:n ilmoittamat mittausepävarmuudet, joita on kuvioita laadittaessa hyödynnetty.

TAULUKKO 6. Novalab Oy:n ilmoittamat mittausepävarmuudet

	Pitoisuusväli	Mittausepävarmuus
	(mg/l)	(%)
Hiilivedyt	0,05 - 0,2	± 50
	0,2 - 0,5	± 30
	yli 0,5	± 20
Yksittäiset bensiinihiilivedyt	0,001 - 0,01	± 100
	0,011 - 0,01	± 50
	0,1 - 1,0	± 30
	yli 1,0	± 20
Yksittäiset PAH-yhdisteet		± 40

7.3.1 Taulukoiden ja kuvioiden tulkinnasta

Taulukoihin ja kuvioiden nimistöön on käytetty termejä "hidasvirtaus" ja "perinteinen" ilmaisemaan, onko kyseessä hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä vai perinteisellä menetelmällä otettu näyte. Juokseva numerointi 1 - 13 viittaa kohteisiin siten, että näytteet 1 - 6 ovat kohteesta A otettuja näytteitä, näyte 7 kohteesta C, näyte 8 kohteesta B, näyte 9 kohteesta D ja näytteet 10 - 13 kohteesta E. Termit

”kevät” ja ”syksy” viittaavat ensimmäiseen ja toiseen näytteenottokertaan kevään ollessa ensimmäinen. Alla esitettävissä taulukoissa esitetään vain vertailun kannalta olennaiset tulokset. Liitteessä 4 on esitetty kaikki työnaikaisten näytteiden tulokset.

Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän pitoisuuksien vertailu sekä mittausepävarmuuksien vertailukuvioissa on esitetty analyysitulokset, jotka vähintään toisella näytteenottomenetelmällä ylittävät määrittämissä rajat.

7.3.2 Metallit

Huoltoasemakohteista (kohteet B - E) ei ole tutkittu metalleja. Metallikohtainen haitta-ainetarkastelu on tehty ainoastaan kohteen A tuloksia vertailemalla. Taulukoissa 7 - 8 on kohteen A liukoisten- ja kokonaismetallien analyysitulokset.

Perinteisellä menetelmällä otettujen näytteiden kiintoainemäärä oli suurempi kuin hidavirtausnäytteenotolla. Kiintoainemäärät ovat esitettynä liitteen 4 taulukossa. Perinteinen menetelmä laittaa tulosten perusteella kiintoainesta enemmän liikkeelle kuin hidavirtausnäytteenotto. Näin ollen sillä saatetaan saada niukkaliukoisten maa-ainepartikkeleihin sitoutuneiden, haitta-aineiden osalta ylijedustettu näyte. Analyysituloksen ja kiintoainemäärän suhdetta on tarkasteltu tarkemmin kohdassa 7.4.

On kuitenkin huomioitava, että eroa näytteenottomenetelmien välille syntyi ensimmäisellä näytteenottokerralla jälkimmäistä paremmin. Tähän varmasti vaikuttaa merkittävästi se seikka, että haitta-aineiden pitoisuudet ovat monin paikoin toisella näytteenottokerralla pudonneet jo alle määrittämissä rajat. Näytteet, joiden haitta-aineipitoisuudet ovat olleet molemmilla näytteenottomenetelmillä alle määrittämissä rajat, eivät ole olleet vertailukelpoisia. Alle määrittämissä rajat jääneiden putkien tulokset ovat taulukoissa 7 - 8 ja kokonaisuudessaan taulukossa liitteessä 4.

TAULUKKO 7. pH ja Arseenin, kadmiumin, koboltin, kromin, kuparin sekä elohopean liukoiset- ja kokonaispitoisuudet hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	pH	As (liuk.)	As (kok.)	Cd (liuk.)	Cd (kok.)	Co (liuk.)	Co (kok.)
STMa 461/2000 laatuvaatimus		10	1 000	5,0			
STMa 461/2000 laatusuositus	6,5-9,5						
Pohjavedet VNa 341/2009		5,0		0,4		2,0	
		(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})		(^{µg/l})	
hidasvirtaus 1 kevät		2,3	3,9	<0,10	<0,10	1,7	1,8
perinteinen 1 kevät	6,7	1,5	9,6	<0,10	0,5	2,4	6,0
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	6,8	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 2 kevät	9,5	9,4	10	<0,10	<0,1	0,4	0,8
perinteinen 2 kevät	9,6	8,3	7,3	<0,10	<0,10	0,4	0,5
hidasvirtaus 2 syksy	9,8	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 2 syksy	9,8	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 3 kevät	8,0	1,6	3,3	<0,10	<0,10	0,4	0,4
perinteinen 3 kevät	8,2	1,7	3,8	<0,10	<0,10	0,3	0,3
hidasvirtaus 3 syksy	8,2	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 3 syksy	8,4	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 4 kevät	7,4	1,7	15	<0,10	0,7	0,8	6,7
perinteinen 4 kevät	7,3	2,0	28	<0,10	2,1	0,8	18
hidasvirtaus 4 syksy	7,3	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 4 syksy	7,2	<1,0	37	<0,10	<0,10	<0,10	17
hidasvirtaus 5 kevät	6,2	0,4	0,5	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 5 kevät	6,3	0,6	1,8	<0,10	<0,10	0,2	1,9
hidasvirtaus 5 syksy	6,0	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	0,6
perinteinen 5 syksy	6,0	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 6 kevät	7,5	2,9	7,8	<0,10	<0,10	0,3	0,8
perinteinen 6 kevät	7,7	1,8	2,0	<0,10	<0,10	0,1	0,2
hidasvirtaus 6 syksy	7,1	<1,0	12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 6 syksy	7,3	<1,0	15	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Havaintopiste	pH	Cr (liuk.)	Cr (kok.)	Cu (liuk.)	Cu (kok.)	Hg (liuk.)	Hg (kok.)
STMa 461/2000 laatuvaatimus		50		2 000		1,0	
STMa 461/2000 laatusuositus	6,5-9,5						50
Pohjavedet VNa 341/2009		10		20		0,1	
		(^{µg/l})		(^{µg/l})		(^{µg/l})	(^{µg/l})
hidasvirtaus 1 kevät		0,7	1,3	<0,50	2,4	<0,10	<0,10
perinteinen 1 kevät	6,7	0,4	19	4,0	53	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	6,8	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 2 kevät	9,5	<0,10	1,4	<0,5	3,1	2,2	2,1
perinteinen 2 kevät	9,6	<0,10	<0,10	<0,50	<0,50	2,1	2,0
hidasvirtaus 2 syksy	9,8	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 2 syksy	9,8	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 3 kevät	8,0	<0,10	0,2	0,5	1,4	0,3	0,3
perinteinen 3 kevät	8,2	0,1	0,2	<0,50	1,8	0,3	0,3
hidasvirtaus 3 syksy	8,2	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 3 syksy	8,4	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 4 kevät	7,4	0,1	20	0,7	600	<0,10	<0,10
perinteinen 4 kevät	7,3	0,1	49	0,7	1 300	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 4 syksy	7,3	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 4 syksy	7,2	<0,10	48	<1,0	2 200	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 5 kevät	6,2	0,7	1,7	<0,5	1,0	<0,10	<0,1
perinteinen 5 kevät	6,3	0,8	12	<0,50	7,8	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 5 syksy	6,0	<0,10	1,4	<1,0	41	<1,0	<1,0
perinteinen 5 syksy	6,0	<0,10	0,9	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 6 kevät	7,5	0,3	2,6	0,5	12	<0,10	<0,10
perinteinen 6 kevät	7,7	0,3	1,3	<0,50	2,4	0,1	0,1
hidasvirtaus 6 syksy	7,1	<0,10	13	<1,0	74	<1,0	<1,0
perinteinen 6 syksy	7,3	<0,10	12	<1,0	79	<1,0	<1,0

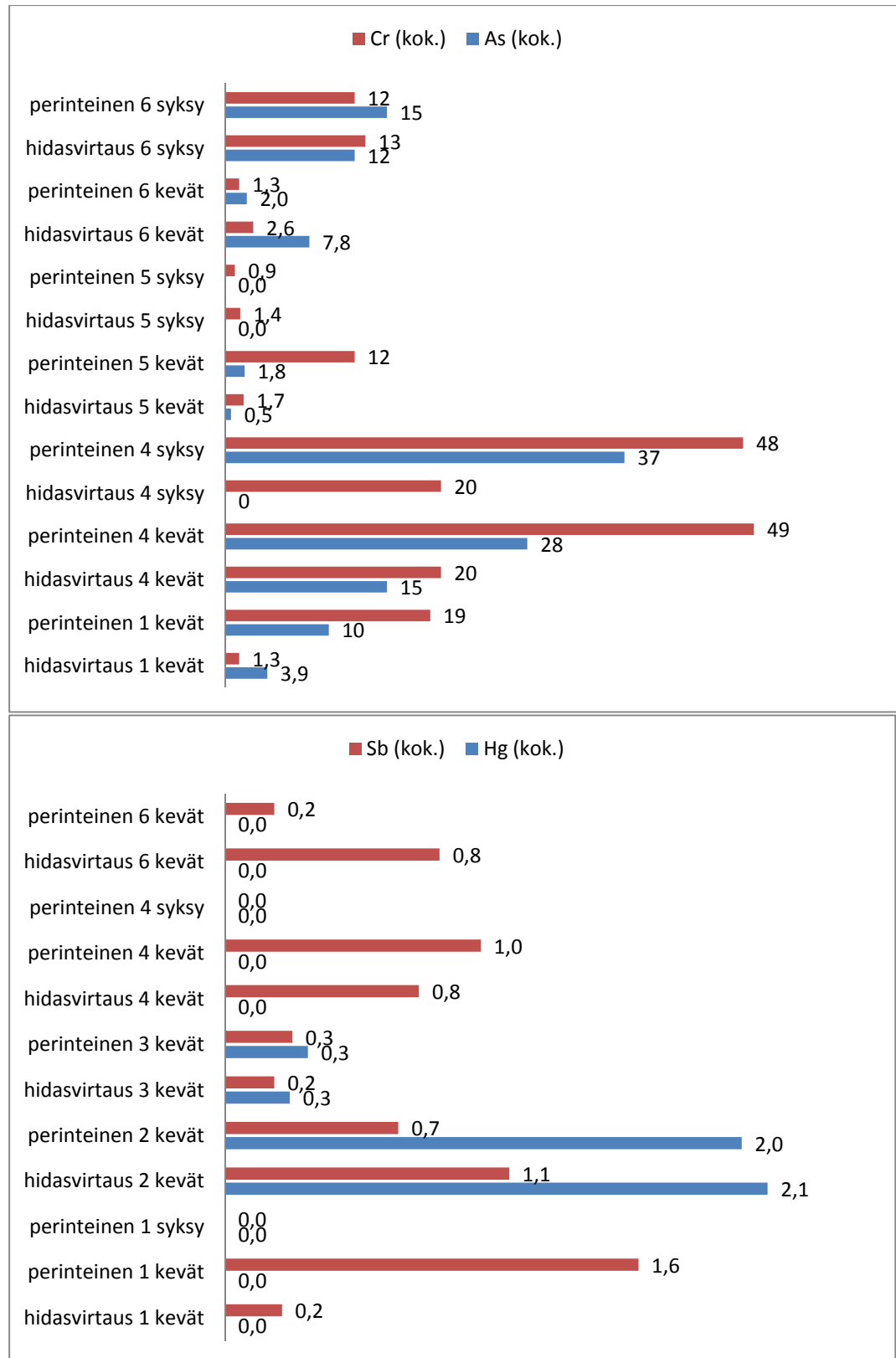
TAULUKKO 8. pH ja nikkelin, lyijyn, antimonin, vanadiinin sekä sinkin liukoiset- ja kokonaispitoisuudet hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	pH	Ni (liuk.)	Ni (kok.)	Pb (liuk.)	Pb (kok.)	Sb (liuk.)	Sb (kok.)
STMa 461/2000 laatuvaatimus		20		10		5,0	10
STMa 461/2000 laatusuositus	6,5 - 9,5						
Pohjavedet VNa 341/2009		10		5,0		2,5	
		($\mu\text{g/l}$)		($\mu\text{g/l}$)		($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 1 kevät		6,6	6,9	<0,10	1,3	0,2	0,2
perinteinen 1 kevät	6,7	4,5	14	<0,10	62	0,2	1,6
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	6,8	12	15	<1,0	15	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 2 kevät	9,5	3,7	4,9	<0,1	3,1	0,9	1,1
perinteinen 2 kevät	9,6	<0,20	3,7	<0,10	0,7	0,6	0,7
hidasvirtaus 2 syksy	9,8	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 2 syksy	9,8	<0,10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 3 kevät	8,0	2,0	2,2	<0,10	0,9	0,2	0,2
perinteinen 3 kevät	8,2	1,7	1,9	0,1	2,5	0,2	0,3
hidasvirtaus 3 syksy	8,2	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 3 syksy	8,4	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 4 kevät	7,4	3,0	21	0,2	130	0,3	0,8
perinteinen 4 kevät	7,3	3,6	49	0,3	360	0,6	1,0
hidasvirtaus 4 syksy	7,3	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 4 syksy	7,2	<0,10	54	<1,0	540	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 5 kevät	6,2	0,6	1,0	0,1	0,4	<0,1	<0,10
perinteinen 5 kevät	6,3	0,5	4,9	0,2	2,4	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 5 syksy	6,0	<0,1	1,6	<1,0	8,6	<1,0	<1,0
perinteinen 5 syksy	6,0	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 6 kevät	7,5	1,0	2,5	0,2	20	0,6	0,8
perinteinen 6 kevät	7,7	<0,2	0,9	0,1	2,1	0,1	0,2
hidasvirtaus 6 syksy	7,1	<0,1	11	<1,0	93	<1,0	<1,0
perinteinen 6 syksy	7,3	<0,1	11	<1,0	89	<1,0	<1,0
Havaintopiste	pH	V (liuk.)		V (kok.)		Zn (liuk.)	Zn (kok.)
STMa 461/2000 laatuvaatimus							
STMa 461/2000 laatusuositus	6,5 - 9,5						
Pohjavedet VNa 341/2009						60	
		($\mu\text{g/l}$)		($\mu\text{g/l}$)		($\mu\text{g/l}$)	
hidasvirtaus 1 kevät			0,8	3,8	47	83	
perinteinen 1 kevät	6,7		0,8	19	24	590	
hidasvirtaus 1 syksy	-		-	-	-	-	
perinteinen 1 syksy	6,8		<0,1	<0,1	22	180	
hidasvirtaus 2 kevät	9,5		13	18	<1,4	13	
perinteinen 2 kevät	9,6		11	11	<1,4	7,3	
hidasvirtaus 2 syksy	9,8		<0,1	12	<1,0	<1,0	
perinteinen 2 syksy	9,8		11	<0,1	<1,0	<1,0	
hidasvirtaus 3 kevät	8,0		0,1	0,4	120	630	
perinteinen 3 kevät	8,2		0,2	0,5	40	520	
hidasvirtaus 3 syksy	8,2		<0,1	<0,1	<1,0	190	
perinteinen 3 syksy	8,4		<0,1	<0,1	<1,0	5,0	
hidasvirtaus 4 kevät	7,4		0,3	23	2,5	290	
perinteinen 4 kevät	7,3		0,6	58	2,5	790	
hidasvirtaus 4 syksy	7,3		<0,1	<0,1	<1,0	<1,0	
perinteinen 4 syksy	7,2		<0,1	55	<1,0	1 100	
hidasvirtaus 5 kevät	6,2		0,6	1,3	<1,4	5,4	
perinteinen 5 kevät	6,3		0,5	7,3	<1,4	19	
hidasvirtaus 5 syksy	6,0		<0,1	1,6	<1,0	21	
perinteinen 5 syksy	6,0		<0,1	<0,1	<1,0	12	
hidasvirtaus 6 kevät	7,5		2,2	6,2	5,9	43	
perinteinen 6 kevät	7,7		4,5	5,1	<1,4	2,0	
hidasvirtaus 6 syksy	7,1		<0,1	19	<1,0	180	
perinteinen 6 syksy	7,3		<0,1	19	<1,0	170	

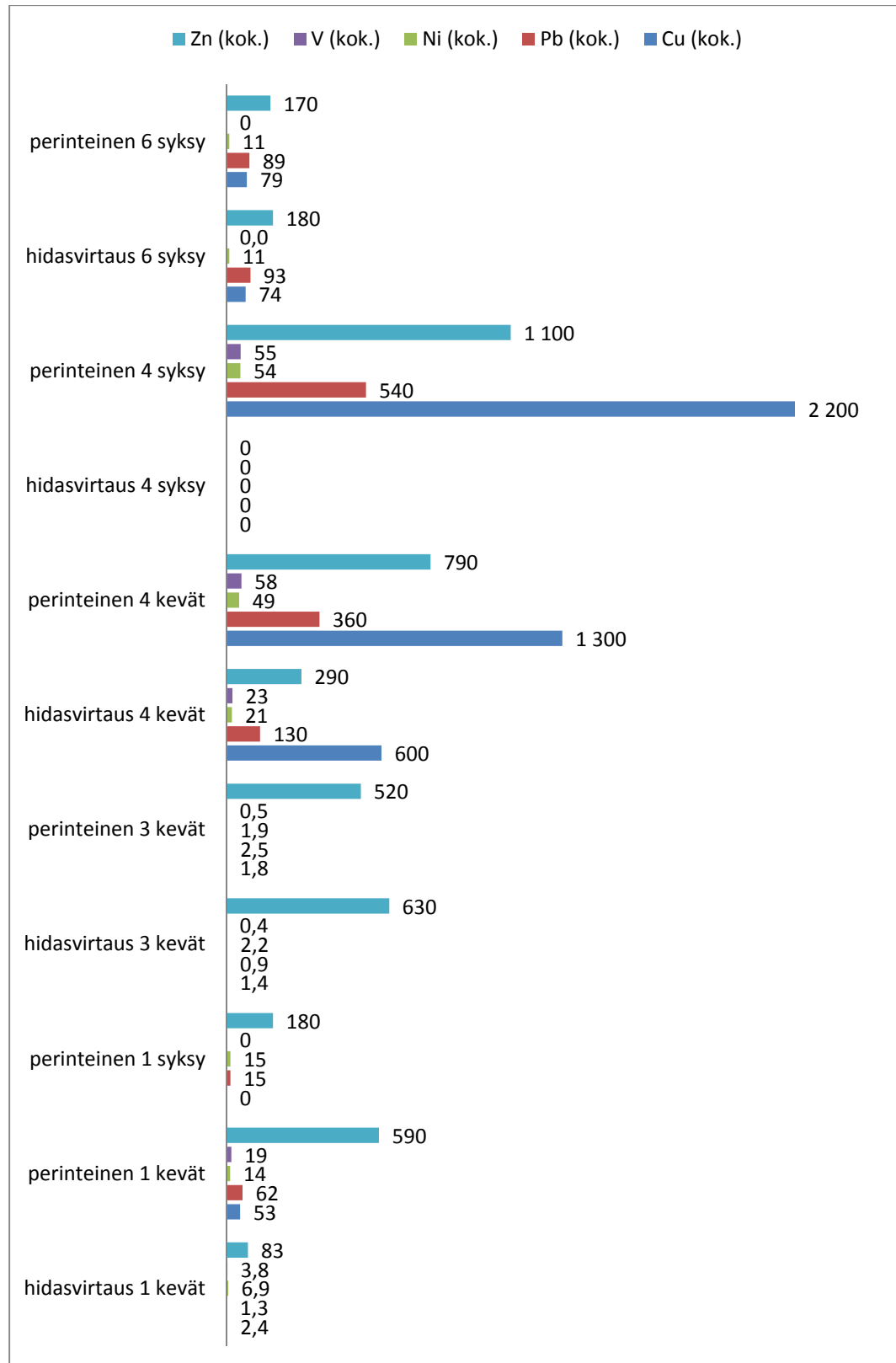
Kuvioissa 1 - 4 on esitetty kohteen A hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän liukoisten- ja kokonaismetallien pitoisuuksien vertailua. Kuvioissa on esitetty vain määritysrajan ylittävät vertailun kannalta merkitykselliset analyysitulokset.

Kuviosta 1 voidaan nähdä, että eroavaisuudet menetelmien välillä esiintyvät sekä arseenilla että kromilla putken neljä ensimmäisellä ja toisella näytteenottokerralla ja putken 1 ensimmäisellä näytteenottokerralla. Putken 1 toisella näytteenottokerralla hidasvirtausnäytteenotolla ei saatu lainkaan näytteitä ja perinteisellä menetelmällä todettiin alle määritysrajan olevia tuloksia, jotka ovat nähtävissä yllä olevassa taulukossa 7. Kuviosta 1 voidaan myös nähdä, että eroavaisuudet menetelmien välillä esiintyvät putken 6 ja 1 ensimmäisellä näytteenottokerralla antimonilla. Putken 1 toisella näytteenottokerralla hidasvirtausnäytteenotolla ei saatu lainkaan näytteitä ja perinteisellä menetelmällä saatiin alle määritysrajan olevia tuloksia. Putken 6 toisella näytteenottokerralla todettiin molemmilla menetelmillä alle määritysrajan olevia tuloksia. Tulokset on esitetty taulukossa 8. Elohopealla ei esiinny merkittäviä eroavaisuuksia menetelmien välillä.

Kuviosta 2 voidaan nähdä, että eroavaisuudet menetelmien välillä ovat putken 4 ensimmäisellä ja toisella näytteenottokerralla kaikkien kuviossa esitettyjen haitta-aineiden osalta. Putken 4 toisella näytteenottokerralla hidasvirtausnäytteenotolla todettiin kaikkien haitta-aineiden olevan alle määritysrajan, kun perinteisellä menetelmällä todettiin korkeitakin haitta-ainepitoisuuksia. Myös putken 1 ensimmäisellä näytteenottokerralla sinkin pitoisuus on perinteisellä menetelmällä huomattavasti korkeampi kuin hidasvirtausnäytteenotolla. Putken toisella näytteenottokerralla hidasvirtausnäytteenotolla ei saatu lainkaan näytettä. Alle määritysrajan jääneiden näytteenottojen tulokset on esitetty taulukoissa 7 ja 8.

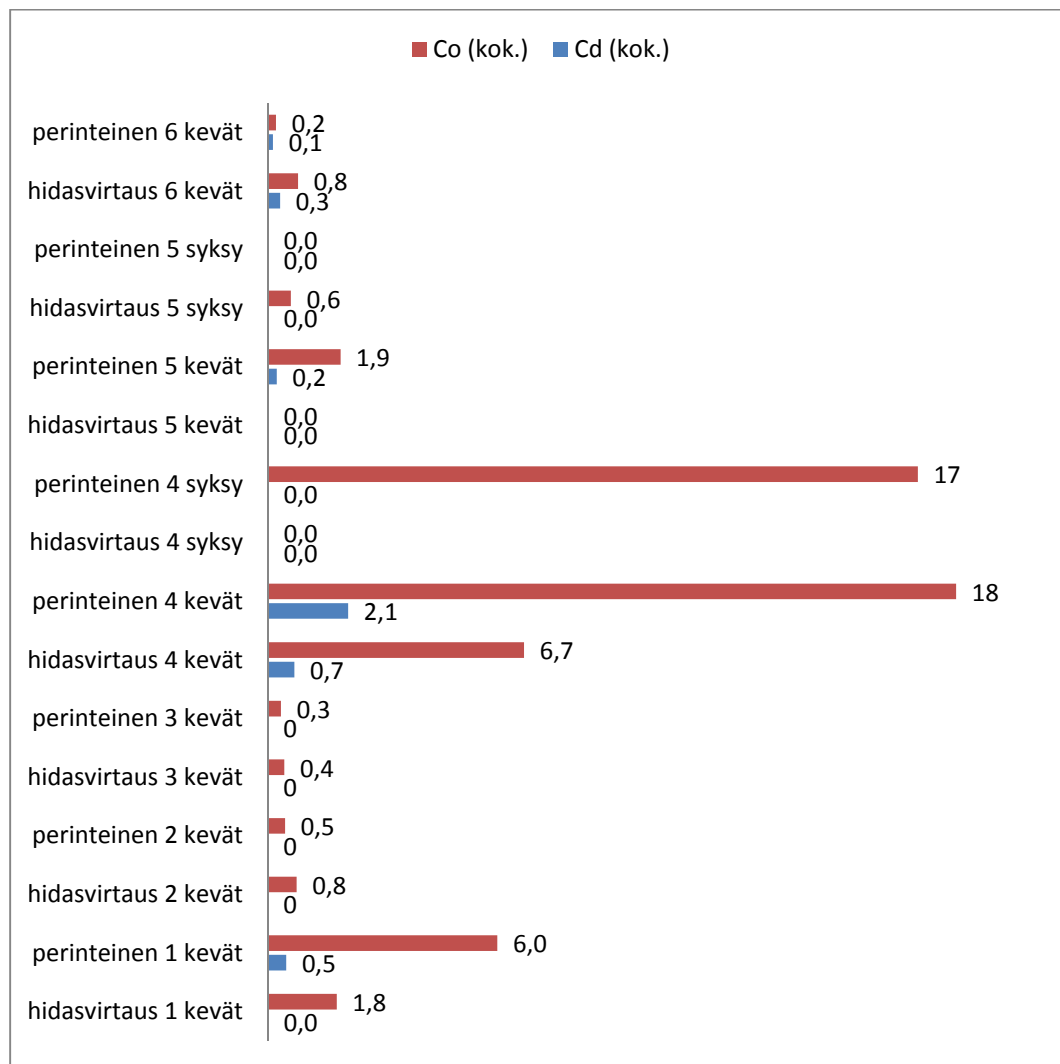


KUVIO 1. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän kromin ja arseenin sekä antimonin ja elohopean kokonaispitoisuuksien vertailu

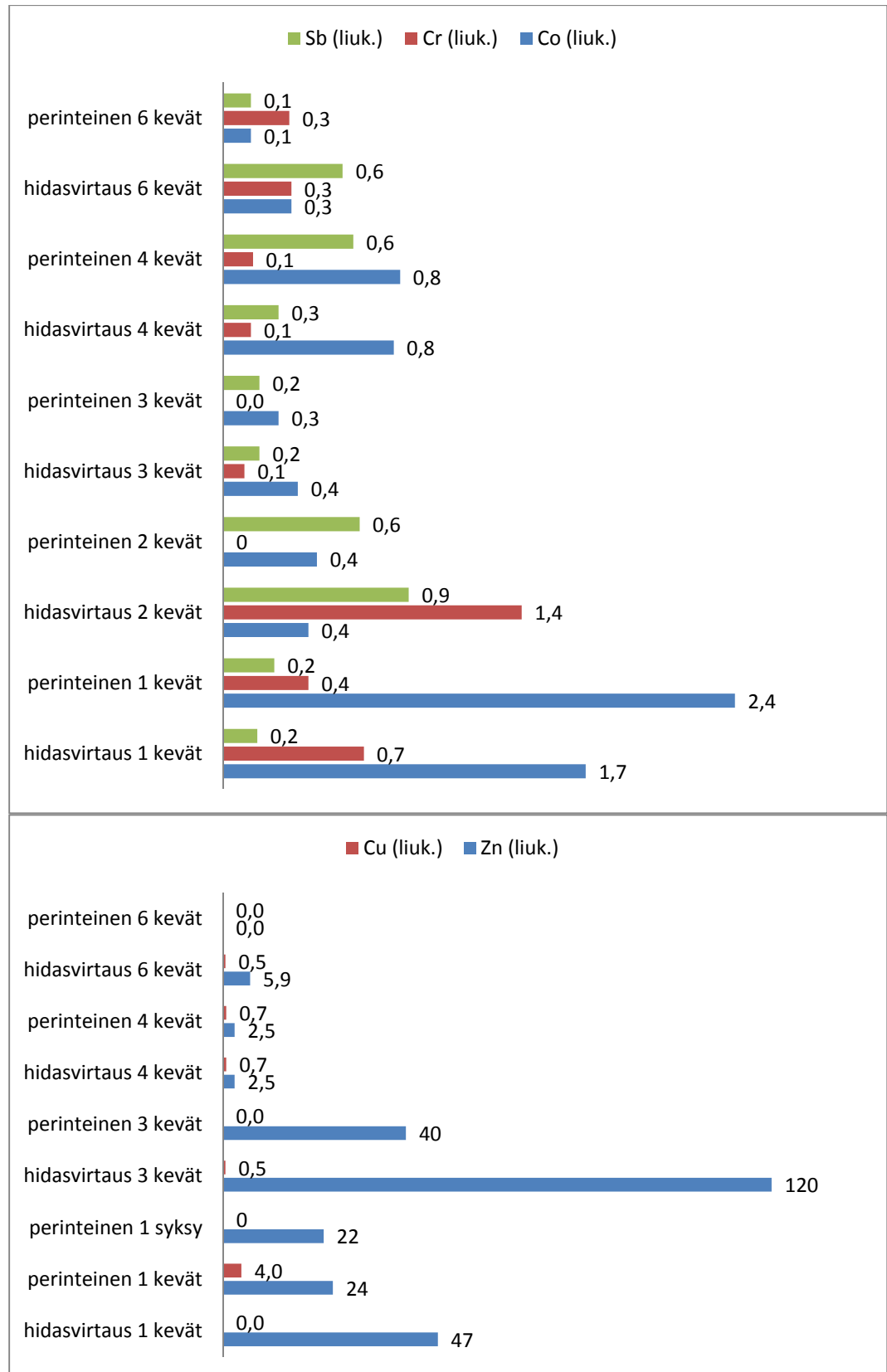


KUVIO 2. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän sinkin, vanadiinin, nikkelin, lyijyn ja kuparin kokonaispitoisuuksien vertailu

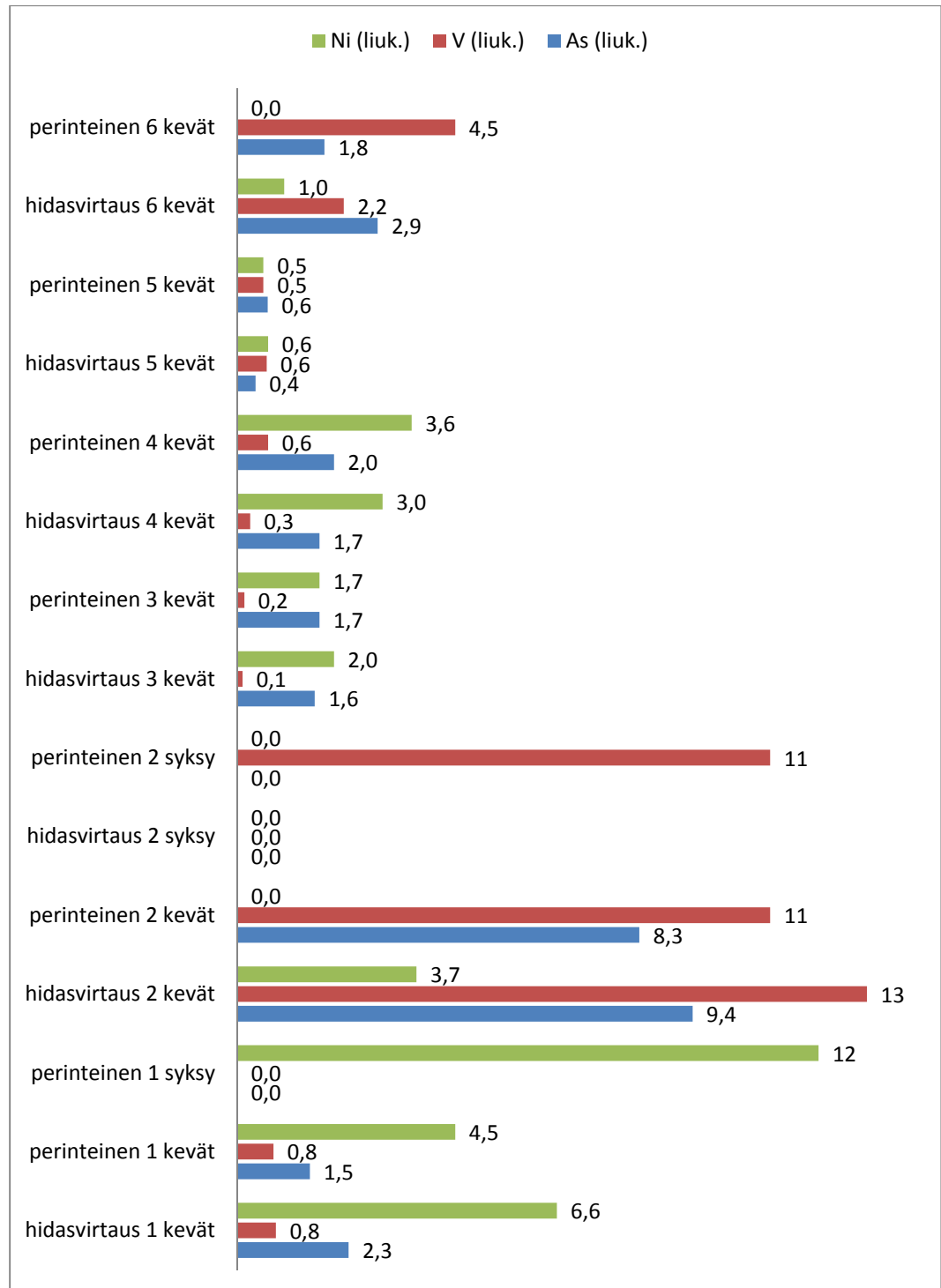
Kuviossa 3 eroavaisuudet menetelmien välillä näkyvät putken 4 molemmilla näytteenottokerroilla, jossa koboltti on perinteisellä näytteenottomenetelmällä huomattavasti suurempi kuin hidasvirtausnäytteenotolla. Putken toisella näytteenottokerralla hidasvirtausnäytteenotolla todetaan alle määritysrajan pitoisuuksia, kun perinteisellä todetaan korkea kobolttipitoisuus. Putken 1 ensimmäisellä näytteenotolla perinteisellä menetelmällä todetaan korkeampi tulos kuin hidasvirtausnäytteenotolla. Putken toisella näytteenotolla hidasvirtausnäytteenotolla ei saada näyttettyä. Kadmiumin merkittävin ero näkyy putken ensimmäisellä näytteenottokerralla, jolloin perinteisellä menetelmällä todetaan hieman korkeampi tulos kuin hidasvirtausnäytteenotolla. Alle määritysrajan jääneiden näytteenottojen tulokset ovat taulukoissa 7 ja 8.



KUVIO 3. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen kobolttin ja kadmiumin kokonaispitoisuuksien vertailu



KUVIO 4. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen antimonin, kromin ja koboltin sekä kuparin ja sinkin liukoisten pitoisuuksien vertailu



KUVIO 5. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän nikkelin, vanadiinin ja arseenin liukoisten pitoisuuksien vertailu

Kuviosta 4 voidaan nähdä, että eroavaisuudet menetelmien välillä ovat antimonilla putkien 4 ja 6 ensimmäisellä näytteenotokerralla. Putkessa 4 hidavirtausnäytteenotolla todetaan pienempi pitoisuus kuin perinteisellä menetelmällä ja putkessa

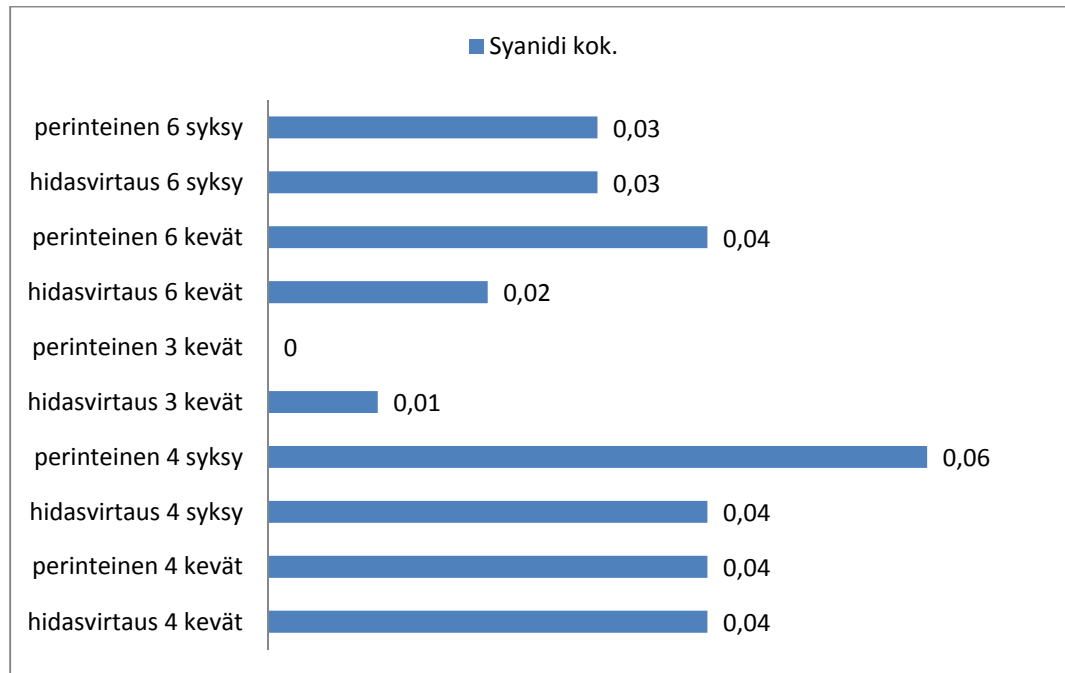
6 päinvastoin. Kromin merkittävimmät erot näkyvät putkien 1 ja 2 ensimmäisellä näytteenottokerralla, joista putkessa 1 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan pienemmät pitoisuudet kuin perinteisellä menetelmällä ja putkessa 2 päinvastoin. Koboltin merkittävin ero näkyy putken 1 ensimmäisellä näytteenottokerralla, jolloin perinteisellä menetelmällä todetaan suurempi pitoisuus. Sinkin merkittävimmät erot menetelmien välillä näkyvät putkien 1 ja 3 ensimmäisellä näytteenottokerralla, jolloin putkessa 1 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan suurempi tulos kuin perinteisellä ja putkessa 3 päinvastoin. Alle määritysrajan jääneiden näytteenottojen tulokset ovat esitetty taulukoissa 7 ja 8.

Kuviossa 5 menetelmien väliset erot näkyvät nikkelin osalta putkien 1 ja 2 ensimmäisellä näytteenottokerralla. Putkessa 1 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan suurempi pitoisuus kuin perinteisellä ja putkessa 2 päinvastoin. Vanadiinilla merkittävimmät erot näkyvät putken 2 toisella näytteenottokerralla ja putken 6 ensimmäisellä näytteenottokerralla. Putkessa 2 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan alle määritysraja oleva vanadiinipitoisuus ja perinteisellä todetaan korkeahko pitoisuus. Putkessa 6 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan pienempi pitoisuus kuin perinteisellä menetelmällä. Alle määritysrajan jääneiden näytteenottojen tulokset ovat esitetty taulukoissa 7 ja 8.

Yksittäisissä putkissa syntyi eroja menetelmien välillä toisia paremmin. Esimerkiksi putkessa 4 eroa syntyi lähes kaikkien metallien kokonaispitoisuuksien osalta. Putken 4 pitoisuuksien vertailu on esitetty kuvioissa 1 - 5 ja pH-tulokset on taulukoissa 7 - 8. Putken 4 tulokset ovat nähtävissä taulukoissa 7 - 8 ja kuvioissa 1 - 5. Analyysituloksen ja pH:n suhdetta on tarkasteltu tarkemmin kohdassa 7.4. Suurimmat kokonaispitoisuuksien erot voivat selittyä kiintoaineksen määrillä. Kiintoaineksen määrät ovat nähtävissä liitteen 4 taulukossa.

7.3.3 Syanidi

Huoltoasemakohteista (kohteet B - E) ei ole tutkittu syanidia. Syanidin haitta-ainetarkastelu on tehty ainoastaan Kalasataman (kohde A) tuloksia vertailemalla. Alla esitetyssä kuviossa 6 on esitetty hidaskvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän analyysituloksien vertailu analyysituloksille, joista vähintään toisella menetelmistä analyysitulokset ylitti määritysrajan.



KUVIO 6. Hidaskvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän kokonaissyanidipitoisuuksien vertailu

Syanidin kohdalla marginaalinen pitoisuusero ilmeni putken numero 4 jälkimmäisessä sekä putken 6 ensimmäisessä näytteenotossa, mitkä ovat nähtävissä kuviossa 6 sekä alla olevassa taulukossa 9. Pitoisuusero putkessa 4 on merkittävä, putken ero 6 marginaalinen. Molempien menetelmien tulokset ylittävät sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimuksen 461/2000. Alle määritysrajan jääneet tutkimustulokset ovat nähtävissä taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Kokonaissyänidin pitoisuudet hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	pH	Syanidi kok.
STMa 461/2000 laatuvaatimus		0,1
STMa 461/2000 laatusuositus	6,5 - 9,5	
Pohjavedet VNa 341/2009		
		(^{mg/l})
hidasvirtaus 1 kevät	-	<0,01
perinteinen 1 kevät	6,7	<0,01
hidasvirtaus 1 syksy	-	-
perinteinen 1 syksy	6,8	<0,01
hidasvirtaus 2 kevät	9,5	<0,01
perinteinen 2 kevät	9,6	<0,01
hidasvirtaus 2 syksy	9,8	<0,01
perinteinen 2 syksy	9,8	<0,01
hidasvirtaus 3 kevät	8,0	0,01
perinteinen 3 kevät	8,2	<0,01
hidasvirtaus 3 syksy	8,2	<0,01
perinteinen 3 syksy	8,4	<0,01
hidasvirtaus 4 kevät	7,4	0,04
perinteinen 4 kevät	7,3	0,04
hidasvirtaus 4 syksy	7,3	0,04
perinteinen 4 syksy	7,2	0,06
hidasvirtaus 5 kevät	6,2	<0,01
perinteinen 5 kevät	6,3	<0,01
hidasvirtaus 5 syksy	6,0	<0,01
perinteinen 5 syksy	6,0	<0,01
hidasvirtaus 6 kevät	7,5	0,02
perinteinen 6 kevät	7,7	0,04
hidasvirtaus 6 syksy	7,1	0,03
perinteinen 6 syksy	7,3	0,03

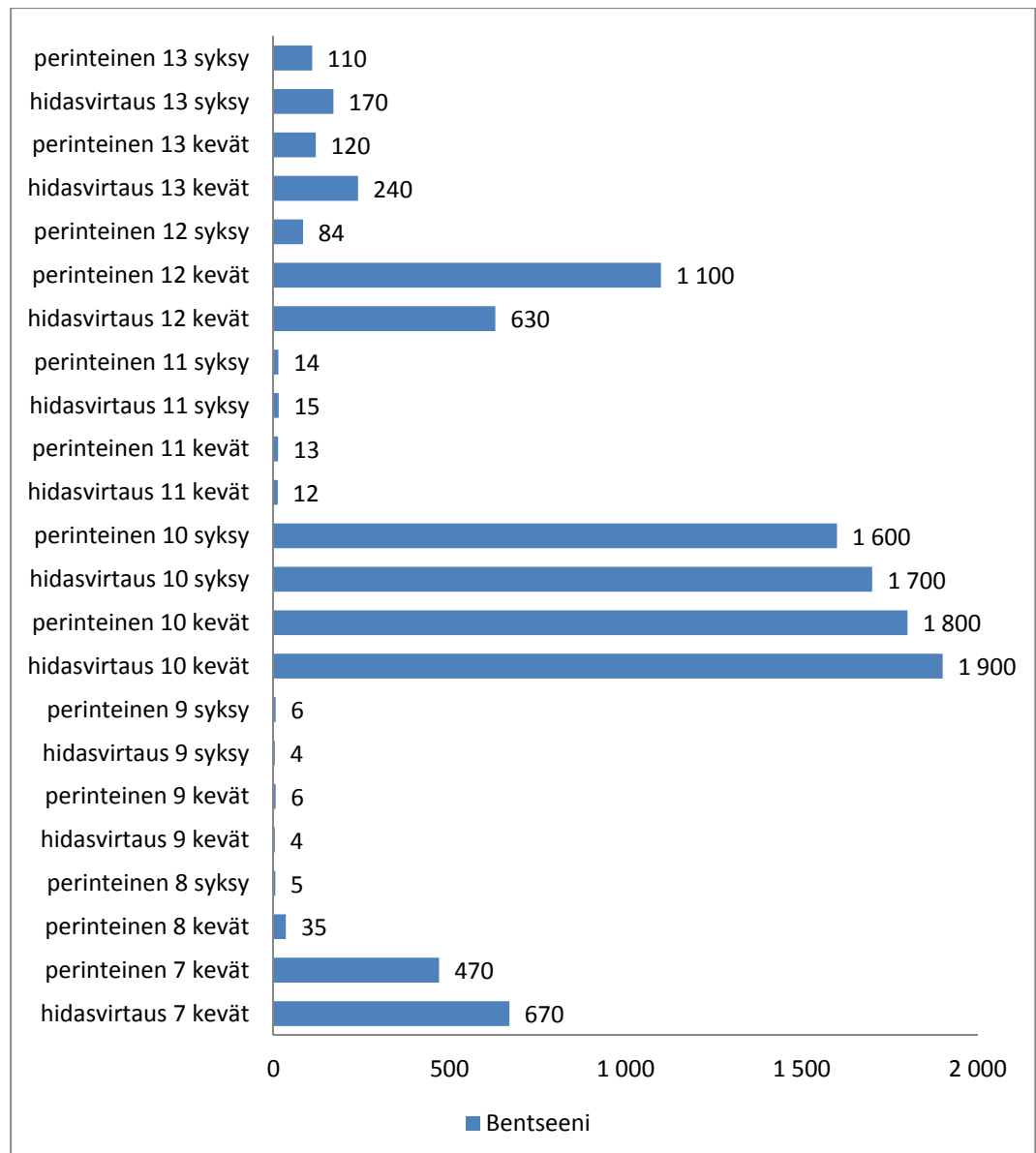
7.3.4 BTEX-yhdisteet

Kalasadaman (kohde A) tutkimuksessa aromaattiset yhdisteet eivät nousseet yli laboratorion määrittämissä raja-arvoissa. Aromaattisten yhdisteiden haitta-ainetarkastelu on tehty huoltoasemakohteiden (kohteet B - E) tuloksia vertailemalla. Taulukossa 10 on esitetty kohteiden B - E analyysitulokset.

TAULUKKO 10. BTEX-yhdisteiden pitoisuudet hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	Bentseeni	Tolueni	Etyyli- bentseeni	Ksyleenit
STMa 461/2000 laatuvaatimus	1,0			
STMa 461/2000 laatusuositus				
Pohjavedet VNa 341/2009	0,5	12	1,0	10
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 7 kevät	670	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 7 kevät	470	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 8 kevät	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 8 kevät	35	14	5,0	7,0
hidasvirtaus 8 syksy	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 8 syksy	5,0	<1,0	3,0	2,0
hidasvirtaus 9 kevät	4,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 9 kevät	6,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 9 syksy	4,0	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 9 syksy	6,0	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 10 kevät	1 900	100	49	51
perinteinen 10 kevät	1 800	74	46	37
hidasvirtaus 10 syksy	1 700	71	35	28
perinteinen 10 syksy	1 600	58	35	25
hidasvirtaus 11 kevät	12	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 11 kevät	13	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 11 syksy	15	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 11 syksy	14	<1,0	<1,0	<1,0
hidasvirtaus 12 kevät	630	260	78	170
perinteinen 12 kevät	1 100	530	120	370
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	84	51	25	8,0
hidasvirtaus 13 kevät	240	2,0	2,0	<1,0
perinteinen 13 kevät	120	1,0	1,0	<1,0
hidasvirtaus 13 syksy	170	<1,0	<1,0	<1,0
perinteinen 13 syksy	110	<1,0	<1,0	<1,0

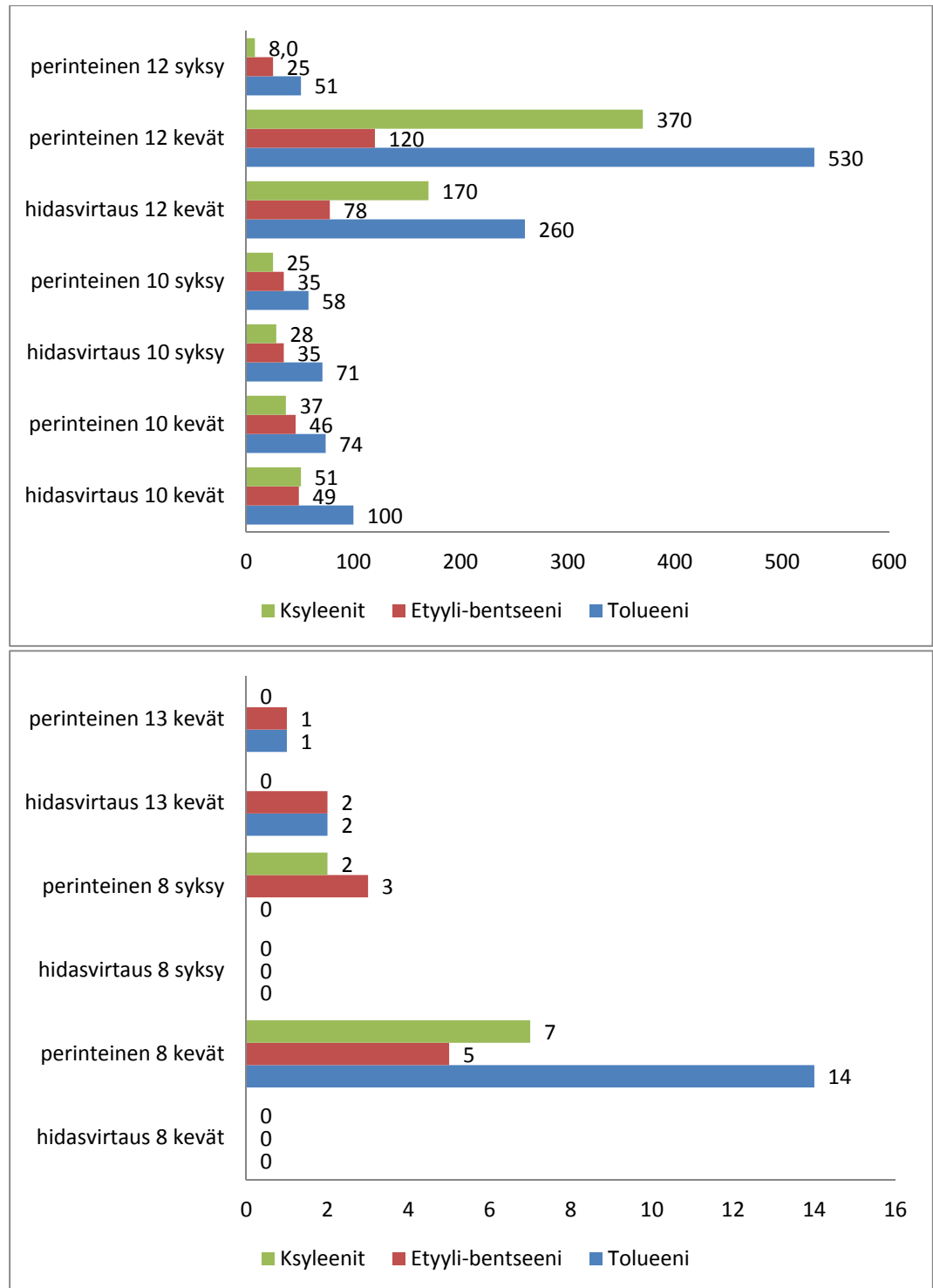
Kuvioissa 7 - 8 on esitetty hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän vertailua analyysituloksille, joista vähintään toisella menetelmistä analyysitulokset ylitti määrittämissä määritysrajan sekä kuvioissa 7 - 16 mit-tausepävarmuuksien vertailua määritysrajan ylittäville analyysituloksille.



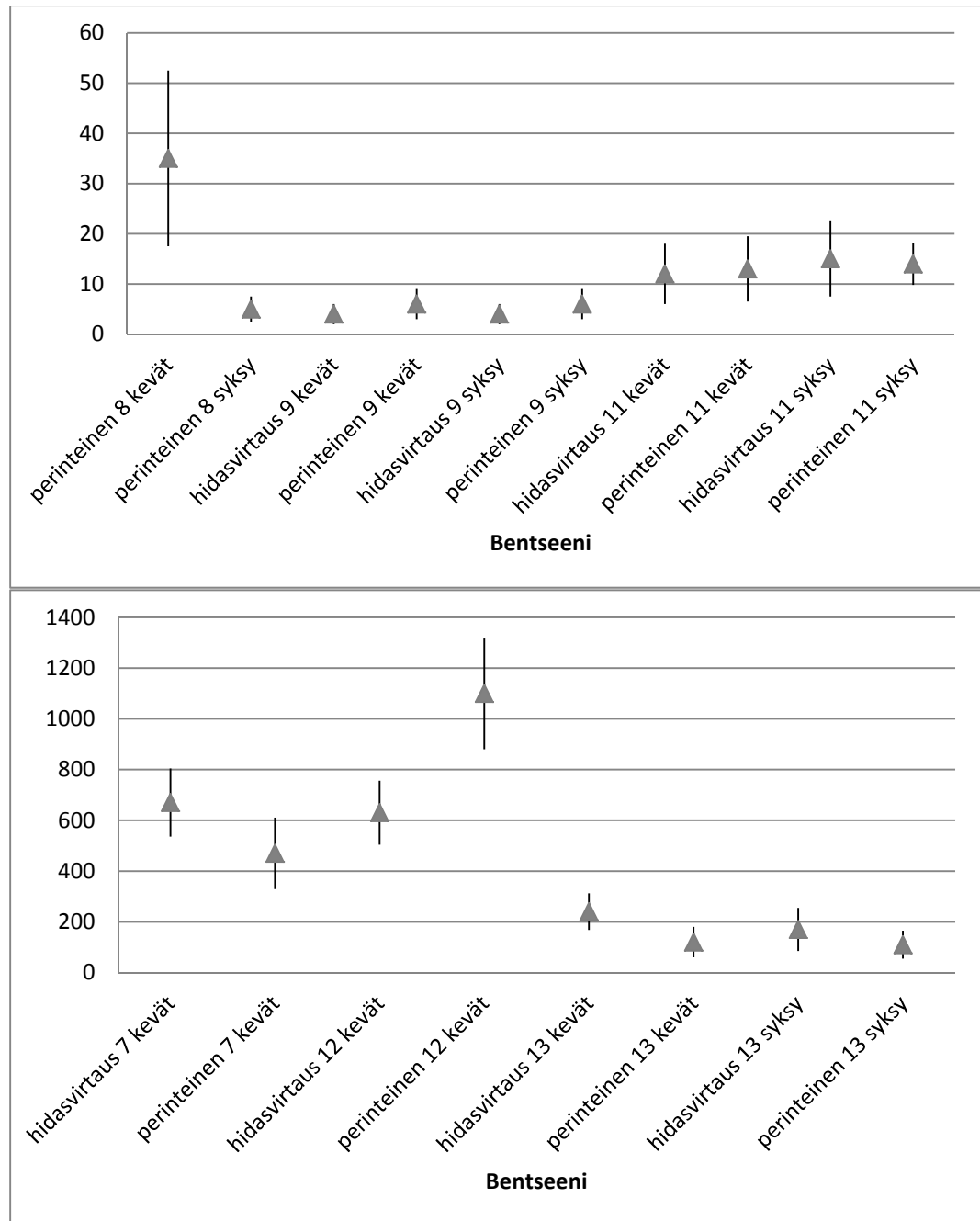
KUVIO 7. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän bentseenin pitoisuuksien vertailu

Kuviossa 7 merkittävimmät erot menetelmien välillä näkyvät putkien 7 ja 12 ensimmäisellä näytteenotokerralla. Putkessa 7 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan perinteistä menetelmään suurempi tulos, ja putkessa 12 perinteisellä menetelmällä todetaan suurempi pitoisuus kuin hidasvirtauksella.

Kuviossa 8 merkittävimmät erot menetelmien välillä näkyvät putken 8 molemmilla näytteenotokerroilla ja putken 12 ensimmäisellä näytteenotokerralla, jolloin perinteisellä menetelmällä todetaan hidasvirtausnäytteenottoa suuremmat pitoisuudet.

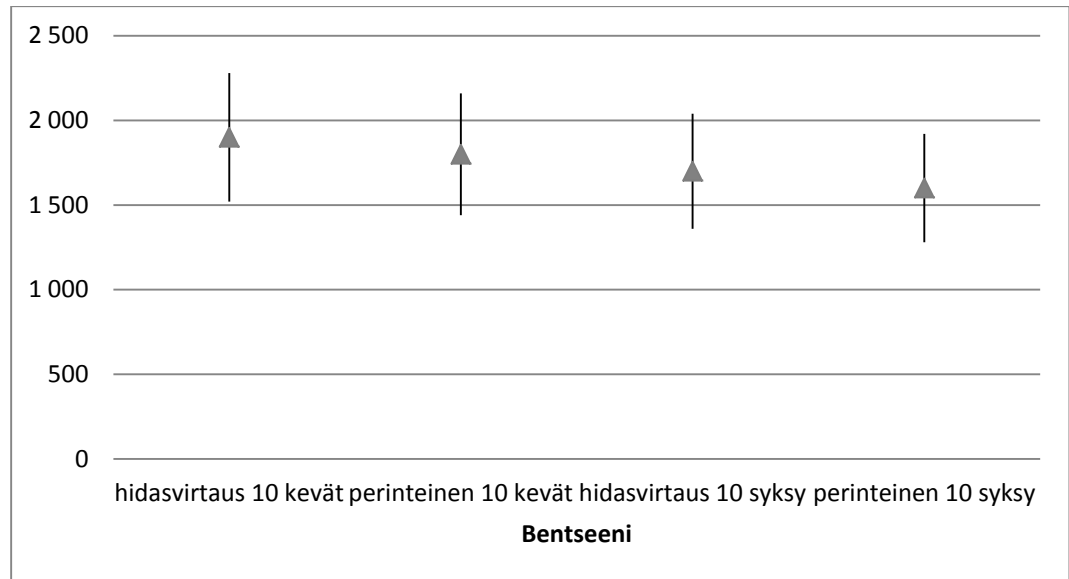


KUVIO 8. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän ksyleenien, etyylibentseenin ja tolueenin pitoisuuksien vertailu

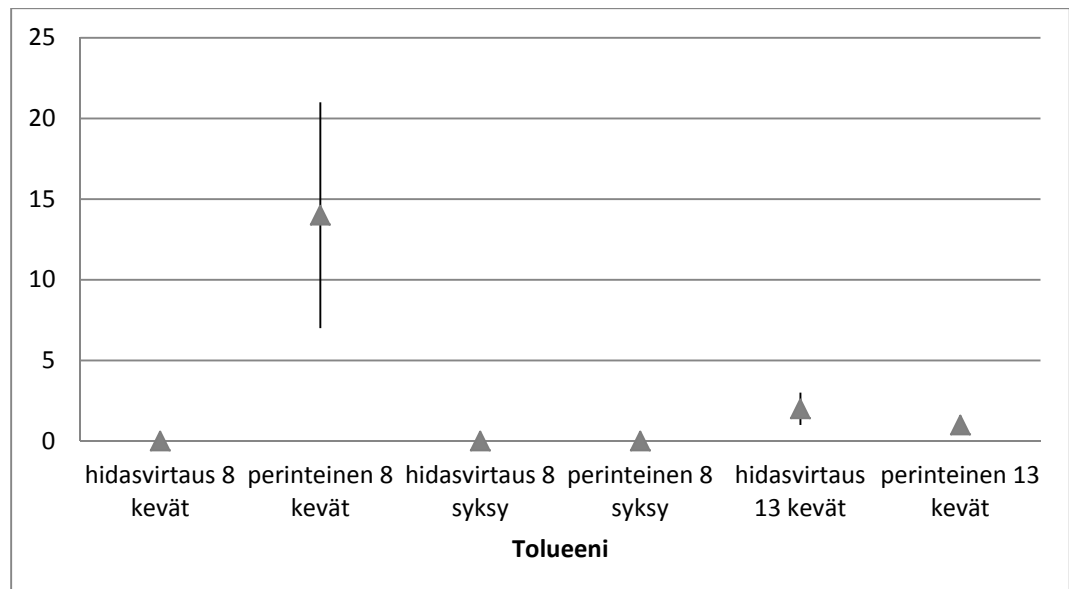


KUVIO 9. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän bentseenin pitoisuuksien mittauserpävarmuuksien vertailu

Merkittävimmät erot menetelmien välillä kuviossa 9 näkyvät putken 7 ja 12 ensimmäisellä näytteenotokerralla. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



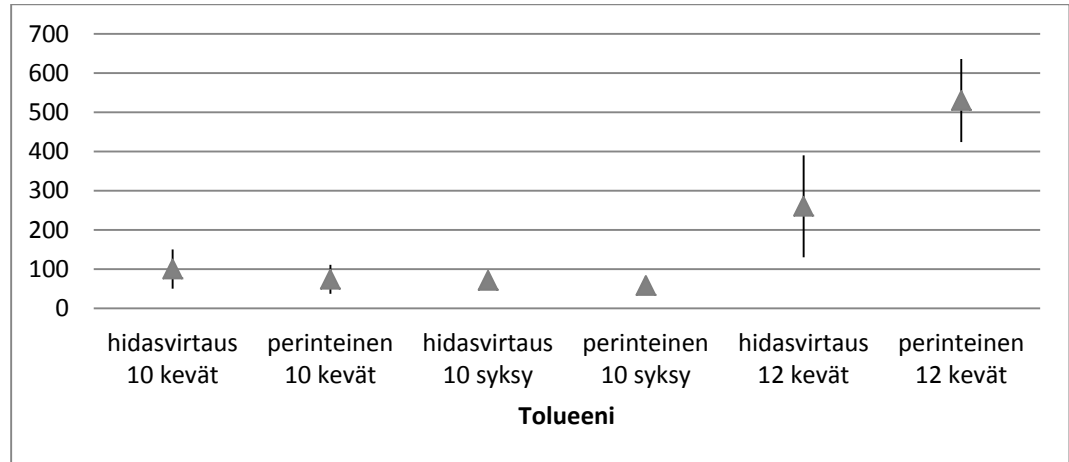
KUVIO 10. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän bentseenin pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu



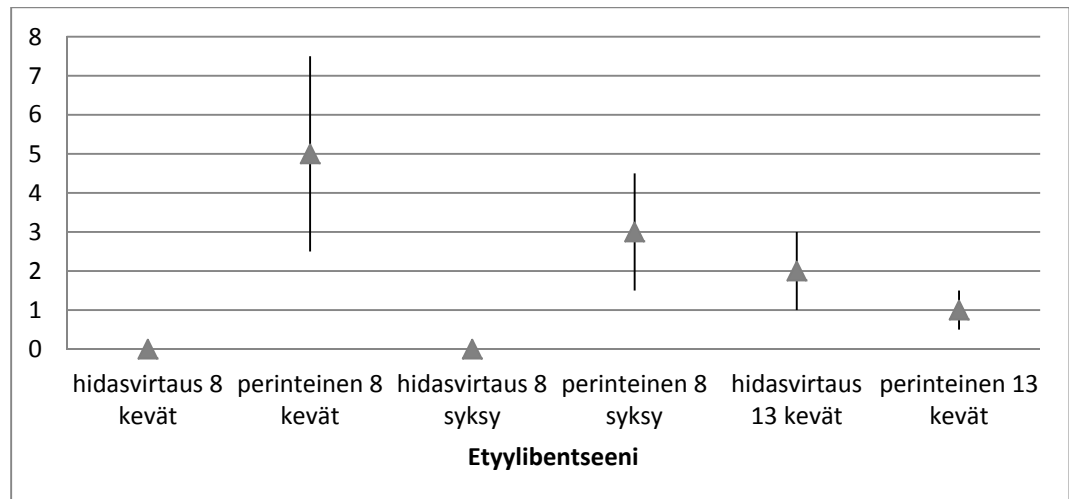
KUVIO 11. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän toluenin pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

Kuviossa 10 ei ole merkittävää eroa menetelmien välillä ja kuvioissa 11 merkittävin ero näkyy putken 8 ensimmäisellä näytteenottokerralla, jolloin hidasvirtausnäytteenotolla todetaan alle määritysrajan oleva tulos ja perinteisellä korkeahko toluenipitoisuus. Kuvioissa 12 ja 13 merkittävimmät erot menetelmien välillä näkyvät kuvion 12 toluenille putken 12 ensimmäisellä näytteenottokerralla, jol-

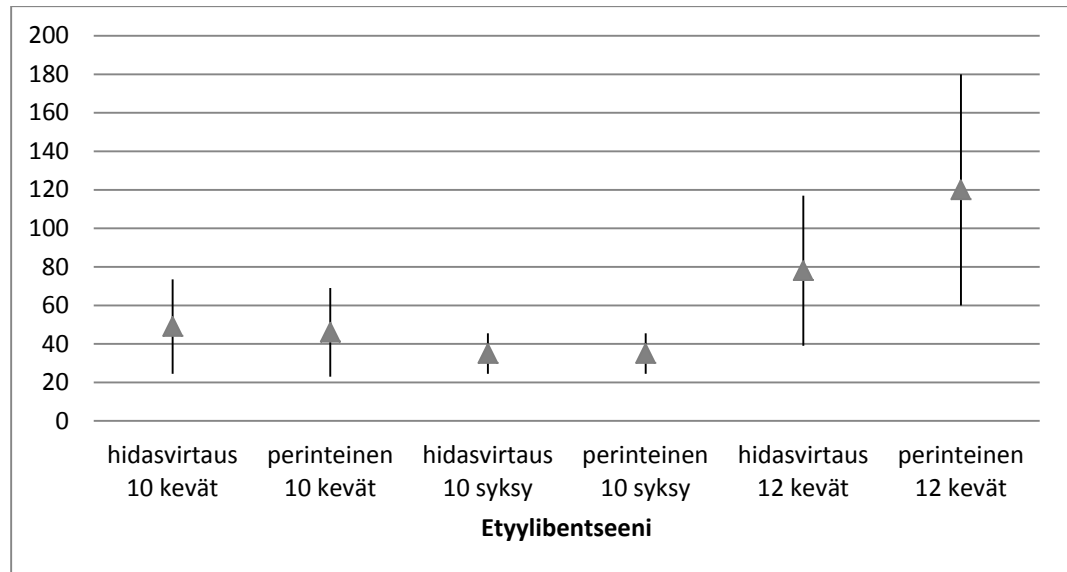
loin perinteisellä menetelmällä todetaan korkeampi tulos kuin hidaskäytännöllä. Kuvion 13 merkittävin ero etyylibentseenille näkyy putken 8 molemmilla näytteenotto-kerroilla. Kuvioiden vaihteluvälit kuvavat menetelmien välistä mittaus-epävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



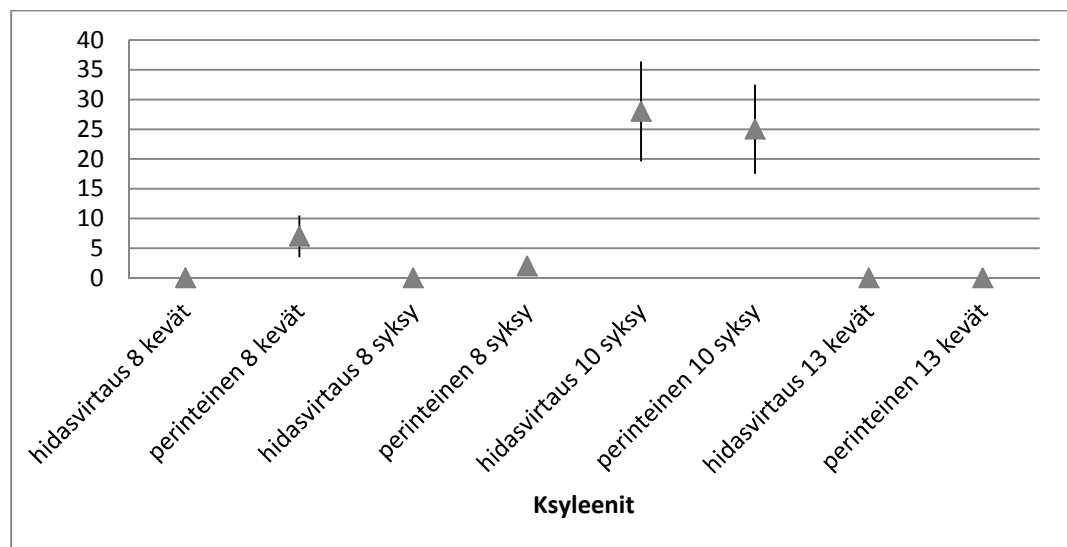
KUVIO 12. Hidaskäytännön ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän tolueenin pitoisuuksien mittaus-epävarmuuksien vertailu



KUVIO 13. Hidaskäytännön ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän etyylibentseenin pitoisuuksien mittaus-epävarmuuksien vertailu



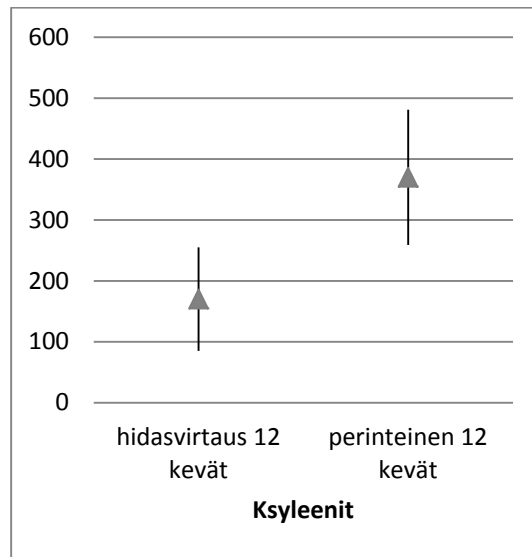
KUVIO 14. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän etyylibentseenin pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu



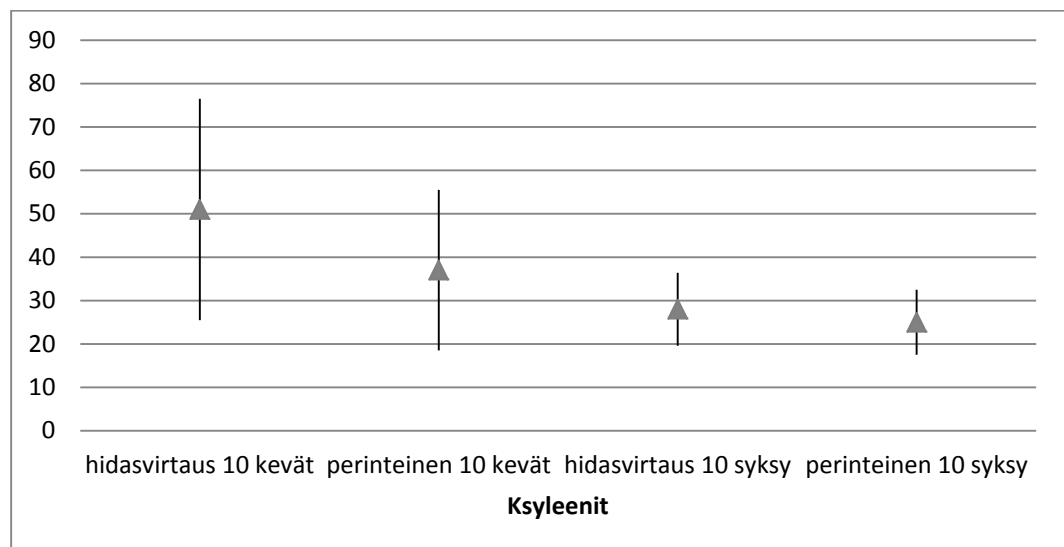
KUVIO 15. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän ksyleenien pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

Kuvioissa 14 ja 15 merkittävimmät erot menetelmien välillä näkyvät kuvion 14 etyylibentseenille putken 12 ensimmäisellä näytteenottokerralla ja kuvion 15 ksyleeneille putken 8 ensimmäisellä näytteenottokerralla. Kuvioiden 16 ja 17 merkittävimmät erot ksyleeneille näkyvät kuvion 16 putken 12 ensimmäisellä näytteenottokerralla. Kuvioiden vaihteluvälit kuvaavat menetelmien välistä mittaus-

epävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



KUVIO 16. Hidastusnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän ksyleenien pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu



KUVIO 17. Hidastusnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän ksyleenien pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

BTEX-yhdisteiden merkittävimmät erot menetelmien välillä ilmenevät yksittäisen putken 12 kohdalla ensimmäisellä näytteenotokerralla. Putken 12 menetelmien pitoisuserot ovat esitetty kuvioissa 7 - 17 ja analyysitulokset taulukossa 9. Tässä putkessa kaikki verrattavat BTEX-yhdisteiden haitta-ainepitoisuudet ovat hidastus-

virtausnäytteenottomenetelmällä perinteistä menetelmää matalammat. Toisella näytteenottokerralla hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ei saatu vertailunäytettä eikä tuloksia päästy vertaamaan. Huomattavaa kuitenkin on, että verrattaessa perinteisen näytteenoton ensimmäistä ja toista näytteenottokertaa, pitoisuudet ovat laskeneet merkittävästi.

Kaiken kaikkiaan BTEX-yhdisteiden pitoisuudet ovat melko tasaisia. Paikoittain on havaittavissa perinteisellä menetelmällä matalia pitoisuuksia, jotka hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä jäävät alle määrittäysrajan. Perinteinen menetelmä voi irrottaa maaperästä haitta-aineita, jotka maaperän luonnollisella pohjaveden virtausnopeudella eivät olisi mobiilissa tilassa, vaan pidättäytyneenä maan aineksen partikkeleihin. Hidasvirtausnäytteenotto puolestaan ei aiheuta luontaista tilannetta suurempaa virtaamaa, jolloin näytteessä ovat edustettuina normaalitilassa liikkuvat haitta-aineet.

7.3.5 PAH-yhdisteet

Huoltoasemakohteista (kohteet B - E) ei ole tutkittu PAH-yhdisteitä. PAH-yhdisteiden haitta-ainetarkastelu on tehty ainoastaan Kalasataman (kohde A) tuloksia vertailemalla. Taulukoissa 10 - 13 on esitetty kohteen A yksittäisten PAH-yhdisteiden pitoisuuksia ja lisäksi taulukossa 13 PAH-yhdisteiden summapitoisuudet.

PAH-yhdisteiden osalta merkittävimmät menetelmien väliset erot nousivat yksittäisessä putkessa 4 ensimmäisellä näytteenottokerralla. Jälkimmäisellä näytteenottokerralla putken 4 analyysitulokset olivat laskeneet ja joidenkin yksittäisten PAH-yhdisteiden osalta alle määrittäysrajan. Putken 4 tutkimustulokset on esitetty taulukoissa 10 - 13 ja kuvioissa 18 - 20. Taulukoissa 10 - 13 näkyvä merkittävin menetelmien välinen ero on putken 4 ensimmäisellä näytteenottokerralla.

TAULUKKO 10. Eräiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet hidasvirtausnäytteenot-
tomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	Antraseeni	Asenafteeni	Asenaftyleeni	Bentso(a)antraseeni	Bentso (a)pyreeni
STMa 461/2000 laatuvaatimus					0,01
STMa 461/2000 laatusuositus					
Pohjavedet VNa 341/2009	60				0,01
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 4 kevät	1,1	0,7	0,9	4,0	4,4
perinteinen 4 kevät	4,0	2,0	2,4	14	16
hidasvirtaus 4 syksy	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 4 syksy	<0,1	0,3	0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 kevät	0,1	0,4	0,2	<0,1	0,1
perinteinen 6 kevät	<0,1	0,6	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 syksy	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 6 syksy	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,1

TAULUKKO 11. Eräiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet hidasvirtausnäytteenot-
tomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	Bentso (k) fluoranteeni	Bentso (b) fluoranteeni	Bentso (g,h,i) peryleeni	Indeno (1,2,3 c,d) pyreeni	Dibentso (a,h) antraseeni
STMa 461/2000 laatuvaatimus	0,1	0,1			
STMa 461/2000 laatusuositus					
Pohjavedet VNa 341/2009	0,05	0,05			
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 1 kevät	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 1 kevät	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<0,1	<0,1	1,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 4 kevät	2,4	5,9	2,6	3,8	0,7
perinteinen 4 kevät	8,6	20	10	14	2,5
hidasvirtaus 4 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 4 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 kevät	<0,1	0,2	0,1	0,1	<0,1
perinteinen 6 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 6 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

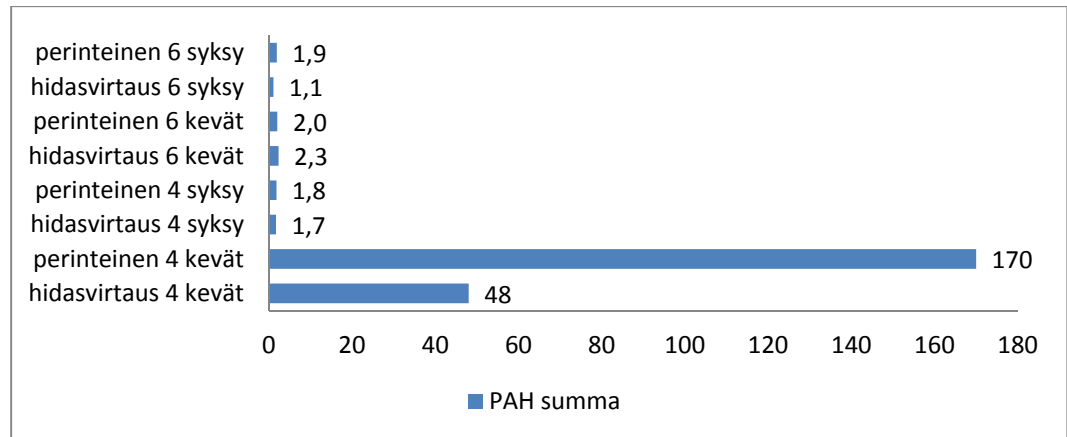
TAULUKKO 12. Eräiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet hidasvirtausnäytteenot-
tomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	Fenantreeni	Fluoranteeni	Fluoreeni	Kryseeni	Naftaleeni
STMa 461/2000 laatuvaatimus					
STMa 461/2000 laatusuositus					
Pohjavedet VNa 341/2009					1,3
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 4 kevät	2,9	7,1	0,6	4,5	0,6
perinteinen 4 kevät	11	24	2,0	16	1,7
hidasvirtaus 4 syksy	0,3	0,2	0,2	<0,1	0,5
perinteinen 4 syksy	0,2	0,3	0,2	<0,1	0,4
hidasvirtaus 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
perinteinen 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 syksy	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	1,1	<0,1
hidasvirtaus 6 kevät	0,1	0,2	0,6	0,1	<0,1
perinteinen 6 kevät	<0,1	0,1	0,9	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 syksy	0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1
perinteinen 6 syksy	0,2	0,2	0,5	<0,1	<0,1

TAULUKKO 13. Eräiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet hidasvirtausnäytteenot-
tomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

Havaintopiste	Pyreeni	PAH 16 EPA summa
STMa 461/2000 laatuvaatimus		
STMa 461/2000 laatusuositus		
Pohjavedet VNa 341/2009		
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 1 kevät	<0,1	<0,5
perinteinen 1 kevät	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 1 syksy	-	-
perinteinen 1 syksy	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 2 kevät	<0,1	<0,5
perinteinen 2 kevät	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 2 syksy	<0,1	<0,5
perinteinen 2 syksy	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 3 kevät	<0,1	<0,5
perinteinen 3 kevät	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 3 syksy	<0,1	<0,5
perinteinen 3 syksy	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 4 kevät	6,0	48
perinteinen 4 kevät	21	170
hidasvirtaus 4 syksy	<0,1	1,7
perinteinen 4 syksy	0,3	1,8
hidasvirtaus 5 kevät	<0,1	<0,5
perinteinen 5 kevät	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 5 syksy	<0,1	<0,5
perinteinen 5 syksy	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 6 kevät	0,2	2,3
perinteinen 6 kevät	<0,1	2,0
hidasvirtaus 6 syksy	<0,1	1,1
perinteinen 6 syksy	0,1	1,9

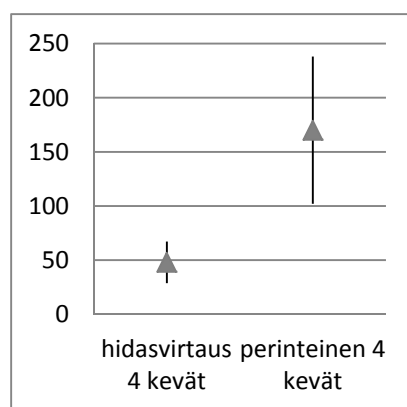
Kuviossa 18 on esitetty näytteenottomenetelmien PAH-yhdisteiden summapitoi-
suuksien vertailu putkelle 4 ensimmäisellä ja toisella näytteenottokerralla sekä
kuviossa 19 - 20 mittausepävarmuuksien vertailu määritysrajan ylittävälle PAH-
yhdisteiden summapitoisuuksille.



KUVIO 18. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän PAH-yhdisteiden pitoisuuksien vertailu

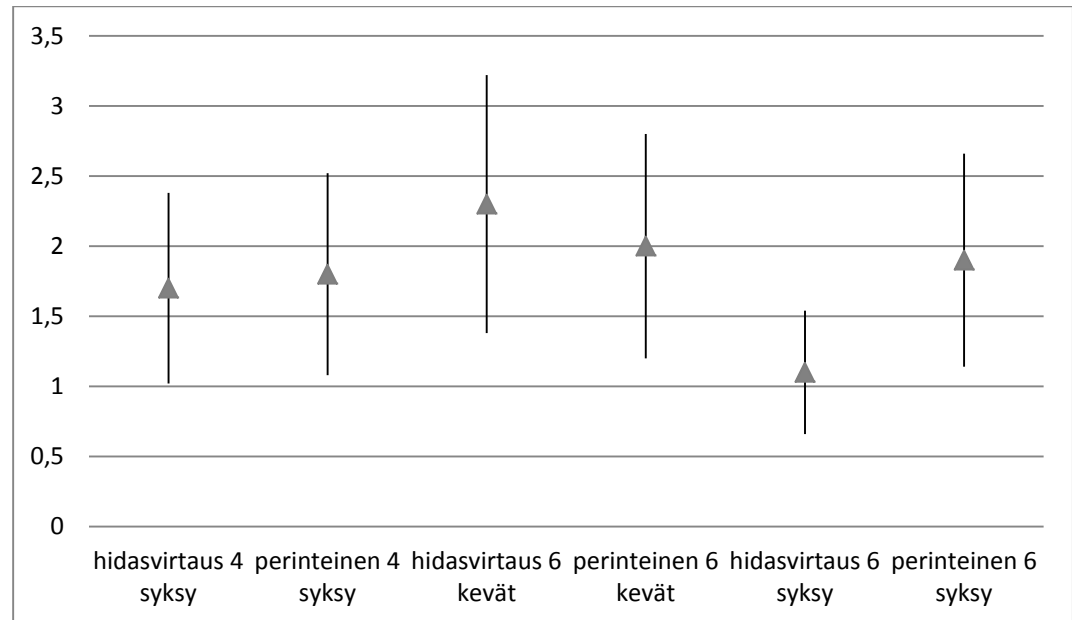
Kuvion 18 merkittävin ero näkyy putken 4 ensimmäisellä näytteenotokerralla, jolloin perinteisellä menetelmällä todetaan suurempi pitoisuus kuin hidaskvirtausmenetelmällä. Muiden putkien tulokset ovat olleet joko alle määrittämissä tai tasanaisissa. Kuvion tutkimustulokset on esitetty taulukoissa 10 - 13.

Kuvion 19 ero menetelmien välillä näkyy putken 4 ensimmäisellä näytteenotokerralla, jolloin perinteisellä menetelmällä todetaan suurempi pitoisuus kuin hidaskvirtausnäytteenotolla. Kuvion vaihteluväli kuvaa menetelmien välistä mittaus epävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



KUVIO 19. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän PAH-yhdisteiden haitta-ainepitoisuuksien mittaus epävarmuuksien vertailu

Kuvion 20 merkittävin ero menetelmien välillä näkyy putken 6 toisella näytteenottokerralla, jolloin hidaskvirtausnäytteenotolla todetaan perinteistä menetelmää pienempi analyysituloks. Kuvion vaihteluvälit kuvaavat menetelmien välistä mittausepävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



KUVIO 20. Hidaskvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän PAH-yhdisteiden haitta-ainepitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

PAH-yhdisteiden tulosten osalta pienissä pitoisuuksissa menetelmien väliset erot mahtuvat mittausepävarmuuteen, suurissa pitoisuuksissa, mittausepävarmuus huomioiden, menetelmillä on merkittävä ero. Analyysituloksia on kuitenkin hyvin vähän ja suurista pitoisuuksista on vain yksi havainto, joten johtopäätökset ovat epävarmoja ja vain suuntaa antavia.

7.3.6 Klooratut hiilivedyt

Huoltoasemakohteista (kohteet B - E) ei ole tutkittu kloorattuja yhdisteitä. Kalasataman (kohde A) tutkimuksessa klooratut yhdisteet eivät nousseet yli laboratorion määrittämysrajan. Klooratuista yhdisteistä ei päästy tekemään menetelmien välistä vertailua.

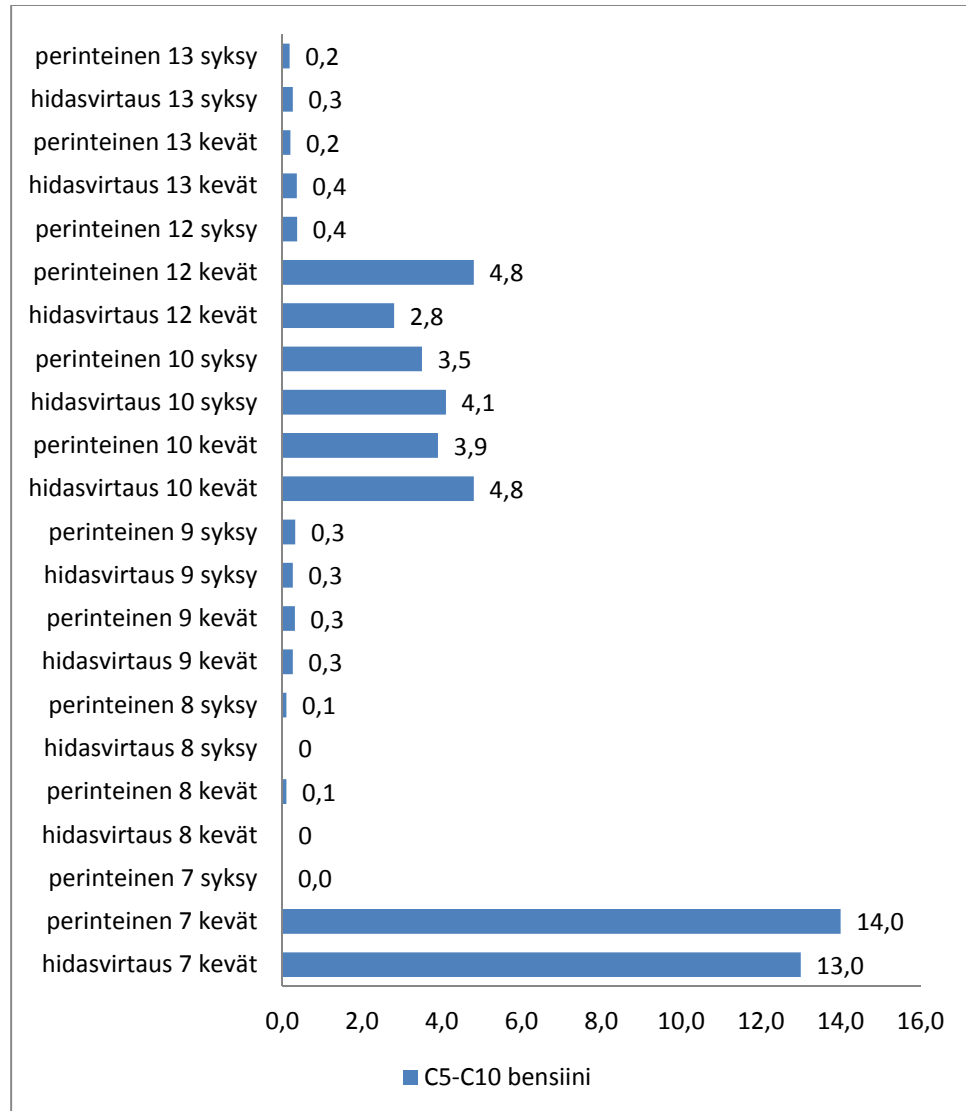
7.3.7 Öljyhiilivedyt

Öljyhiilivetyjen osalta haitta-ainetarkastelu koskee kaikkia kohteita (kohteet A - E). Alla esitetyssä taulukossa 14 on öljyhiilivetyjen analyysitulokset kohteille A - E.

TAULUKKO 14. Öljyhiilivetyjen pitoisuudet hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

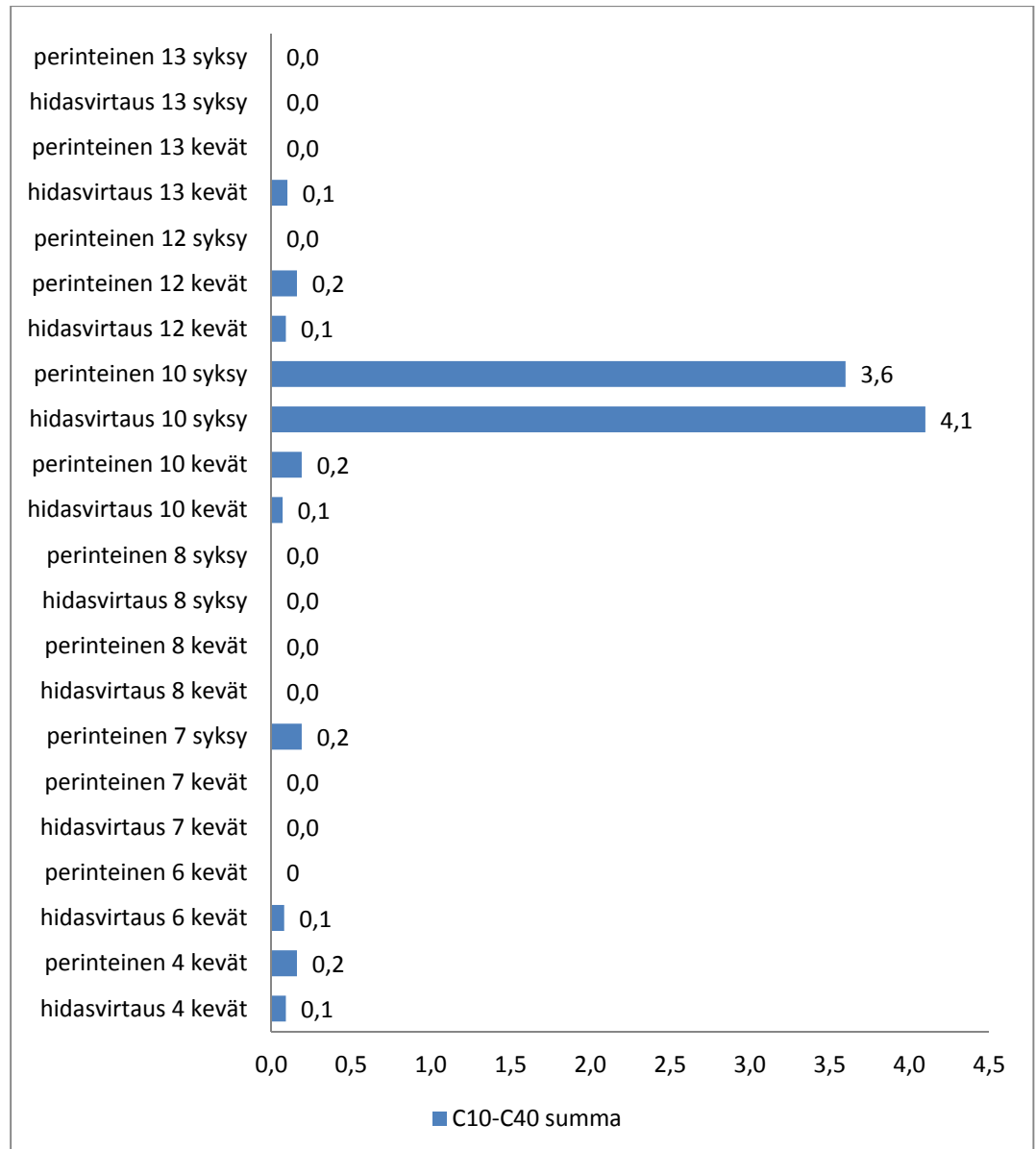
Havaintopiste	C5-C10 benssiini	C10-C21 keskitisleet	C21-C40 raskaat	C10-C40 summa
STMa 461/2000 laatuvaatimus				
STMa 461/2000 laatusuositus				
Pohjavedet VNa 341/2009				0,1
	(^{mg} /l)	(^{mg} /l)	(^{mg} /l)	(^{mg} /l)
hidasvirtaus 4 kevät	<0,05	<0,05	0,1	0,1
perinteinen 4 kevät	<0,05	0,1	0,1	0,2
hidasvirtaus 6 kevät	<0,05	<0,05	<0,05	0,1
perinteinen 6 kevät	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
hidasvirtaus 6 syksy	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
perinteinen 6 syksy	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
hidasvirtaus 7 kevät	13,0	<0,05	<0,05	<0,05
perinteinen 7 kevät	14,0	<0,05	<0,05	<0,05
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	<0,05	0,1	0,1	0,2
hidasvirtaus 8 kevät	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
perinteinen 8 kevät	0,1	<0,05	<0,05	<0,05
hidasvirtaus 8 syksy	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
perinteinen 8 syksy	0,1	<0,05	<0,05	0,1
hidasvirtaus 9 kevät	0,3	-	-	-
perinteinen 9 kevät	0,3	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	0,3	-	-	-
perinteinen 9 syksy	0,3	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	4,8	0,1	<0,05	0,1
perinteinen 10 kevät	3,9	0,2	<0,05	0,2
hidasvirtaus 10 syksy	4,1	0,1	<0,05	4,1
perinteinen 10 syksy	3,5	0,1	<0,05	3,6
hidasvirtaus 12 kevät	2,8	0,1	<0,05	0,1
perinteinen 12 kevät	4,8	0,2	<0,05	0,2
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	0,4	<0,05	<0,05	<0,05
hidasvirtaus 13 kevät	0,4	<0,05	0,1	0,1
perinteinen 13 kevät	0,2	<0,05	<0,05	<0,05
hidasvirtaus 13 syksy	0,3	<0,05	<0,05	<0,05
perinteinen 13 syksy	0,2	<0,05	<0,05	<0,05

Kuvioissa 21 - 22 on esitetty näytteenottomenetelmien vertailu analyysituloksille C5 - C40 analyysituloksille, joista vähintään toisella menetelmällä tulokset ylittävät määritysrajan. Kuvioissa 23 - 27 on mittausepävarmuustarkastelu määritysrajan ylittävälle C5 - C40 pitoisuuksille.



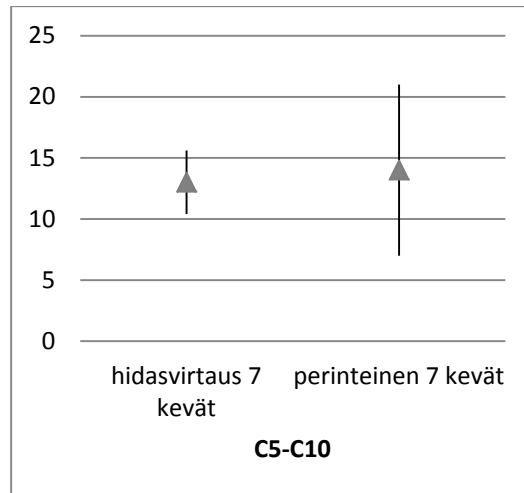
KUVIO 21. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän C5 - C10 pitoisuuksien vertailu

Kuviosta 21 näkyy, että menetelmien välillä ei todeta merkittävää eroa. Marginaalisia eroja menetelmien välillä näkyy putken 7, 10 ja 12 ensimmäisellä näytteenotokerralla ja putken 10 toisella näytteenotokerralla. Nämä marginaaliset erot eivät ole merkittäviä.

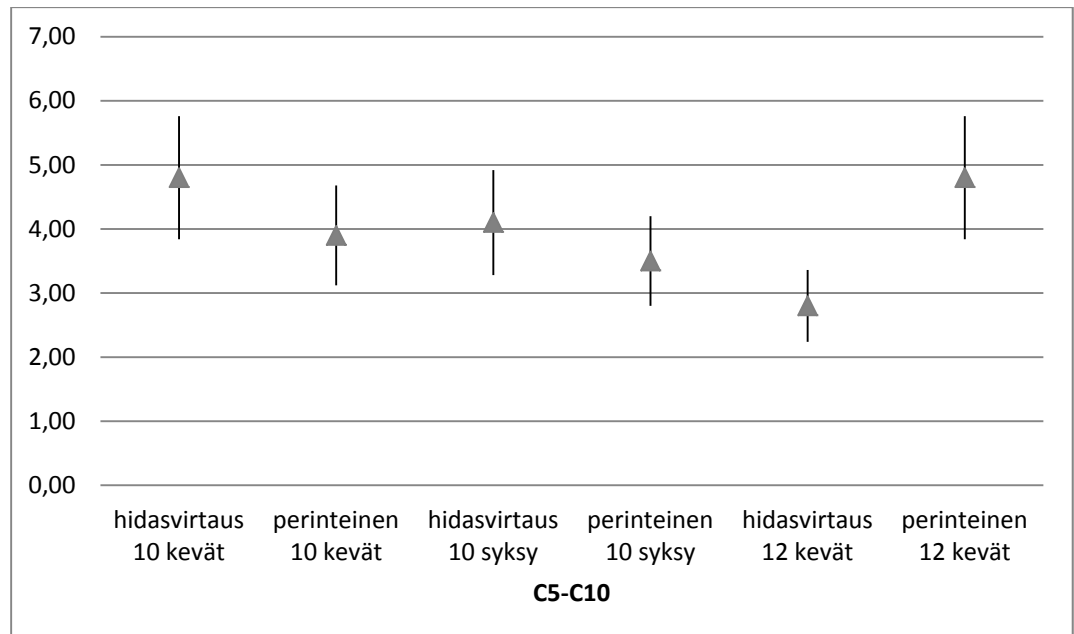


KUVIO 22. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän C10 - C40 pitoisuuksien vertailu

Kuviosta 22 näkyy, että menetelmien välillä ei ole merkittäviä eroa. Menetelmien väliset marginaaliset erot näkyvät putkien 4, 6, 10 ja 12 ensimmäisellä näytteenotokerralla ja putkien 7 ja 10 toisella näytteenotokerralla.



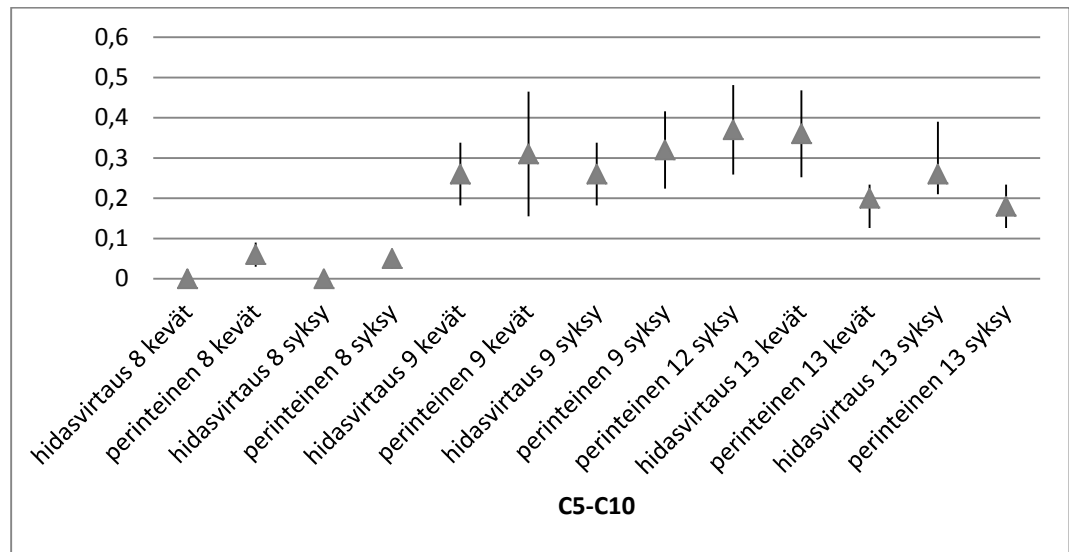
KUVIO 23. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän C5 - C10 pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu.



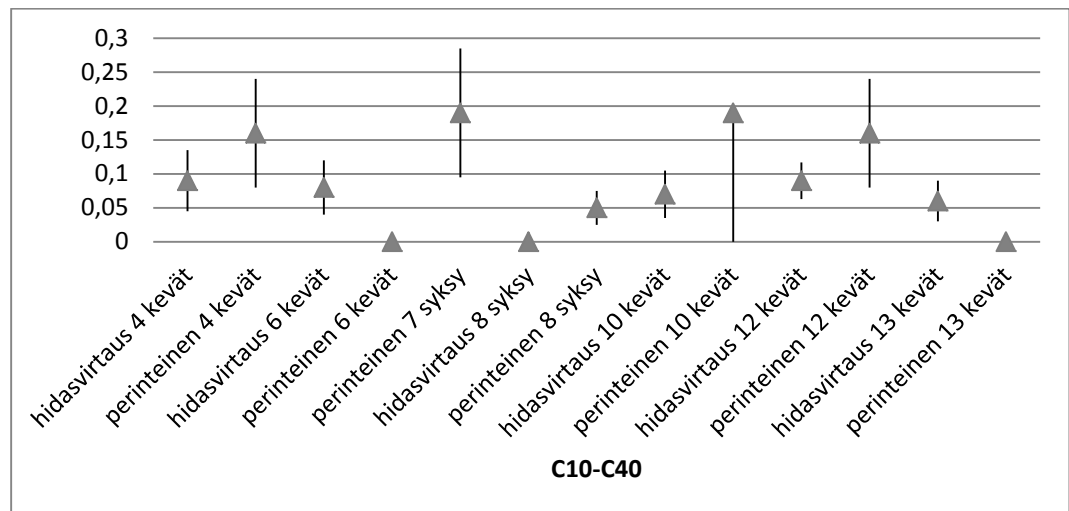
KUVIO 24. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän C5 - C10 pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu.

Kuvioista 23 ja 24 näkee, että suurin osa menetelmien välisestä erosta lukeutuu mittausepävarmuuksiin, merkittävin ero näkyy putken 12 ensimmäisellä näytteenotokerralla, jossa perinteisellä menetelmällä todetaan suurempi pitoisuus kuin hidavirtausnäytteenotolla. Kuvioissa 25 - 26 merkittävimmät erot menetelmien välillä näkyvät kuvion 25 putken 13 molemmilla näytteenotokerroilla. Kuviossa 26 näkyy menetelmien välillä marginaalista vaihtelua. Kuvioiden vaihteluvälit

kuvaavat menetelmien välistä mittausepävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.

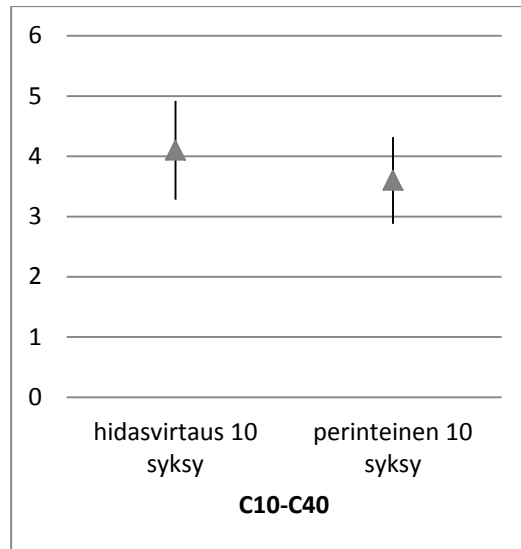


KUVIO 25. Hidastusnäytteenotto- ja perinteisen pohjavesinäytteenotto- menetelmien C5 - C10 pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu



KUVIO 26. Hidastusnäytteenotto- ja perinteisen pohjavesinäytteenotto- menetelmien C10 - C40 pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

Kuviosta 27 näkyy, että menetelmien välillä ei ole merkittävää eroa. Kuvion vaihteluväli kuvaa menetelmien välistä mittausepävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



KUVIO 27. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän C10 - C40 pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

Menetelmien välisten erojen vertailua on esitetty kuvioissa 21 - 27 Bensiini- ja öljyhiilivetyjen pitoisuuksissa ei esiinny merkittäviä eroja analyysituloksissa menetelmien välillä. Pitoisuuksien vaihtelut sisältyvät suurimmaksi osaksi mittausepävarmuuksia. Öljyhiilivetyjen mittausepävarmuuksissa on hieman marginaalista vaihtelua, joka on esitetty kuviossa 26. Tämän havaintoaineiston perusteella voidaan todeta, että menetelmillä saadaan mittausepävarmuus huomioiden samaa suuruusluokkaa olevia tuloksia.

7.3.8 Oksygenaatit

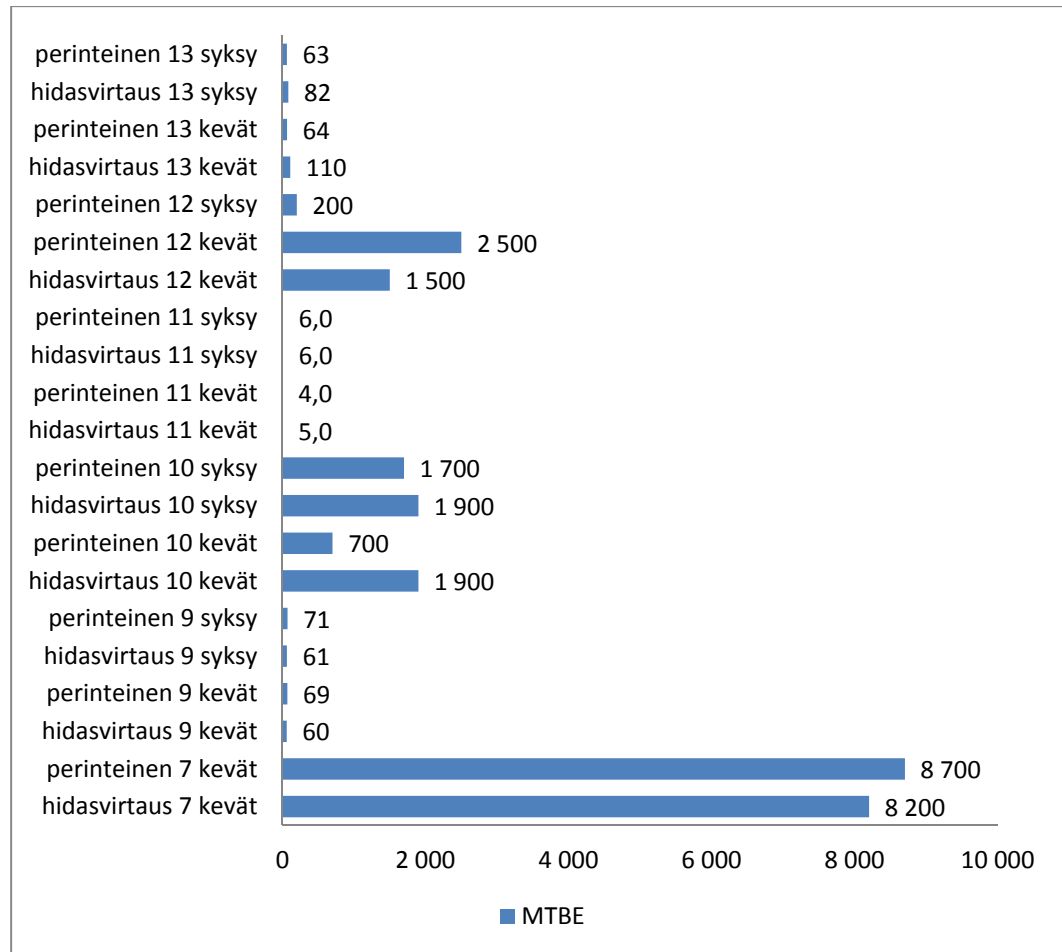
Kalasadaman (kohde A) tutkimuksessa ei ole tutkittu oksygenaatteja. Oksygenaattien osalta haitta-ainetarkastelu on tehty ainoastaan vertailemalla huoltoasemakohteiden (kohteet B - E) tuloksia, jotka on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Oksygenaattien pitoisuudet hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä ja perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä

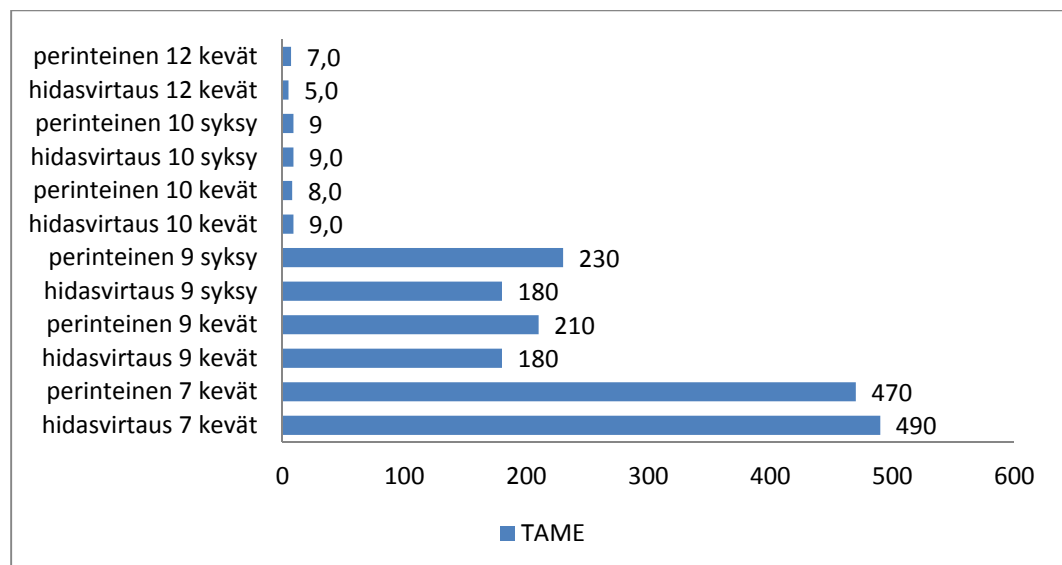
Havaintopiste	MTBE	TAME
STMa 461/2000 laatuvaatimus		
STMa 461/2000 laatusuositus		
Pohjavedet VNa 341/2009	7,5	60
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 7 kevät	8 200	490
perinteinen 7 kevät	8 700	470
hidasvirtaus 9 kevät	60	180
perinteinen 9 kevät	69	210
hidasvirtaus 9 syksy	61	180
perinteinen 9 syksy	71	230
hidasvirtaus 10 kevät	1 900	9,0
perinteinen 10 kevät	700	8,0
hidasvirtaus 10 syksy	1 900	9,0
perinteinen 10 syksy	1 700	9
hidasvirtaus 11 kevät	5,0	<1,0
perinteinen 11 kevät	4,0	<1,0
hidasvirtaus 11 syksy	6,0	<1,0
perinteinen 11 syksy	6,0	<1,0
hidasvirtaus 12 kevät	1 500	5,0
perinteinen 12 kevät	2 500	7,0
hidasvirtaus 12 syksy	-	-
perinteinen 12 syksy	200	<1,0
hidasvirtaus 13 kevät	110	<1,0
perinteinen 13 kevät	64	<1,0
hidasvirtaus 13 syksy	82	<1,0
perinteinen 13 syksy	63	<1,0

Kuvioissa 28 - 29 on esitetty hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän vertailua analyysituloksille, joista vähintään toisella menetelmällä pitoisuudet ylittävät määritysrajan, sekä kuvioissa 30 - 33 mittausepävarmuuksien vertailua määritysrajan ylittävälle MTBE- ja TAME-pitoisuuksille

Kuvioiden merkittävimmät erot näkyvät kuvion 28 putkien 10 ja 12 kevään näytteenottokerroilla. Putkessa 10 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan suurempi tulos kuin perinteisellä menetelmällä ja putkessa 12 tulos on toisinpäin. Kuviosta 29 näkyy, että TAME:n osalta merkittäviä eroja menetelmien välillä ei todeta.

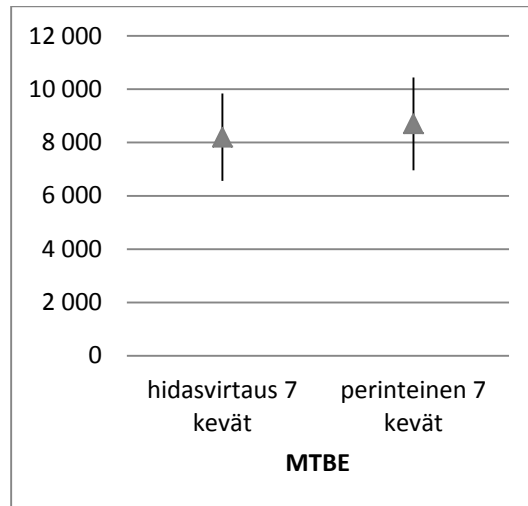


KUVIO 28. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän MTBE-pitoisuuksien vertailu

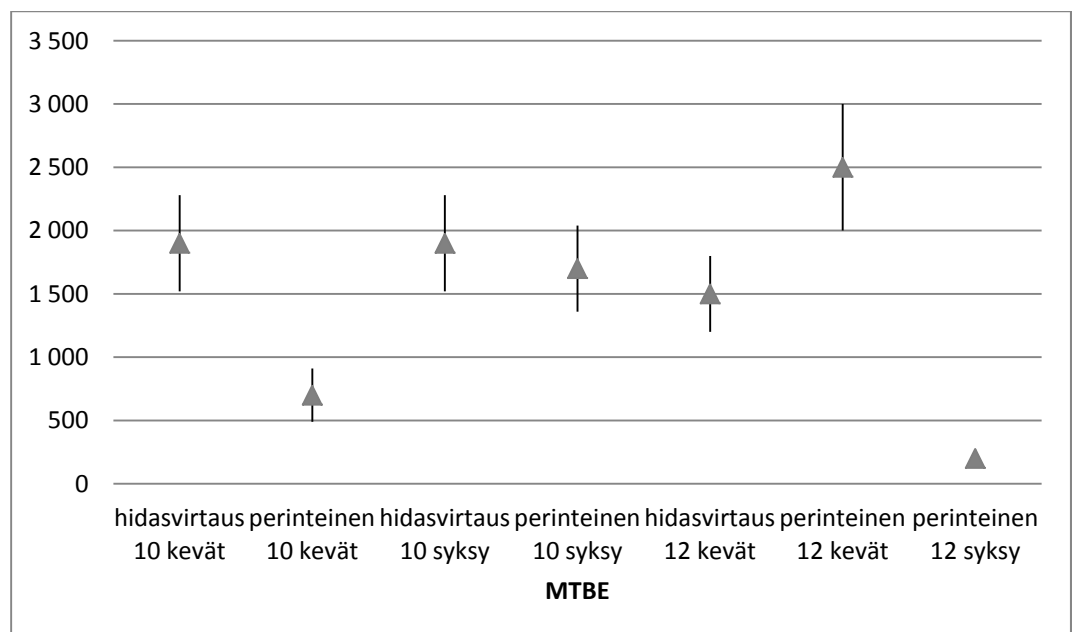


KUVIO 29. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän TAME-pitoisuuksien vertailu.

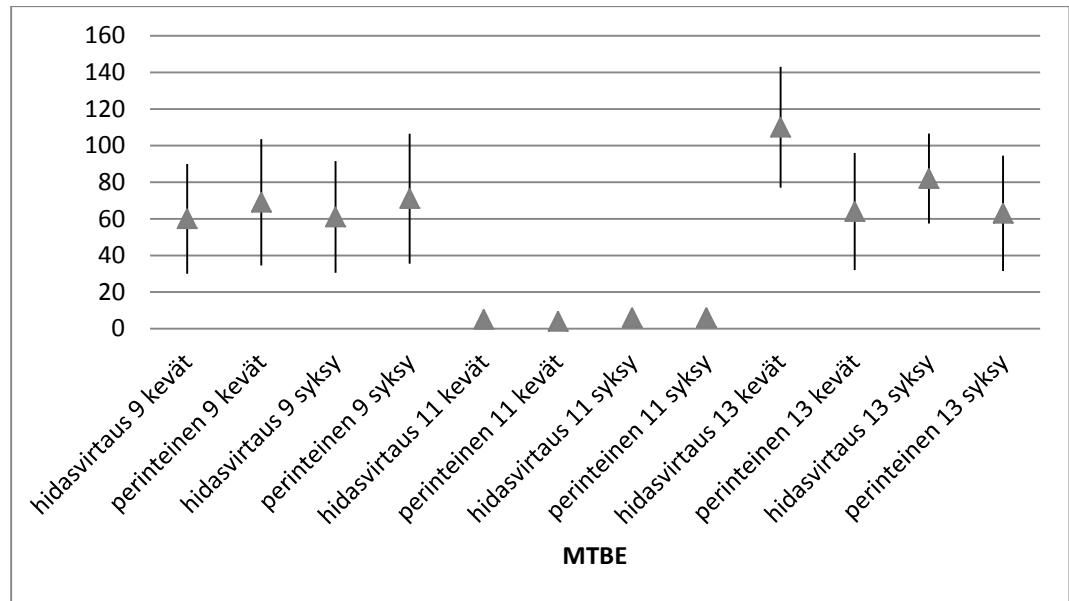
Kuviossa 30 merkittävää vaihteluvälieroja ei esiinny. Kuviossa 31 eroa menetelmien välillä esiintyy putkien 10 ja 12 välillä ja kuviossa 32 putken 13 ensimmäisellä näytteenotokerralla. Kuvioden vaihteluvälit kuvaavat menetelmien välistä mittausepävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



KUVIO 30. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän MTBE-pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

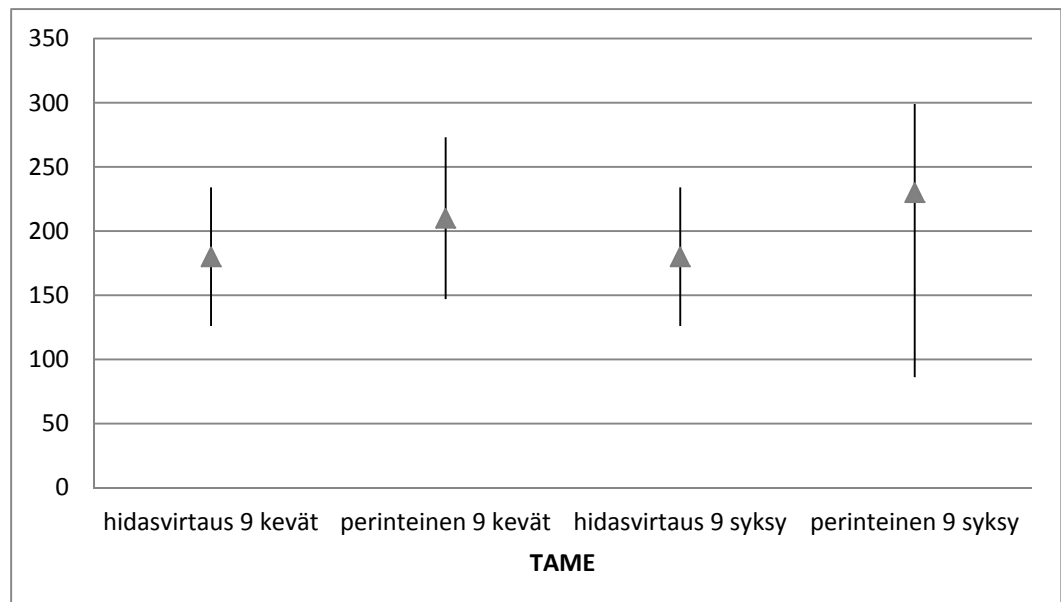


KUVIO 31. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän MTBE-pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

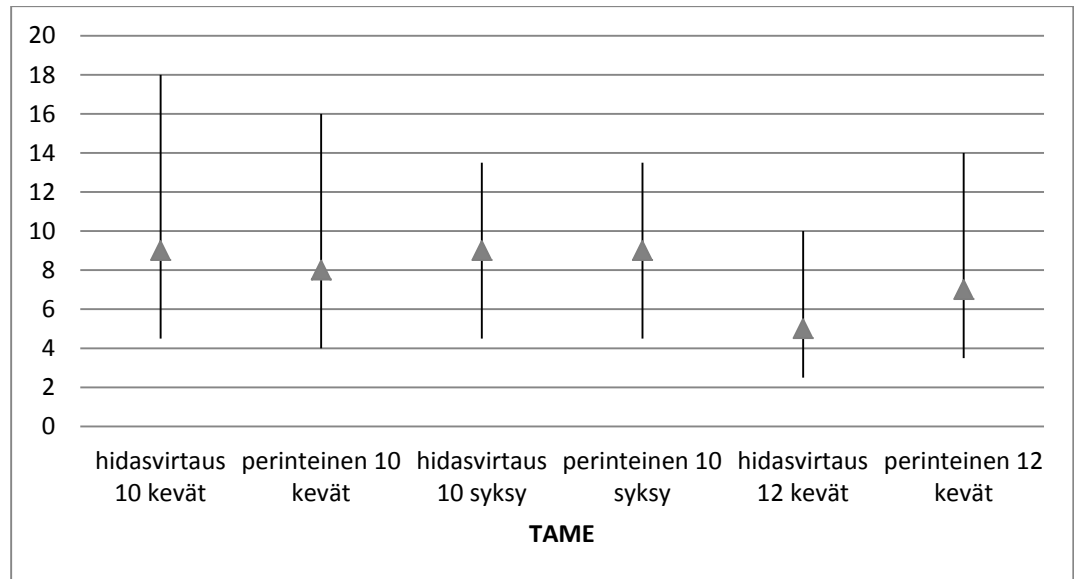


KUVIO 32. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän MTBE-pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

Kuvioissa 33 ja 34 ei esiinny merkittävää eroa menetelmien välillä ja menetelmien välisten erojen marginaaliset vaihtelut selittyvät mittausepävarmuuksina. Kuvioiden vaihteluvälit kuvaavat menetelmien välistä mittausepävarmuutta. Vaihteluvälin keskellä oleva kolmio kuvaa tutkimuksessa todettua analyysitulosta.



KUVIO 33. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän TAME-pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu



KUVIO 34. Hidasvirtausnäytteenottomenetelmän ja perinteisen pohjavesinäytteenottomenetelmän TAME-pitoisuuksien mittausepävarmuuksien vertailu

MTBE:n ja TAME:n analyysitulokset on esitetty taulukossa 13 ja MTBE kuvioissa 28 ja 30 - 32 sekä TAME kuvioissa 29 ja 33 - 34. MTBE:llä hidasvirtausnäytteenotolla saadaan sekä suurempia että pienempiä tuloksia putkista riippuen. Esimerkiksi ensimmäisellä näytteenottokerralla putkella 10 hidasvirtausnäytteenotolla todetaan suurempia pitoisuuksia kuin perinteisellä ja putkella 12 päinvastoin. Nämä ovat nähtävissä kuvioissa 28 ja 31. Toisella näytteenottokerralla putken 10 menetelmien väliset erot tasoittuivat. Putkea 12 ei päästy vertaamaan, sillä toisella kerralla ei hidasvirtausnäytteenotolla saatu näytettä. MTBE:n osalta menetelmien väliset erot ovat kuitenkin merkityksettömän pienet. TAME:lla analyysituloksissa ei esiinny merkittäviä eroja näytteenottomenetelmien välillä ja pitoisuuksien vaihtelut sisältyvät suurimmaksi osaksi mittausepävarmuuksia. Tämän havaintoaineiston perusteella voidaan todeta, että menetelmillä saadaan samaa suuruusluokkaa olevia tuloksia.

7.4 Tilastollinen tarkastelu

Menetelmien tilastollisia eroavaisuuksia tarkastellaan vain niiden tutkimustulosten osalta, jotka ovat ylittäneet määrittäjärajan joko hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä tai perinteisellä menetelmällä. Molemmilla näytteenottomenetelmillä haitta-ainepitoisuuksien tulosten todetaan olevan melko tasaiset ja suurin osa eri

menetelmien välisten tulosten eroavaisuuksista mahtuu analyysimenetelmien mittausepävarmuuteen. Joidenkin haitta-aineiden osalta vertailukelpoisia tuloksia on kuitenkin kovin vähän. Tutkimuksessa ilmeni myös haitta-ainepitoisuuksia, jotka olivat pienempiä perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä. Näiden tulosten voidaan kuitenkin todeta olevan suurimmaksi osaksi normaalia tilastollista vaihtelua. Eri menetelmillä otettujen näytteiden tuloksissa ilmeni myös merkittäviä eroavaisuuksia. Eroavaisuutta esiintyi haitta-aineista erityisesti raskasmetalleilla ja puolimetalleilla (liukoiset ja kokonaispitoisuudet), BTEX- ja PAH-yhdisteillä.

Metallien tulokset on esitetty taulukoissa 7-8 ja kuvioissa 1-6, BTEX-yhdisteet taulukossa 10 ja kuvioissa 7-17 sekä PAH-yhdisteiden taulukoissa 10 - 13 ja kuvioissa 18 - 20. Hidasvirtausnäytteenotolla saadaan siis samankaltaisia tuloksia kuin perinteisellä menetelmällä tai aavistuksen matalampia ja paikoin huomattavasti matalampia pitoisuuksia kuin perinteisellä pohjavesinäytteenottomenetelmällä.

7.4.1 Näytteenottomenetelmien välinen korrelaatio

Eri näytteenottomenetelmillä saatujen tulosten keskinäistä riippuvuutta testattiin lineaarisella suoran sovituksella. Mittausteknisistä syistä, pohjavesiputkien erityisominaisuuksista tai näytteenottoajankohdan olosuhteista johtuvien mahdollisten virheiden vuoksi eri näytteenottomenetelmillä saatujen tulosten suhdelukujen pienimmät ja suurimmat arvot testattiin Dixon Q-testillä. Aineistosta poistettiin havainnot, joiden katsottiin 99 % todennäköisyydellä olevan virheellisiä havaintoja. Tehdyssä vertailussa ei otettu huomioon laboratorion analyysimenetelmien mittausepävarmuutta.

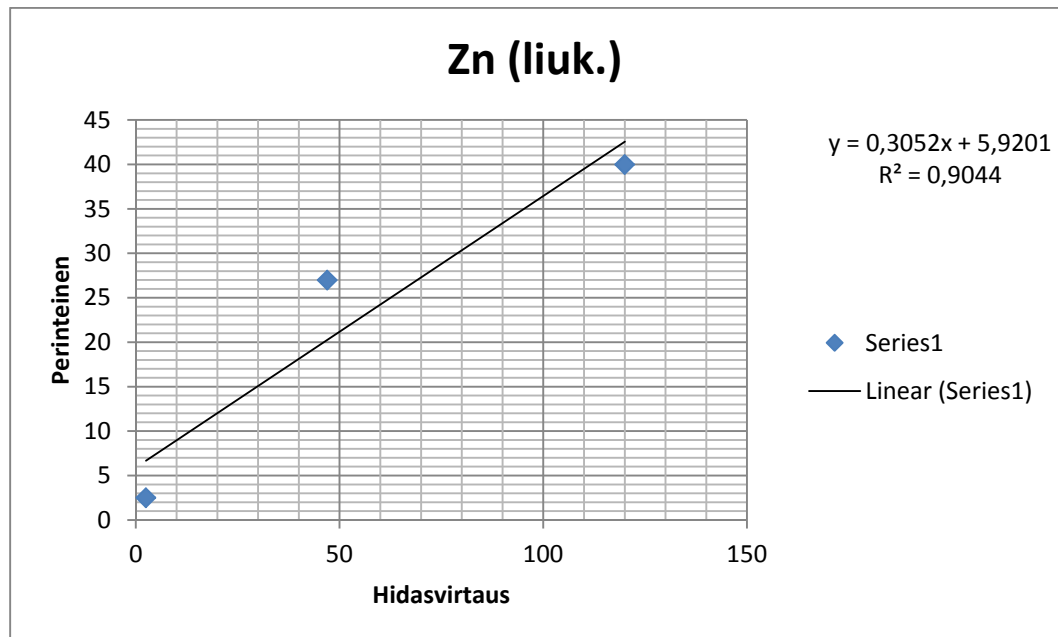
Aineistoon todennäköisesti kuulumattomat tulokset testattiin näytteenottomenetelmien välisten tulosten suhteista, koska eri näytepisteistä saadut tulokset eivät ole suoraan verrannollisia, johtuen muun muassa maaperän ominaisuuksista ja mahdollisen haitta-ainelähteen etäisyydestä sekä havaintopistekohtaisista haitta-aineiden pitoisuuseroista. Oletuksena on, että eri näytteenottomenetelmillä otettujen näytteiden analyysitulosten suhteiden kuuluisi säilyä näyteputkesta huolimatta samalla tasolla. Oletus on yksinkertaistettu siten, että huomioon ei ole otettu esimerkiksi havaintoputken ympärillä olevan maaperän kemiallisten tai fysikaalisten

tekijöiden mahdollista vaikutusta. Tällaisia muuttujia voisivat olla esimerkiksi maalaji, rakeisuus, pH ja orgaanisen aineksen määrä.

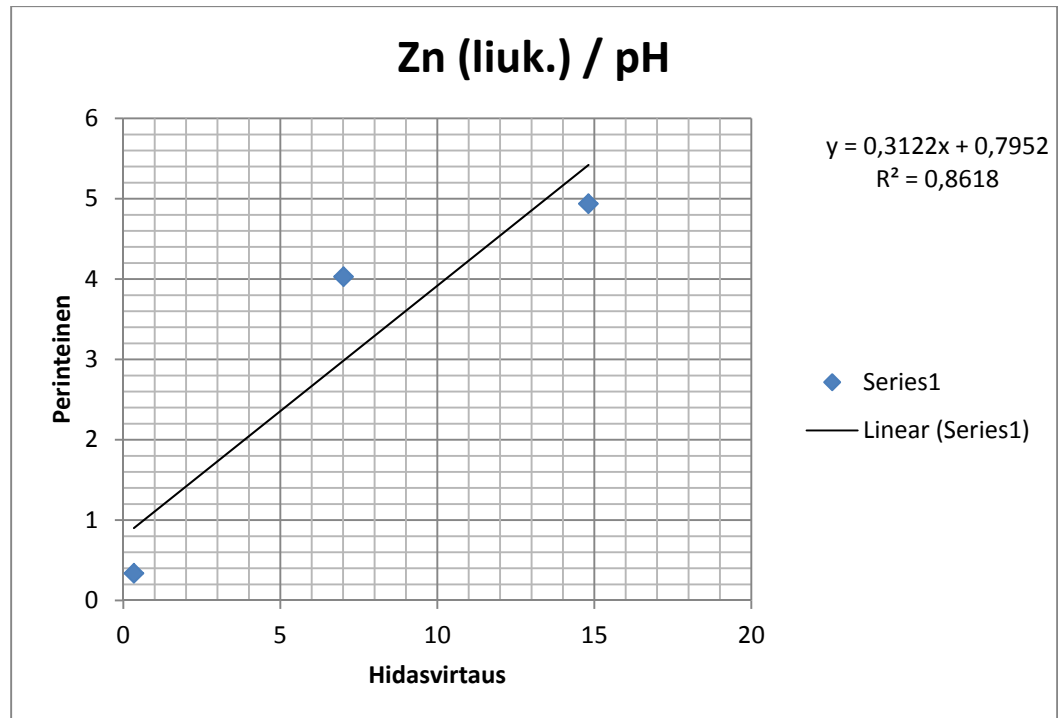
Mallit on tehty sellaisten tulosjoukkojen perusteella, joista on poistettu virheelliset havainnot. Malleista on määritetty korrelaatiokertoimet ja niille merkitsevyyssastot, jotka on esitetty taulukossa 17.

Lineaarisen suoran sovituksen toimivuus mallina testattiin arseenin kokonaispitoisuustulosten perusteella. Tehdyn regressioanalyysin mukaan malli on ainakin arseenitulosten kohdalla toimiva. Kaikkien eri näytteenottomenetelmillä saatujen tulosten mallintamista ei testattu, vaan muidenkin alkuaineiden ja yhdisteiden kohdalla lineaarisen suoran sovituksen oletettiin olevan toimiva malli.

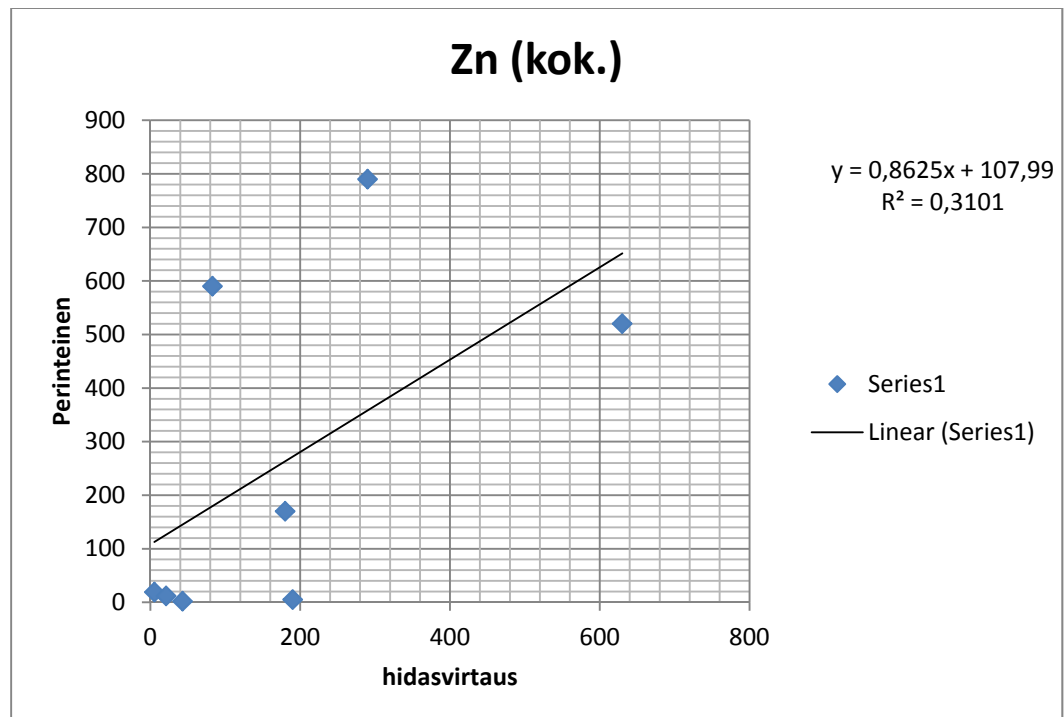
Kuvioissa 35 - 38 on havainnollistettu näytteenottomenetelmien välistä regressiota sekä analyysituloksen ja pH:n/kiintoaineen suhdetta. Liitteeseen 6 on koottu kaikki haitta-aineista tehtyjen regressioanalyysien kuviot. Kuvioissa 37 - 38 eri menetelmillä otetuista näytteistä analysoidut sinkin kokonaispitoisuudet on suhteutettu kiintoaineen kanssa. Kuvioita tarkastelemalla voidaan todeta, että eri näytteenottomenetelmillä otettujen näytteiden sinkin kokonaispitoisuuksien välinen selitysaste paranee, kun tulokset suhteutetaan kiintoaineeseen.



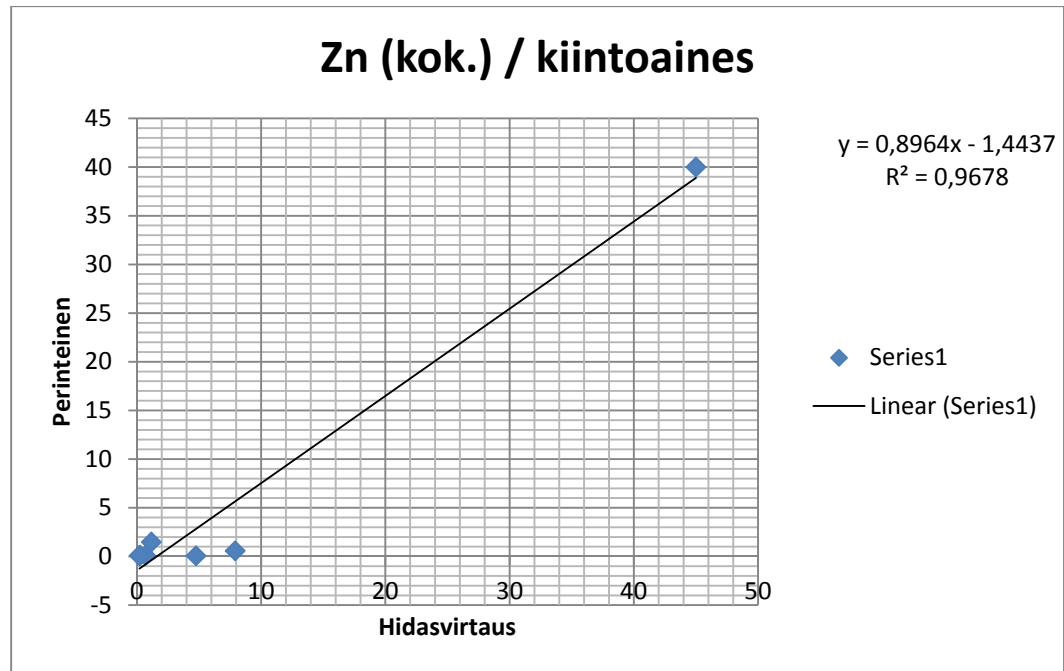
KUVIO 35. Perinteisen näytteenottomenetelmän liukoisen sinkin tulokset hidaskiintoainevirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona



KUVIO 36. Liukoisen sinkin ja pH:n suhde



KUVIO 37. Perinteisen näytteenottomenetelmän kokonaissinkin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona



KUVIO 38. Kokonaissinkin ja kiintoaineen suhde

Taulukossa 16 on esitetty korrelaatioiden tilastollinen merkitsevyys ja niiden tasot sekä taulukossa 17 haitta-aineille tehdyt korrelaatiot aineistoon, josta on poistettu mahdolliset virheelliset havainnot. Taulukossa 17 on myös esitetty menetelmien välinen prosenttiero ja se, saatiinko tulos hidasvirtausnäytteenotolla vai perinteisellä näytteenotolla.

TAULUKKO 16. Korrelaatioiden tilastollinen merkitsevyys

Merkitsevyystaso	Tilastollinen merkitsevyys
0,05	melkein merkitsevä
0,01	merkitsevä
0,001	erittäin merkitsevä

TAULUKKO 17. Korrelaatiot haitta-aineille

Haitta-aine	Korrelaatio	Korrelaation merkitsevyys	Menetelmien ero (%)
As (liuk.)	0,9845	merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 12 % suurempia
As (liuk.) / pH	0,7985	merkitsevä	
As (kok.)	0,4314	melkein merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 29 % pienempiä
As (kok.) / kiintoaines	0,9804	merkitsevä	
Cr (liuk.)	0,8304	ei merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 16 % suurempia
Cr (liuk.) / pH	0,8541	ei merkitsevä	
Cr (kok.)	0,8139	melkein merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 11 % pienempiä
Cr (kok.) / kiintoaines	0,3087	ei merkitsevä	
Zn (liuk.)	0,9510	melkein merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 91 % suurempia
Zn (liuk.) / pH	0,9283	melkein merkitsevä	
Zn (kok.)	0,5569	ei merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 20 % pienempiä
Zn (kok.) / kiintoaines	0,9838	merkitsevä	
Bentseeni	0,9673	merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 10 % suurempia
PAH summa	0,9998	erittäin merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 24 % pienempiä
PAH summa / kiintoaines	0,7099	ei merkitsevä	
Asenafteni	0,9827	merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 25 % pienempiä
Asenafteni / kiintoaines	0,9998	erittäin merkitsevä	
Fluoreeni	0,7959	ei merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 31 % pienempiä
Fluoreeni / kiintoaines	0,9997	erittäin merkitsevä	
MTBE	0,988	merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 7 % suurempia
TAME	0,9911	merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 8 % pienempiä
C5-C10	0,9818	merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 10 % suurempia
C10-C40	0,9999	erittäin merkitsevä	Hidasvirtaus-näytteenotolla 31 % pienempiä

7.4.2 Johtopäätökset

Niukkaliukoisilla alkuaineilla ja yhdisteillä hidasvirtausnäytteenotolla otettujen näytteiden analyysitulokset ovat tämän havaintoaineiston perusteella keskimäärin pienempiä kuin perinteisellä, kun mittausepävarmuus jätetään huomiotta. Päinvastoin kuin edellä, hyvin liukoisilla alkuaineilla ja yhdisteillä hidasvirtausnäytteenotolla otettujen näytteiden analyysitulokset ovat tämän havaintoaineiston perusteella keskimäärin suurempia kuin perinteisellä näytteenotolla.

Sinkin ja kromin kiintoainekseen suhteutettujen kokonaispitoisuuksien perusteella ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä siitä, saadaanko jommalla kummalla menetelmästä johdonmukaisesti pienempiä tai suurempia tuloksia. Tämä johtuu havaintoaineiston suuresta hajonnasta, joka kuuluu normaaliin vaihteluun. Suoran sovitukselta ei saatu näiden metallien kiintoainekseen suhteutettujen metallien kokonaispitoisuuksien kohdalla tarkasteluun toimivaa mallia aineiston suuren hajonnan vuoksi.

Liukoisten metallien analyysituloksien voidaan todeta tämän havaintoaineiston perusteella olevan hidasvirtausnäytteenotolla keskimäärin suurempia kuin perinteisellä ja metallien kokonaispitoisuuksien olevan hidasvirtausnäytteenotolla keskimäärin pienempiä kuin perinteisellä. Sinkin kohdalla tämän havaintoaineiston vähyys aiheuttaa suurta epävarmuutta. Tämän tutkimuksen havaintoaineiston perusteella saatua menetelmien keskimääräistä eroa voidaan pitää vain suuntaa antavana.

Bentseenille hidasvirtausnäytteenottomenetelmällä saadaan keskimäärin 10 % suurempia tuloksia kuin perinteisellä menetelmällä. Menetelmien välisten tulosten suhteiden keskihajonnat ovat kuitenkin suuria ja normaalin vaihtelun piiriin kuuluu myös toisenlaisia tuloksia. Tämä lisää menetelmien välisen keskimääräisen eron epävarmuutta.

Fluoreenille ja asenaftenille saadaan hidasvirtausnäytteenotolla pienempiä tuloksia kuin perinteisellä menetelmällä. Tätä tukee tulosten suhteiden pieni hajonta. PAH-yhdisteiden osalta havaintoaineiston vähyys tuo epävarmuutta tarkasteluun. Suoria johtopäätöksiä tai ennusteita ei voida tehdä siitä, miten menetelmien väliset erot käyttäytyisivät laajemmassa aineistossa.

Hidasvirtausnäytteenotolla saadaan tämän tutkimuksen havaintoaineiston perusteella MTBE:lle keskimäärin 7 % suurempia tuloksia kuin perinteisellä menetelmällä ja TAME:lle keskimäärin 8 % pienempiä. Tätä tukee menetelmien välisten tulosten suhteiden pieni hajonta.

Öljyhiilivedyille hidasvirtausnäytteenotolla saadaan tämän tutkimuksen havaintoaineiston perusteella keskimäärin 31 % pienempiä tuloksia kuin perinteisellä menetelmällä. Havaintoaineiston vähyys sekä suuri keskihajonta kasvattavat menetelmien välisen keskimääräisen eron epävarmuutta huomattavasti. Bensiinihiilivedyille saadaan hidasvirtausnäytteenotolla tämän tutkimuksen havaintoaineiston perusteella 10 % suurempia tuloksia kuin perinteisellä, mutta aineiston suuri keskihajonta lisää epävarmuutta. Suuresta keskihajonnasta johtuen voidaan olettaa, että myös päinvastaiset tulokset kuuluvat normaaliin hajontaan ja ovat mahdollisia.

8 YHTEENVETO

Tähän näytteenottoon valikoituneiden pohjavesiputkien pitoisuustasot ovat olleet aikaisemmissa tutkimuksissa laskevia ja tämä trendi näkyy tässä tutkimuksessa hyödynnettyjen näytteenottojen tuloksissa. Moni haitta-aine on pitoisuudeltaan laskenut alle määrittämissä rajan. Molemmilla näytteenottomenetelmillä saadut alle määrittämissä rajan tulokset on rajattu haitta-ainetarkastelun ulkopuolelle vertailukelvottomina näytteinä. Kloorattujen hiilivety-yhdisteiden kaikki tulokset olivat alle määrittämissä rajan ja rajautuivat pois vertailusta.

Verrattaessa hidaskäyttönäytteenotolla saatuja analyysituloksia perinteisellä pohjavesinäytteenotolla saatuihin tuloksiin voidaan todeta näytteenottomenetelmien välisen tulosten korreloivan keskenään hyvin. Menetelmissä kuitenkin havaittiin pientä eroa. Hidaskäyttönäytteenottomenetelmällä saatiin kautta linjan hieman matalampia tuloksia kuin perinteisellä menetelmällä yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta. Osa pitoisuuseroista oli hyvin marginaalisia eivätkä näin ollen merkittäviä.

Haitta-aineiden kulkeutuminen riippuu niin maaperän kuin haitta-aineiden ominaisuuksista sekä veden virtaamasta. Perinteisen pohjavesinäytteenoton korkeammat analyysitulokset niukkaliukoisilla yhdisteillä ja alkuaineilla voivat selittyä sillä, että menetelmän aiheuttama pohjaveden virtaaman kasvu voi aikaansaada kulkeutumista haitta-aineksessa, joka normaalitilanteessa on sitoutunut maainekseen. Tätä päätelmää tukee se, että perinteisellä menetelmällä otettujen näytteiden kiintoainepitoisuudet ovat suurilla kiintoainepitoisuuksilla olleet pääosin suuremmat kuin hidaskäyttönäytteenotossa.

PAH-yhdisteiden ja metallien osalta hidaskäyttönäytteenoton tulokset olivat keskimäärin perinteistä pohjavesinäytteenottomenetelmää pienempiä, kun pitoisuudet olivat suuria ja menetelmien väliset erot kaventuivat pitoisuuksien laskiessa. BTEX-yhdisteiden ja syanidin yksittäisiä merkittävästi perinteistä menetelmää pienempiä hidaskäyttönäytteenoton tuloksia lukuun ottamatta pitoisuustasot olivat molemmilla menetelmillä samaa luokkaa. Öljyhiilivetyjen (C5 - C40) ja oksygenaattien (MTBE, TAME) analyysituloksiin ei tämän tutkimuksen havaintoi-

neiston perusteella hidasvirtausnäytteenoton ja perinteisen menetelmän välillä todettu olevan merkittävää eroa.

Näytteenottomenetelmien keskimääräistä riippuvuutta testattiin lineaarisella suoran sovituksella. Mahdollisten näytteenoton ja eri havaintoputkien ominaisuuksista johtuvien virheiden vuoksi eri näytteenottomenetelmillä saatujen tulosten suhdelukujen arvot testattiin Dixon Q-testillä. Aineistoon todennäköisesti kuulumattomat tulokset testattiin näytteenottomenetelmien välisten tulosten suhteista.

Lineaarisen suoran sovituksen pohjalta voidaan todeta, että eri näytteenottomenetelmillä otetuista vesinäytteistä analysoitujen haitta-aineiden tulokset korreloivat pääosin hyvin keskenään. Eri näytteenottomenetelmillä saadut tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Osalla tutkituista haitta-aineista havaintoaineiston vähyys aiheuttaa epävarmuutta menetelmien välisiin keskimääräisiin eroihin eri haitta-aineita tarkasteltaessa. Tulosten hajonta oli myös suurta, ja kaikilla tutkituilla haitta-aineilla jompikumpi menetelmä antoi sekä suurempia että pienempiä kuin toinen. Tehdyt johtopäätökset on tehty haitta-ainekohtaisten analyysitulosten välisten suhteiden keskiarvosta. Laboratorion mittaasepävarmuutta ei ole huomioitu arvioitaessa kummalla menetelmällä saadaan keskimäärin pienempiä tai suurempia tuloksia kuin toisella. Johtopäätökset ovat suuntaa antavia, koska analyysimenetelmän mittaasepävarmuuden ja analyysitulosten suhteiden suuren hajonnan perusteella voidaan olettaa myös päinvastaisten tulosten suhteiden kuuluvan havaintoaineiston normaaliin hajontaan. Metallien kokonaispitoisuustulosten havaintoaineiston suuri hajonta ei soveltunut lineaarisen suoran sovitukseseen. Kokonaispitoisuustulosten välillä todettiin kuitenkin riippuvuus, kun analyysitulokset suhteutettiin kiintoaineeseen kanssa.

Tutkimuksessa käytetyn havaintoaineiston perusteella voidaan todeta, että hidasvirtausnäytteenotolla voidaan saada niukkaliukoisilla, pääasiassa maa-ainespartikkeleihin sitoutuneilla, haitta-aineilla alhaisempia tuloksia kuin perinteisellä, sillä se ei kasvata näytteenottotilanteessa pohjaveden luonnollista virtaamaa, jolloin näytteessä ovat edustettuna vain normaalitilanteessa liikkuvat haitta-aineet. Tähän arvioon liittyy kuitenkin epävarmuutta, jonka syytä on esitelty aiemmissa luvuissa. Kaikki työssä otettujen näytteiden tulokset ovat nähtävissä liitteen 4 taulukossa.

LÄHTEET

PAINETUT LÄHTEET

Barrez, F., Mania, J., Mancy, J.-L. & Robaszynski, F. 2007. Investigation of a chalk aquifer: advantages and limits of diffusion samplers and low-flow sampling techniques. *Hydrological Sciences Journal* 52(4) August 2007, 732 - 747.

Britschgi, R., Antikainen, M., Ekholm-Peltonen, M., Hyvärinen, V., Nylander, E., Siiro, P. & Suomela, T. 2009. Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus. *Ympäristöopas* 2009. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Greenwood, R., Mills, G. A. & Vrana, B. 2009. Potential applications of passive sampling for monitoring non-polar industrial pollutants in the aqueous environment in support of REACH. *Journal of Chromatography A* 1216 (2009), 631 - 639.

Harte, P. T. 2002. Comparison of Temporal Trends in VOCs as Measured with PDB samplers and Low-Flow Sampling Methods. *Groundwater Monitoring and Remediation (GWMR)* Spring 2002, 45 - 47.

Juomavesidirektiivi 89/83/EY.

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041299>

McCall, W. 2005. Evaluation of a Small Mechanical and Pneumatic Bladder Pump for Water Quality Sampling. *Groundwater Monitoring and Remediation (GWMR)* 25, 2/Spring 2005, 142 - 153.

Mills, G. A., Greenwood, R., Vrana, B., Allan, I. J. & Ocelka, T. 2011. Measurement of environmental pollutants using passive sampling devices - a commentary on the current state of the art. *Journal of Environmental Monitoring* 13/2011, 2979 - 2982.

Pohjavesidirektiivi 2006/118/EY.

Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäminen. Suomen ympäristö 23/2007. Helsinki: Edita Prima Oy.

Rintala, J. & Suokko, T. 2009. Pohjavesinäytteenotto. Suomen ympäristö 48/2008. Helsinki: Edita Prima Oy.

Sevee, J. E., White C. A., & Maher, D. J. 2000. An Analysis of Low-Flow Groundwater Sampling Methodology. Groundwater Monitoring and Remediation (GWMR) Spring 2000, 87 - 93.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461>

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä 341/2010. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090341>

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista

868/2010. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100868>

Varljen, M. D., Barcelona, J., Obereiner, J. & Kaminski, D. 2006. Numerical Simulations to Assess the Monitoring Zone Achieved during Low-Flow Purging and Sampling. Groundwater Monitoring and Remediation (GWMR) 26, 1/Winter 2006, 44 - 52.

Vesihuoltolaki 119/2001. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010119>

Vesilaki 587/2011. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=vesilaki>

Vesipuidedirektiivi 2000/60/EY.

Ympäristönsuojeluasetus 169/2000. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000169>

Ympäristönsuojelulaki 86/2000. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>

ELEKTRONISET LÄHTEET:

California Environmental Protection Agency. 2008. Representative Sampling of Groundwater for Hazardous Substances. Guidance Manual for Groundwater Investigations [viitattu 9.9.2013]. Saatavissa:

http://www.dtsc.ca.gov/SiteCleanup/upload/SMP_Representative_Sampling_GroundWater.pdf

Douglas E & Paquette, P. G. 1999. Assessment of a Low Purge Volume Technique For the Collection of Groundwater Samples At Brookhaven National Laboratory [viitattu 9.9.2013]. Saatavissa:

http://www.bnl.gov/gpg/files/Misc_reports/lpvtcgs.pdf

Graham, B. S. & Goodin, T. C. 1995. Comparison of Purge-and-Bail to Low-Flow Sampling at NPL Site [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa:

<http://info.ngwa.org/gwol/pdf/960161928.PDF>

GWM-ENGINEERING. 2013a). Akkukäyttöiset pohjavesinäytteenottopumput. [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa: <http://www.gwm-engineering.fi/whale1.html>

GWM-ENGINEERING. 2013b). Low-Flow Sampling - Pohjavesien hidavirtausnäytteenotto [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa: <http://www.gwm-engineering.fi/LowFlow.html>

GWM-ENGINEERING. 2013c). Pohjavesien hidavirtauspumppaus / näytteenotto - Low Flow Sampling pohjaveden vedenlaadun määrittäminen näytettä häiritsemättä [viitattu: 12.8.2013]. Saatavissa: <http://www.gwm-engineering.fi/Pohjavesien%20hidavirtausnaytteenotto%20artikkeli.pdf>

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus tutkimusraportti 150 [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa:

http://arkisto.gtk.fi/tr/tr150/TR150s1_41.pdf

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2011. PAH-yhdisteet [viitattu 5.11.2013].

Saatavissa:

<http://www.hsy.fi/seututieto/ilmanlaatu/tietoa/terveys/pah/Sivut/default.aspx>

International Cyanide Management Code. 2013. Cyanide Chemistry [viitattu

12.8.2013]. Saatavissa: <http://www.cyanidecode.org/cyanide-facts/cyanide-chemistry>

Karvonen, A., Taina, T., Gustafsson, J., Mannio, J., Mehtonen, J., Nystén, T., Ruoppa, M., Sainio, P., Siimes, K., Silvo, K., Tuominen, S., Verta, M., Vuori, K.-M. & Äystö, L. 2012. Vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettujen säädösten soveltaminen. Ympäristöministeriön raportteja 15/2012. [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAA1E882C-EB78-4D7F-9DD0-486BB08179F6%7D/31651>

Kearl, P. M., Korte, N. E., Stites, M. & Baker, J. 1994. Field Comparison of Micropurging vs. Traditional Ground Water Sampling [viitattu 9.9.2013]. Saatavissa: <http://info.ngwa.org/gwol/pdf/942461327.PDF>

Orvomaa, M. 2008. Pohjavedenottamoiden suoja-alueet. Suomen ympäristö 40/2008 [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=92023&lan=fi>

Otte, P. F., Lijzen, J. P. A., Otte, J. G., Swartjes, F. A. & Versluijs, C. W. 2001. Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. RVIM report 711701021 [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa:

<http://rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701021.pdf>

Proactive Environmental Products. 2013a). Low Flow Controller with Power Booster 2 “LCD“ Controller [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa:

<http://www.gopronow.biz/controllers-a-boosters/controllers-a-boosters-stainless-pumps-proactive-environmental-products/low-flow-controller-with-power-booster-2-lcd-controllers-a-boosters-stainless-pumps-proactive-environmental-products.html>

Proactive Environmental Products. 2013b). Stainless Steel Monsoon DTW 12+ ft [viitattu: 12.8.2013]. Saatavissa: <http://www.gopronow.biz/stainless-steel->

pumps/stainless-steel-pumps-proactive-environmental-products/ss-monsoon-stainless-steel-pumps-proactive-environmental-products.html

Rintala, J., Hyvärinen, V., Illmer, K., Nylander, E., Pulkkinen, E., Rantala, P. & Siiro, P. 2007. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmat osana vesienhoidon järjestämisestä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2007 [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=64783&lan=FI>

Savoie, J. G. & LeBlanc, D. R. 2012. Comparison of No-Purge and Pumped Sampling Methods for Monitoring Concentrations of Ordnance-Related Compounds in Groundwater, Camp Edwards, Massachusetts Military Reservation, Cape Cod, Massachusetts, 2009-2010. Scientific Investigations Report 2012-5084 [viitattu 9.9.2013]. Saatavissa: http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5084/pdf/sir2012-5084_report_508_rev092012.pdf

Suomen ympäristökeskus. 2011. Pohjaveden muodostuminen [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=17915>

Suomen ympäristökeskus. 2012a). Pohjaveden laatu ja riskit [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=984&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus. 2012b). Pohjavesi. Suomen ympäristökeskus [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=414591&lan=FI>

Suomen ympäristökeskus. 2012c). Öljy pohjavedessä [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=993&lan=fi>.

U.S. Environmental Protection Agency. 1996. Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedures [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <http://www.epa.gov/superfund/remedytech/tsp/download/lwflw2a.pdf>

U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Low Stress (low flow) Purging and Sampling Procedure for Collection of Groundwater samples from Monitoring Wells. US. Environmental Protection Agency [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <http://www.epa.gov/region1/lab/qa/pdfs/EQASOP-GW001.pdf>

Ympäristöministeriö. 2013. Pilaantuneet alueet. Ympäristöministeriö [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Pilaantuneet_alueet

YSI Environmental. 2013. YSI 556 MPS Multi Probe System Operations Manual [viitattu 12.8.2013]. Saatavissa: <http://www.ysi.com/media/pdfs/655279-YSI-556-Operations-Manual-RevD.pdf>

LIITTEET

- LIITE 1. Valtioneuvoston asetuksen 342/2009 liitteen 1E mukainen luettelo pohjavedelle tai ihmisen terveydelle vaarallisista aineista
- LIITE 2. Yhdysvaltojen ympäristöviranomaisen 2010 mukainen hidasvirtausnäytteenoton menetelmäohjeen tiivistelmä
- LIITE 3. Yhdysvaltojen ympäristöviranomaisen 2010 menetelmäohjeen mukainen hidasvirtausnäytteenotossa käytettävä havaintolomake
- LIITE 4. Taulukko työnaikaisten näytteiden tuloksista
- LIITE 5. Ohjeistus hidasvirtausnäytteenoton käytöstä toimek-siantajalle
- LIITE 6. Perinteisen näytteenottomenetelmän analyysitulokset hidasvirtausnäytteenoton funktiona

LIITE 1. VALTIONEUVOSTON ASETUKSEN 342/2009 LIITTEEN 1E
MUKAINEN LUETTELO POHJAVEDELLE TAI IHMISEN TERVEYDELLE
VAARALLISISTA AINEISTA

Pohjavedelle vaaralliset aineet ja aineryhmiin kuuluvat vaaralliset aineet, joita ei saa päästää pohjaveteen

1. Organohalogeniyhdisteet ja aineet, jotka vesiympäristössä voivat muodostaa sellaisia yhdisteitä;

2. orgaanofosforiyhdisteet;

3. orgaaniset tinayhdisteet;

4. aineet ja valmisteet tai niiden hajoamistuotteet, joilla osoitetaan olevan karsinogeenisia tai mutageenisia ominaisuuksia tai ominaisuuksia, jotka voivat vaikuttaa steroidien tuotantoon, kilpirauhaseen, lisääntymiseen tai muihin sisäeritykseen liittyviin toimintoihin vesiympäristössä tai sen välityksellä;

5. hiilivedyt sekä pysyvät, kertyvät ja myrkylliset orgaaniset aineet;

6. syanidit;

7. metallit ja niiden yhdisteet;

8. arseeni ja sen yhdisteet;

9. biosidit ja kasvinsuojeluaineet;

10. suspendoituneet aineet;

11. rehevöitymistä aiheuttavat aineet (erityisesti nitraatit ja fosfaatit);

12. happitasapainoon epäedullisesti vaikuttavat aineet (jotka ovat mitattavissa muuttujilla kuten BHK ja KHK);

13. piyyhdisteet;

14. fluoridit;

15. aineet, joilla on haitallinen vaikutus pohjaveden makuun tai hajuun, ja yhdisteet, jotka mahdollisesti vedessä muodostavat tällaisia aineita ja tekevät vedestä ihmisen käyttöön soveltumattomaa.

APPENDIX B

SUMMARY OF SAMPLING INSTRUCTIONS

These instructions are for using an adjustable rate, submersible pump or a peristaltic pump with the pump's intake placed at the midpoint of a 10 foot or less well screen or an open interval. The water level in the monitoring well is above the top of the well screen or open interval, the ambient temperature is above 32°F, and the equipment is not dedicated. Field instruments are already calibrated. The equipment is setup according to the diagram at the end of these instructions.

1. Review well installation information. Record well depth, length of screen or open interval, and depth to top of the well screen. Determine the pump's intake depth (e.g., mid-point of screen/open interval).
2. On the day of sampling, check security of the well casing, perform any safety checks needed for the site, lay out a sheet of polyethylene around the well (if necessary), and setup the equipment. If necessary a canopy or an equivalent item can be setup to shade the pump's tubing and flow-through-cell from the sun light to prevent the sun light from heating the groundwater.
3. Check well casing for a reference mark. If missing, make a reference mark. Measure the water level (initial) to 0.01 ft. and record this information.
4. Install the pump's intake to the appropriate depth (e.g., midpoint) of the well screen or open interval. Do not turn-on the pump at this time.
5. Measure water level and record this information.
6. Turn-on the pump and discharge the groundwater into a graduated waste bucket. Slowly increase the flow rate until the water level starts to drop. Reduce the flow rate slightly so the water level stabilizes. Record the pump's settings. Calculate the flow rate using a graduated container and a stop watch. Record the flow rate. Do not let the water level drop below the top of the well screen.

If the groundwater is highly turbid or colored, continue to discharge the water into the bucket until the water clears (visual observation); this usually takes a few minutes. The turbid or colored water is usually from the well being disturbed during the pump installation. If the water does not clear, then you need to make a choice whether to continue purging the well (hoping that it will clear after a reasonable time) or continue to

the next step. Note, it is sometimes helpful to install the pump the day before the sampling event so that the disturbed materials in the well can settle out.

If the water level drops to the top of the well screen during the purging of the well, stop purging the well, and do the following:

Wait for the well to recharge to a sufficient volume so samples can be collected. This may take awhile (pump maybe removed from well, if turbidity is not a problem). The project manager will need to make the decision when samples should be collected and the reasons recorded in the site's log book. A water level measurement needs to be performed and recorded before samples are collected. When samples are being collected, the water level must not drop below the top of the screen or open interval. Collect the samples from the pump's tubing. Always collect the VOCs and dissolved gases samples first. Normally, the samples requiring a small volume are collected before the large volume samples are collected just in case there is not sufficient water in the well to fill all the sample containers. All samples must be collected, preserved, and stored according to the analytical method. Remove the pump from the well and decontaminate the sampling equipment.

If the water level has dropped 0.3 feet or less from the initial water level (water level measure before the pump was installed); proceed to Step 7. If the water level has dropped more than 0.3 feet, calculate the volume of water between the initial water level and the stabilized water level. Add the volume of the water which occupies the pump's tubing to this calculation. This combined volume of water needs to be purged from the well after the water level has stabilized before samples are be collected.

7. Attach the pump's tubing to the "T" connector with a valve (or a three-way stop cock). The pump's tubing from the well casing to the "T" connector must be as short as possible to prevent the groundwater in the tubing from heating up from the sun light or from the ambient air. Attach a short piece of tubing to the other end of the end of the "T" connector to serve as a sampling port for the turbidity samples. Attach the remaining end of the "T" connector to a short piece of tubing and connect the tubing to the flow-through-cell bottom port. To the top port, attach a small piece of tubing to direct the water into a calibrated waste bucket. Fill the cell with the groundwater and remove all gas bubbles from the cell. Position the flow-through-cell in such a way that if gas bubbles enter the cell they can easily exit the cell. If the ports are on the same side of the cell and the cell is cylindrical shape, the cell can be placed at a 45-degree angle with the ports facing upwards; this position should keep any gas bubbles entering the cell away from the monitoring probes and allow the gas bubbles to exit the cell easily (see Low-Flow Setup Diagram). Note,

make sure there are no gas bubbles caught in the probes' protective guard; you may need to shake the cell to remove these bubbles.

8. Turn-on the monitoring probes and turbidity meter.

9. Record the temperature, pH, dissolved oxygen, specific conductance, and oxidation/reduction potential measurements. Open the valve on the "T" connector to collect a sample for the turbidity measurement, close the valve, do the measurement, and record this measurement. Calculate the pump's flow rate from the water exiting the flow-through-cell using a graduated container and a stop watch, and record the measurement. Measure and record the water level. Check flow-through-cell for gas bubbles and sediment; if present, remove them.

10. Repeat Step 9 every 5 minutes or as appropriate until monitoring parameters stabilized. Note at least one flow-through-cell volume must be exchanged between readings. If not, the time interval between readings will need to be increased. Stabilization is achieved when three consecutive measurements are within the following limits:

Turbidity (10% for values greater than 5 NTUs; if three Turbidity values are less than 5 NTUs, consider the values as stabilized),

Dissolved Oxygen (10% for values greater than 0.5 mg/L, if three Dissolved Oxygen values are less than 0.5 mg/L, consider the values as stabilized),

Specific Conductance (3%),

Temperature (3%),

pH (± 0.1 unit),

Oxidation/Reduction Potential (± 10 millivolts).

If these stabilization requirements do not stabilize in a reasonable time, the probes may have been coated from the materials in the groundwater, from a buildup of sediment in the flow-through-cell, or a gas bubble is lodged in the probe. The cell and the probes will need to be cleaned. Turn-off the probes (not the pump), disconnect the cell from the "T" connector and continue to purge the well. Disassemble the cell, remove the sediment, and clean the probes according to the manufacturer's instructions. Reassemble the cell and connect the cell to the "T" connector. Remove all gas bubbles from the cell, turn-on the probes, and continue the measurements. Record that the time the cell was cleaned.

11. When it is time to collect the groundwater samples, turn-off the monitoring probes, and disconnect the pump's tubing from the "T" connector. If you are using a centrifugal or peristaltic pump check the pump's tubing to determine if the tubing is completely filled with water (no air space).

All samples must be collected and preserved according to the analytical method. VOCs and dissolved gases samples are normally collected first and directly into pre-preserved sample containers. However, this may not be the case for all sampling locations; the SAP/QAPP should list the order in which the samples are to be collected based on the project's objective(s). Fill all sample containers by allowing the pump discharge to flow gently down the inside of the container with minimal turbulence.

If the pump's tubing is not completely filled with water and the samples are being collected for VOCs and/or dissolved gases analyses using a centrifugal or peristaltic pump, do the following:

All samples must be collected and preserved according to the analytical method. The VOCs and the dissolved gases (e.g., methane, ethane, ethene, and carbon dioxide) samples are collected last. When it becomes time to collect these samples increase the pump's flow rate until the tubing is completely filled. Collect the samples and record the new flow rate.

12. Store the samples according to the analytical method.

13. Record the total purged volume (graduated waste bucket). Remove the pump from the well and decontaminate the sampling equipment.

LIITE 4/1. TAULUKKO TYÖNAIKAISTEN NÄYTTEIDEN TULOKSISTA

Kaikki tutkimustulokset				
	Pohjan- syvyys	Näytteen- otto-syvyys	Vesipinta ennen pumppausta	Vesipinta pumppauksen jälkeen
STMa 461/2000 laatuvaatimus				
STMa 461/2000 laatusuositus				
Pohjavedet VNa 341/2009				
Havaintopiste	(m)	(m)	(m)	(m)
hidasvirtaus 1 kevät	-	-	3,38	-
perinteinen 1 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 2 kevät	-	-	2,4	-
perinteinen 2 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 2 syksy	5,9	2,9	2,49	-
perinteinen 2 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 3 kevät	-	-	2,28	-
perinteinen 3 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 3 syksy	5,9	2,8	2,39	2,39
perinteinen 3 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 4 kevät	-	-	1,27	-
perinteinen 4 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 4 syksy	2,7	1,7	1,37	1,45
perinteinen 4 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 5 kevät	-	-	2,4	-
perinteinen 5 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 5 syksy	16,0	3,3	2,68	2,68
perinteinen 5 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 6 kevät	-	-	2,53	-
perinteinen 6 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 6 syksy	-	3,0	2,46	2,45
perinteinen 6 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	5,0	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	5,6	4,5	2,07	2,09
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	4,22	2,7	2,11	2,28
perinteinen 9 kevät	3,95	2,9	2,23	2,62
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	18,9	9,0	7,4	8,9
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	26,31	12,0	10,9	11,03
hidasvirtaus 11 syksy	26,45	14	11,13	11,3
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	10,0	8,76	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-

Määrittäjärajan ylittävät analyysitulokset ovat korostettu harmaalla taustalla

LIITE 4/2.

Kaikki tutkimustulokset								
	Kiintoaine	Sameus	Sähkönjohtavuus	Ammonium-tyyppi	Hiilidioksidi	Magnesium	Sulfaatti	pH
STMa 461/2000 laatuvaatimus								
STMa 461/2000 laatusuositus			250	0,4			250	6,5 - 9,5
Pohjavedet VNa 341/2009				0,2			150	
Havaintopiste	(^{mg/l})	NTU	^{ms/m}	(^{mg/l})	(^{mg/l})	(^{mg/l})	(^{mg/l})	
hidasvirtaus 1 kevät	71	288	-	5,5	>158	34	350	
perinteinen 1 kevät	400	476	195	5,9	>158	34	360	6,7
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	120	387	1 940	7	>158	33	160	6,8
hidasvirtaus 2 kevät	62	14,4	221	55	<0,4	4,1	130	9,5
perinteinen 2 kevät	<2	0,8	-	63	<0,4	3,4	130	9,6
hidasvirtaus 2 syksy	10	2,5	2 180	62	<0,4	2,4	130	9,8
perinteinen 2 syksy	2,3	0,86	2 240	63	<0,4	2,4	130	9,8
hidasvirtaus 3 kevät	14	13	79	7,2	12	22	2,1	8,0
perinteinen 3 kevät	13,0	12	83	7,7	2,9	22	1,6	8,2
hidasvirtaus 3 syksy	24	38,6	870	9,5	8,9	22	1,6	8,2
perinteinen 3 syksy	8,8	9,9	910	10	>158	25	0,9	8,4
hidasvirtaus 4 kevät	1 100	530	111	5,1	45	19	11	7,4
perinteinen 4 kevät	6 000	3 500	107	5,8	35	19	13	7,3
hidasvirtaus 4 syksy	810	670	1 400	5,5	84	21	4,4	7,3
perinteinen 4 syksy	3 900	4 749	1 530	6,7	90	23	3,0	7,2
hidasvirtaus 5 kevät	23,0	13,7	93	4,5	>158	7,9	1,5	6,2
perinteinen 5 kevät	300	271	99	4,4	>158	8,0	1,5	6,3
hidasvirtaus 5 syksy	4,4	15,2	1 830	6,3	>158	11	2,7	6,0
perinteinen 5 syksy	210	140	1 720	5,9	>158	12	2,4	6,0
hidasvirtaus 6 kevät	61	77	107	0,9	28	13	30	7,5
perinteinen 6 kevät	20	17	125	1,6	20	13	7,9	7,7
hidasvirtaus 6 syksy	830	370	2 060	2,4	82	28	3,1	7,1
perinteinen 6 syksy	1 900	282	2 290	2,7	67	32	3,6	7,3
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-

Määrittäjärajan ylittävät analyysitulokset ovat korostettu harmaalla taustalla

Kaikki tutkimustulokset	Metallit ja puolimetallit (liukoiset pitoisuudet ja kokonaispitoisuudet)							
	As (liuk.)	As (kok.)	Cd (liuk.)	Cd (kok.)	Co (liuk.)	Co (kok.)	Cr (liuk.)	Cr (kok.)
STMa 461/2000 laatuvaatimus	10	1 000	5,0				50	
STMa 461/2000 laatusuositus								
Pohjavedet VNa 341/2009	5,0		0,4		2,0		10	
Havaintopiste	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})		(^{µg/l})		(^{µg/l})	
hidasvirtaus 1 kevät	2,3	3,9	<0,10	<0,10	1,7	1,8	0,7	1,3
perinteinen 1 kevät	1,5	9,6	<0,10	0,5	2,4	6,0	0,4	19
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 2 kevät	9,4	10	<0,10	<0,1	0,4	0,8	<0,10	1,4
perinteinen 2 kevät	8,3	7,3	<0,10	<0,10	0,4	0,5	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 2 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 2 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 3 kevät	1,6	3,3	<0,10	<0,10	0,4	0,4	<0,10	0,2
perinteinen 3 kevät	1,7	3,8	<0,10	<0,10	0,3	0,3	0,1	0,2
hidasvirtaus 3 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 3 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
hidasvirtaus 4 kevät	1,7	15	<0,10	0,7	0,8	6,7	0,1	20
perinteinen 4 kevät	2,0	28	<0,10	2,1	0,8	18	0,1	49
hidasvirtaus 4 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
perinteinen 4 syksy	<1	37	<0,10	<0,10	<0,10	17	<0,10	48
hidasvirtaus 5 kevät	0,4	0,5	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,7	1,7
perinteinen 5 kevät	0,6	1,8	<0,10	<0,10	0,2	1,9	0,8	12
hidasvirtaus 5 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	0,6	<0,10	1,4
perinteinen 5 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,9
hidasvirtaus 6 kevät	2,9	7,8	<0,10	<0,10	0,3	0,8	0,3	2,6
perinteinen 6 kevät	1,8	2,0	<0,10	<0,10	0,1	0,2	0,3	1,3
hidasvirtaus 6 syksy	<1	12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	13
perinteinen 6 syksy	<1	15	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	12
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-

Kaikki tutkimustulokset	Metallit ja puolimetallit (liukoiset pitoisuudet ja kokonaispitoisuudet)							
	Cu (liuk.)	Cu (kok.)	Hg (liuk.)	Hg (kok.)	Ni (liuk.)	Ni (kok.)	Pb (liuk.)	Pb (kok.)
STMa 461/2000 laatuvaatimus	2 000		1,0		20		10	
STMa 461/2000 laatusuositus				50				
Pohjavedet VNa 341/2009	20		0,1		10		5,0	
Havaintopiste	(^{µg/l})		(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})		(^{µg/l})	
hidasvirtaus 1 kevät	<0,50	2,4	<0,10	<0,10	6,6	6,9	<0,10	1,3
perinteinen 1 kevät	4,0	53	<0,10	<0,10	4,5	14	<0,10	62
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<1	<1	<1	<1	12	15	<1	15
hidasvirtaus 2 kevät	<0,5	3,1	2,2	2,1	3,7	4,9	<0,1	3,1
perinteinen 2 kevät	<0,50	<0,50	2,1	2,0	<0,20	3,7	<0,10	0,7
hidasvirtaus 2 syksy	<1	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	<1
perinteinen 2 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<1	<1	<1
hidasvirtaus 3 kevät	0,5	1,4	0,3	0,3	2,0	2,2	<0,10	0,9
perinteinen 3 kevät	<0,50	1,8	0,3	0,3	1,7	1,9	0,1	2,5
hidasvirtaus 3 syksy	<1	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	<1
perinteinen 3 syksy	<1	<1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<1	<1
hidasvirtaus 4 kevät	0,7	600	<0,10	<0,10	3,0	21	0,2	130
perinteinen 4 kevät	0,7	1 300	<0,10	<0,10	3,6	49	0,3	360
hidasvirtaus 4 syksy	<1	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	<1
perinteinen 4 syksy	<1	2 200	<0,10	<0,10	<0,10	54	<1	540
hidasvirtaus 5 kevät	<0,5	1,0	<0,10	<0,1	0,6	1,0	0,1	0,4
perinteinen 5 kevät	<0,50	7,8	<0,10	<0,10	0,5	4,9	0,2	2,4
hidasvirtaus 5 syksy	<1	41	<1	<1	<0,1	1,6	<1	8,6
perinteinen 5 syksy	<1	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	<1
hidasvirtaus 6 kevät	0,5	12	<0,10	<0,10	1,0	2,5	0,2	20
perinteinen 6 kevät	<0,50	2,4	0,1	0,1	<0,2	0,9	0,1	2,1
hidasvirtaus 6 syksy	<1	74	<1	<1	<0,1	11	<1	93
perinteinen 6 syksy	<1	79	<1	<1	<0,1	11	<1	89
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-

Kaikki tutkimustulokset	Metallit ja puolimetallit (liukoiset pitoisuudet ja kokonaispitoisuudet)						
	Sb (liuk.)	Sb (kok.)	V (liuk.)	V (kok.)	Zn (liuk.)	Zn (kok.)	Syanidi kok.
STMa 461/2000 laatuvaatimus	5,0	10					0,1
STMa 461/2000 laatusuositus							
Pohjavedet VNa 341/2009	2,5				60		
Havaintopiste	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})		(^{µg/l})		(^{mg/l})
hidasvirtaus 1 kevät	0,2	0,2	0,8	3,8	47	83	<0,01
perinteinen 1 kevät	0,2	1,6	0,8	19	24	590	<0,01
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<1	<1	<0,1	<0,1	22	180	<0,01
hidasvirtaus 2 kevät	0,9	1,1	13	18	<1,4	13	<0,01
perinteinen 2 kevät	0,6	0,7	11	11	<1,4	7,3	<0,01
hidasvirtaus 2 syksy	<1	<1	<0,1	12	<1	<1	<0,01
perinteinen 2 syksy	<1	<1	11	<0,1	<1	<1	<0,01
hidasvirtaus 3 kevät	0,2	0,2	0,1	0,4	120	630	0,01
perinteinen 3 kevät	0,2	0,3	0,2	0,5	40	520	<0,01
hidasvirtaus 3 syksy	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	190	<0,01
perinteinen 3 syksy	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	5,0	<0,01
hidasvirtaus 4 kevät	0,3	0,8	0,3	23	2,5	290	0,04
perinteinen 4 kevät	0,6	1,0	0,6	58	2,5	790	0,04
hidasvirtaus 4 syksy	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	<1	0,04
perinteinen 4 syksy	<1	<1	<0,1	55	<1	1 100	0,06
hidasvirtaus 5 kevät	<0,1	<0,10	0,6	1,3	<1,4	5,4	<0,01
perinteinen 5 kevät	<0,10	<0,10	0,5	7,3	<1,4	19	<0,01
hidasvirtaus 5 syksy	<1	<1	<0,1	1,6	<1	21	<0,01
perinteinen 5 syksy	<1	<1	<0,1	<0,1	<1	12	<0,01
hidasvirtaus 6 kevät	0,6	0,8	2,2	6,2	5,9	43	0,02
perinteinen 6 kevät	0,1	0,2	4,5	5,1	<1,4	2,0	0,04
hidasvirtaus 6 syksy	<1	<1	<0,1	19	<1	180	0,03
perinteinen 6 syksy	<1	<1	<0,1	19	<1	170	0,03
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-

Kaikki tutkimustulokset	Aromaattiset yhdisteet							
	Bentseeni	Tolueneeni	Etyyli- bentseeni	Ksyleenit	Styreeni	n-Propyyli- bentseeni	Isopropyli- bentseeni	1,2,4-Tri- metyyli- bentseeni
STMa 461/2000 laatuvaatimus	1,0							
STMa 461/2000 laatusuositus								
Pohjavedet VNa 341/2009	0,5	12	1,0	10				
Havaintopiste	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})
hidasvirtaus 1 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 1 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 2 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 2 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 2 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 2 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 3 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 3 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 3 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 3 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 4 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 4 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 4 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 4 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 5 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 5 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 5 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 5 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 6 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 6 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 6 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
perinteinen 6 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
hidasvirtaus 7 kevät	670	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	470	<1	<1	<1	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	<1	<1	<1	<1	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	<1	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	35	14	5,0	7,0	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	<1	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	5,0	<1	3,0	2,0	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	4,0	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	6,0	<1	<1	<1	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	4,0	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	6,0	<1	<1	<1	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	1 900	100	49	51	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	1 800	74	46	37	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	1 700	71	35	28	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	1 600	58	35	25	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	12	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	13	<1	<1	<1	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	15	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	14	<1	<1	<1	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	630	260	78	170	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	1 100	530	120	370	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	84	51	25	8,0	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	240	2,0	2,0	<1	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	120	1,0	1,0	<1	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	170	<1	<1	<1	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	110	<1	<1	<1	-	-	-	-

Määrittärajain ylittävät analyysitulokset ovat korostettu harmaalla taustalla

Kaikki tutkimustulokset	Aromaattiset yhdisteet			Polyaromaattiset hiilivedyt			
	1,3,5-Tri-metyyli-bentseeni	sec-Butyyli-bentseeni	tert-Butyyli-bentseeni	Antraseeni	Asenafteeni	Asenaftyleeni	Bentso (a) antraseeni
STMa 461/2000 laatuvaatimus							
STMa 461/2000 laatusuositus							
Pohjavedet VNa 341/2009				60			
Havaintopiste	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})
hidasvirtaus 1 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 1 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 syksy	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 syksy	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 syksy	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 syksy	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 4 kevät	<1	<1	<1	1,1	0,7	0,9	4,0
perinteinen 4 kevät	<1	<1	<1	4,0	2,0	2,4	14
hidasvirtaus 4 syksy	<1	<1	<1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1
perinteinen 4 syksy	<1	<1	<1	<0,1	0,3	0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 kevät	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 syksy	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 syksy	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 kevät	<1	<1	<1	0,1	0,4	0,2	<0,1
perinteinen 6 kevät	<1	<1	<1	<0,1	0,6	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 syksy	<1	<1	<1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1
perinteinen 6 syksy	<1	<1	<1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-

Kaikki tutkimustulokset	Polyaromaattiset hiilivedyt							
	Bentso (a) pyreeni	Bentso (k) fluoranteeni	Bentso (b) fluoranteeni	Bentso (g,h,i) peryleeni	Indeno (1,2,3 c,d) pyreeni	Dibentso (a,h) antraseeni	Fenantreeni	Fluoranteeni
STMa 461/2000 laatuvaatimus	0,01			----- 0,1 -----				
STMa 461/2000 laatusuositus								
Pohjavedet VNa 341/2009	0,01			----- 0,05 -----				
Havaintopiste	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})
hidasvirtaus 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 4 kevät	4,4	2,4	5,9	2,6	3,8	0,7	2,9	7,1
perinteinen 4 kevät	16	8,6	20	10	14	2,5	11	24
hidasvirtaus 4 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,2
perinteinen 4 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,3
hidasvirtaus 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
perinteinen 5 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
perinteinen 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hidasvirtaus 6 kevät	0,1	<0,1	0,2	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,2
perinteinen 6 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
hidasvirtaus 6 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
perinteinen 6 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,2
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-

Määrittärajain ylittävät analyysitulokset ovat korostettu harmaalla taustalla

Kaikki tutkimustulokset	Polyaromaattiset hiilivedyt				
	Fluoreeni	Kryseeni	Naftaleeni	Pyreeni	PAH 16 EPA summa
STMa 461/2000 laatuvaatimus					
STMa 461/2000 laatusuositus					
Pohjavedet VNa 341/2009			1,3		
Havaintopiste	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
hidasvirtaus 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
perinteinen 1 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
perinteinen 2 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
perinteinen 2 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
perinteinen 3 kevät	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
perinteinen 3 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 4 kevät	0,6	4,5	0,6	6,0	48
perinteinen 4 kevät	2,0	16	1,7	21	170
hidasvirtaus 4 syksy	0,2	<0,1	0,5	<0,1	1,7
perinteinen 4 syksy	0,2	<0,1	0,4	0,3	1,8
hidasvirtaus 5 kevät	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,5
perinteinen 5 kevät	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 5 syksy	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
perinteinen 5 syksy	<0,1	1,1	<0,1	<0,1	<0,5
hidasvirtaus 6 kevät	0,6	0,1	<0,1	0,2	2,3
perinteinen 6 kevät	0,9	<0,1	<0,1	<0,1	2,0
hidasvirtaus 6 syksy	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	1,1
perinteinen 6 syksy	0,5	<0,1	<0,1	0,1	1,9
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-

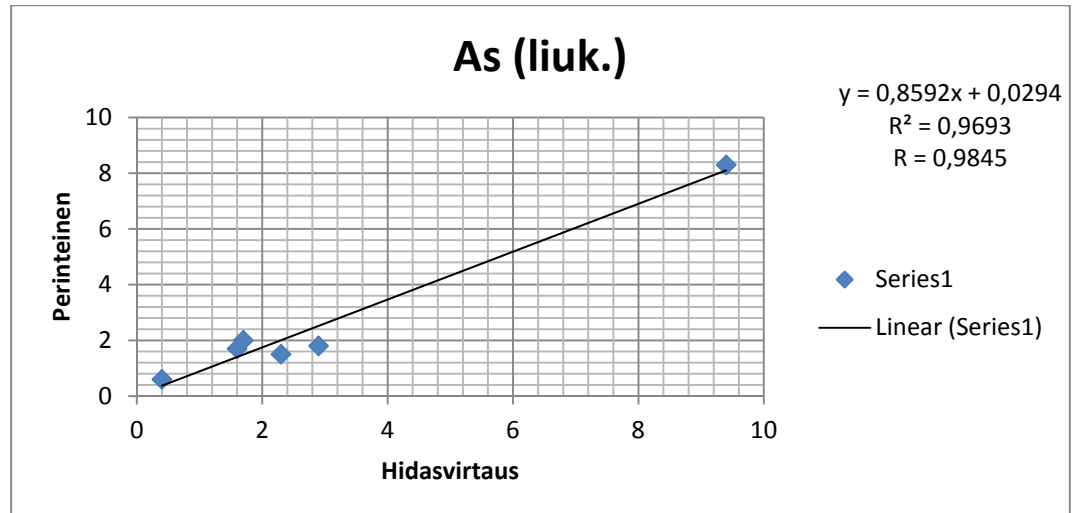
Kaikki tutkimustulokset	Klooratut alifaattiset yhdisteet								
	1,2-Dikloori- bentseeni	1,2,4-Trikloori- bentseeni	1,2,3-Trikloori- bentseeni	Dikloorimetaa- ni	Kloroformi	1,2- Dikloorietaani	1,1,1- Triklloorietaani	Dikloorietaanit	Triklloorietaanit
STMa 461/2000 laatuvaatimus					100	3,0			---- 10 ----
STMa 461/2000 laatusuositus									
Pohjavedet VNa 341/2009	0,3	----- 2,5 -----		10	100	1,5		25	---- 5 ----
Havaintopiste	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})
hidasvirtaus 1 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 1 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 2 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 2 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 2 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 2 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 3 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 3 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 3 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 3 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 4 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 4 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 4 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 4 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 5 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 5 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 5 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 5 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 6 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 6 kevät	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 6 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
perinteinen 6 syksy	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1
hidasvirtaus 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 8 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 9 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 10 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 11 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 kevät	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hidasvirtaus 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 13 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kaikki tutkimustulokset	Öljyhilivetyjakeet ja oksygenaatit								
	MTBE	TAME	C5-C10 benssiini	C10-C21 keskitisleet	C21-C40 raskaat	C10-C40 summa	DIPE	ETBE	TBA
STMa 461/2000 laatuvaatimus									
STMa 461/2000 laatusuositus									
Pohjavädet VNa 341/2009	7,5	60				0,1			
Havaintopiste	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{mg/l})	(^{mg/l})	(^{mg/l})	(^{mg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})	(^{µg/l})
hidasvirtaus 1 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 1 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 1 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 1 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 2 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 2 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 2 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 2 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 3 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 3 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 3 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 3 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 4 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	0,06	0,09	-	-	-
perinteinen 4 kevät	<1	<1	<0,05	0,06	0,06	0,16	-	-	-
hidasvirtaus 4 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 4 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 5 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 5 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 5 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 5 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 6 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	-	-	-
perinteinen 6 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 6 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
perinteinen 6 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
hidasvirtaus 7 kevät	8 200	490	13	<0,05	<0,05	<0,05	<1	39	4 100
perinteinen 7 kevät	8 700	470	14	<0,05	<0,05	<0,05	<1	37	4 100
hidasvirtaus 7 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 7 syksy	<1	<1	<0,05	0,06	0,13	0,19	<1	<1	<10
hidasvirtaus 8 kevät	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
perinteinen 8 kevät	<1	<1	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
hidasvirtaus 8 syksy	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
perinteinen 8 syksy	<1	<1	0,05	<0,05	<0,05	0,05	<1	<1	<10
hidasvirtaus 9 kevät	60	180	0,26	-	-	-	<1	<1	20
perinteinen 9 kevät	69	210	0,31	-	-	-	<1	<1	20
hidasvirtaus 9 syksy	61	180	0,26	-	-	-	<1	<1	20
perinteinen 9 syksy	71	230	0,32	-	-	-	<1	<1	20
hidasvirtaus 10 kevät	1 900	9,0	4,8	0,07	<0,05	0,07	<1	<1	11,0
perinteinen 10 kevät	700	8,0	3,9	0,19	<0,05	0,19	<1	<1	9,0
hidasvirtaus 10 syksy	1 900	9,0	4,1	0,07	<0,05	4,1	<1	<1	11,0
perinteinen 10 syksy	1 700	9,0	3,5	0,08	<0,05	3,6	<1	<1	11,0
hidasvirtaus 11 kevät	5,0	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
perinteinen 11 kevät	4,0	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
hidasvirtaus 11 syksy	6,0	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
perinteinen 11 syksy	6,0	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
hidasvirtaus 12 kevät	1 500	5,0	2,8	0,09	<0,05	0,09	<1	<1	7,0
perinteinen 12 kevät	2 500	7,0	4,8	0,16	<0,05	0,16	<1	<1	13,0
hidasvirtaus 12 syksy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
perinteinen 12 syksy	200	<1	0,37	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
hidasvirtaus 13 kevät	110	<1	0,36	<0,05	0,06	0,06	<1	<1	<10
perinteinen 13 kevät	64	<1	0,20	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
hidasvirtaus 13 syksy	82	<1	0,26	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10
perinteinen 13 syksy	63	<1	0,18	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<10

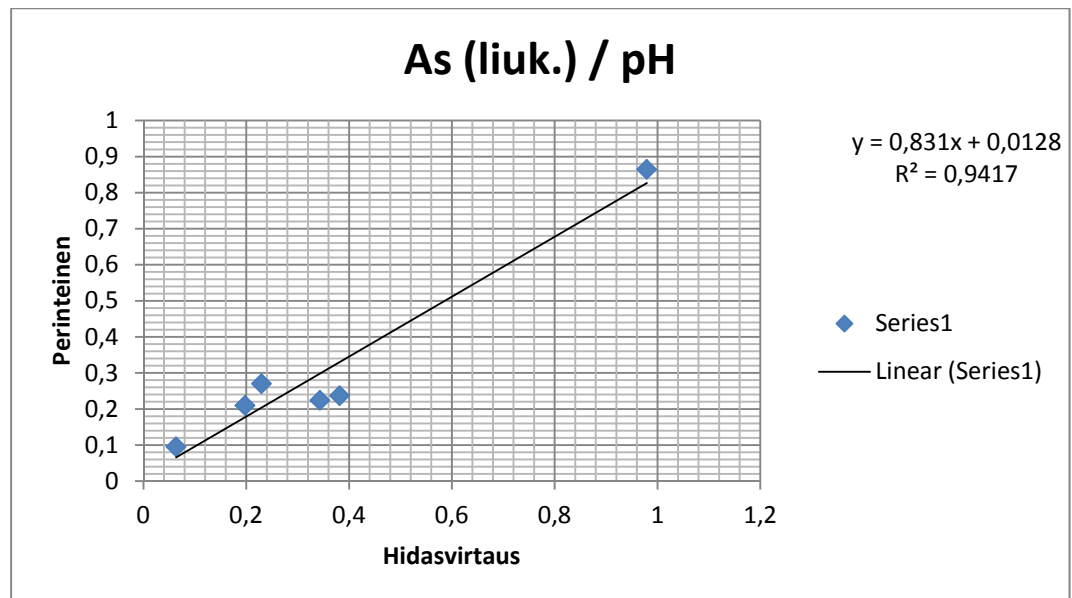
Määrittäjärajan ylittävät analyysitulokset ovat korostettu harmaalla taustalla

LIITE 6/1. PERINTEISEN NÄYTTEENOTTOMENETELMÄN
ANALYYSITULOKSET HIDASVIRTAUSNÄYTTEENOTON FUNKTIONA

1.1 Arseni

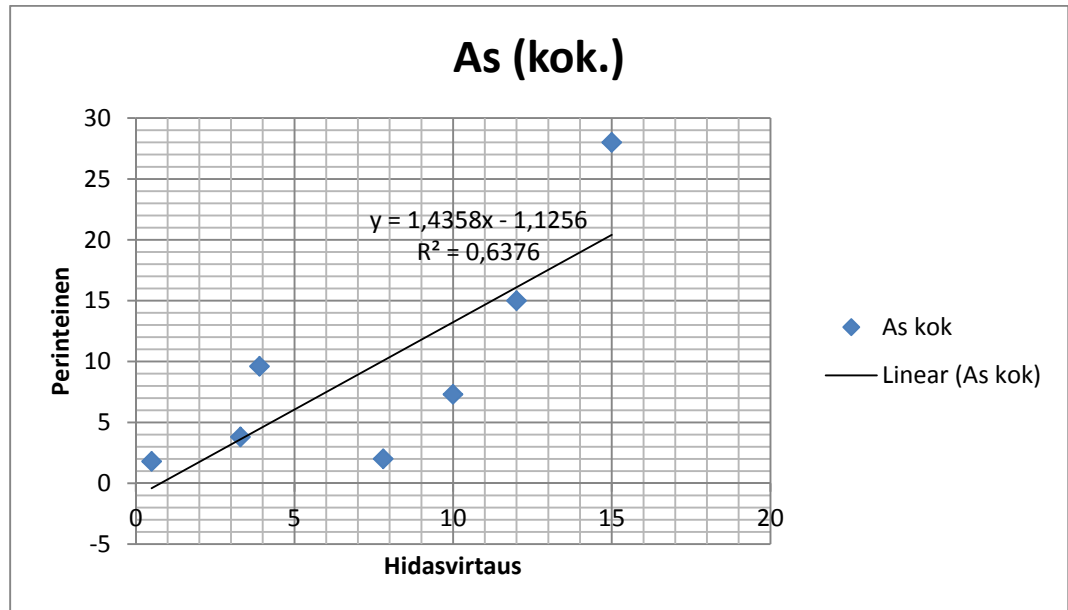


KUVIO 1. Perinteisen näytteenottomenetelmän liukoisen arseenin tulokset
hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

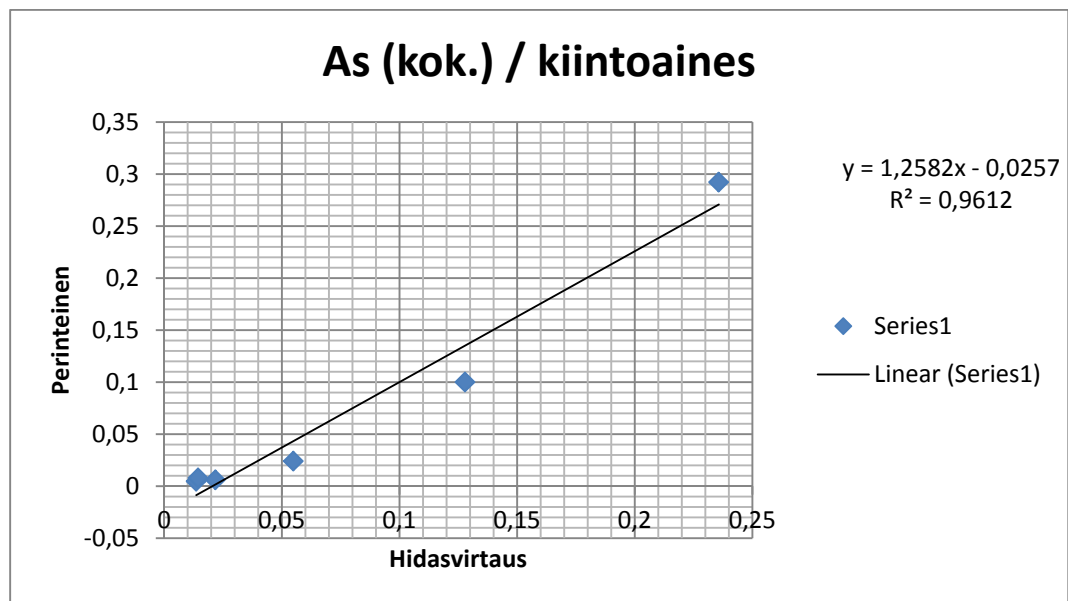


KUVIO 2. Liukoisen arseenin ja pH:n suhde

LIITE 6/2.



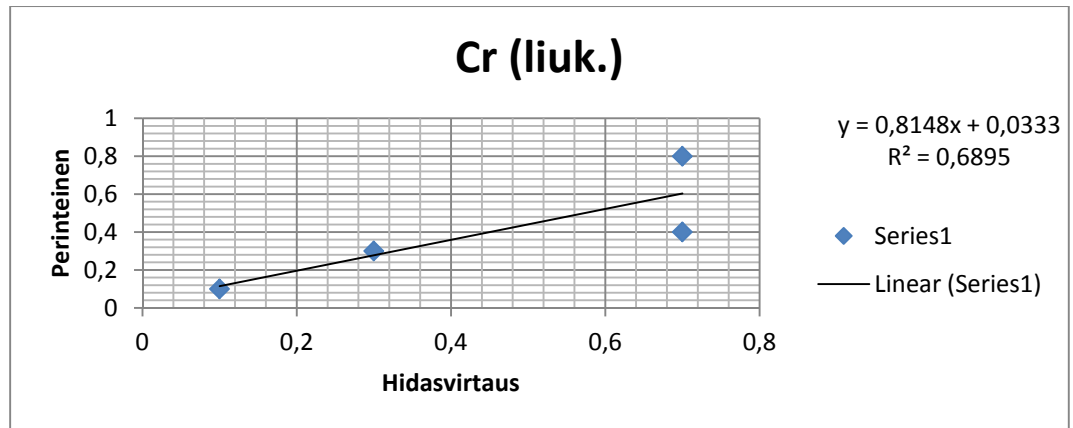
KUVIO 3. Perinteisen näytteenottomenetelmän kokonaisaseenin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona



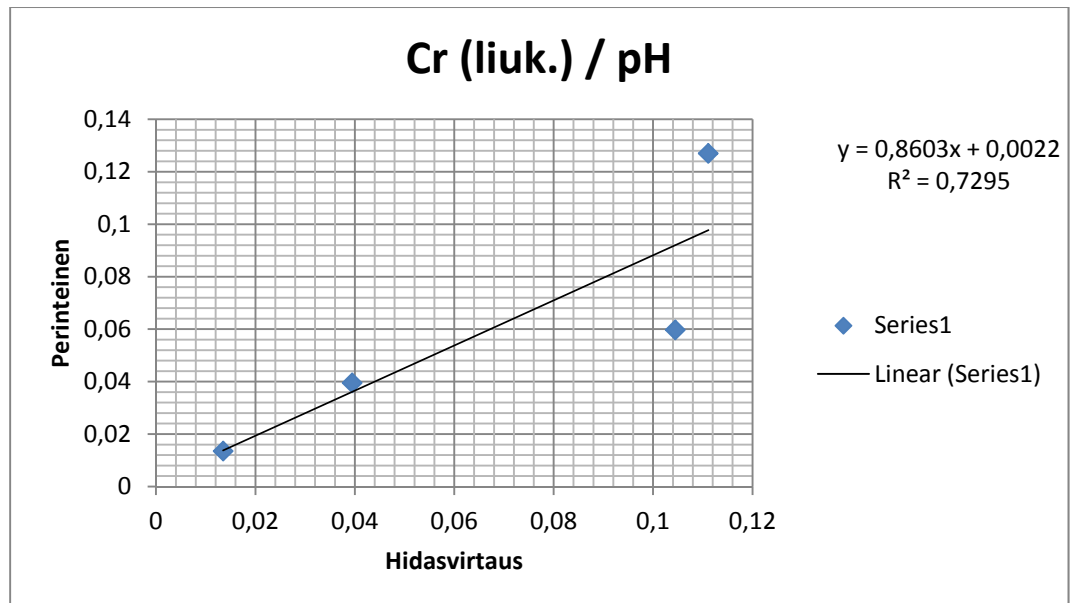
KUVIO 4. Kokonaisarseenin ja kiintoaineksen suhde

LIITE 6/3.

1.2 Kromi

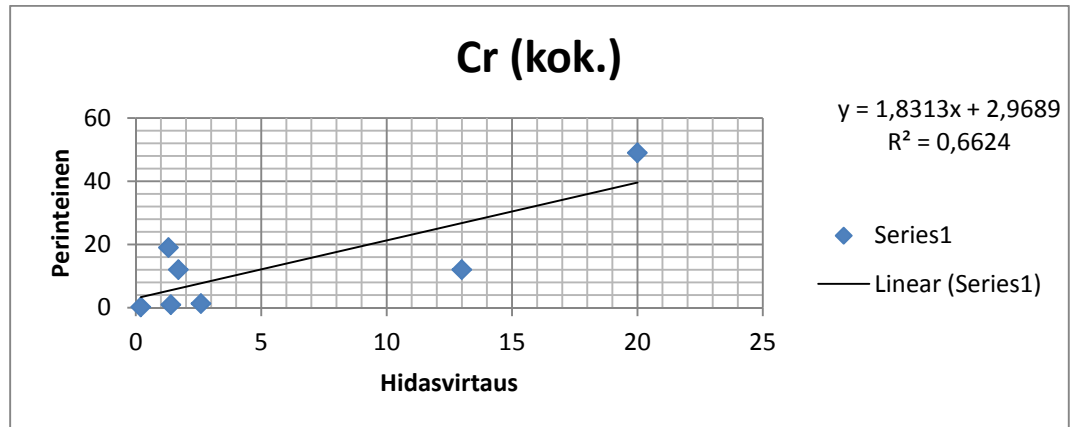


KUVIO 5. Perinteisen näytteenottomenetelmän liukoisen kromin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

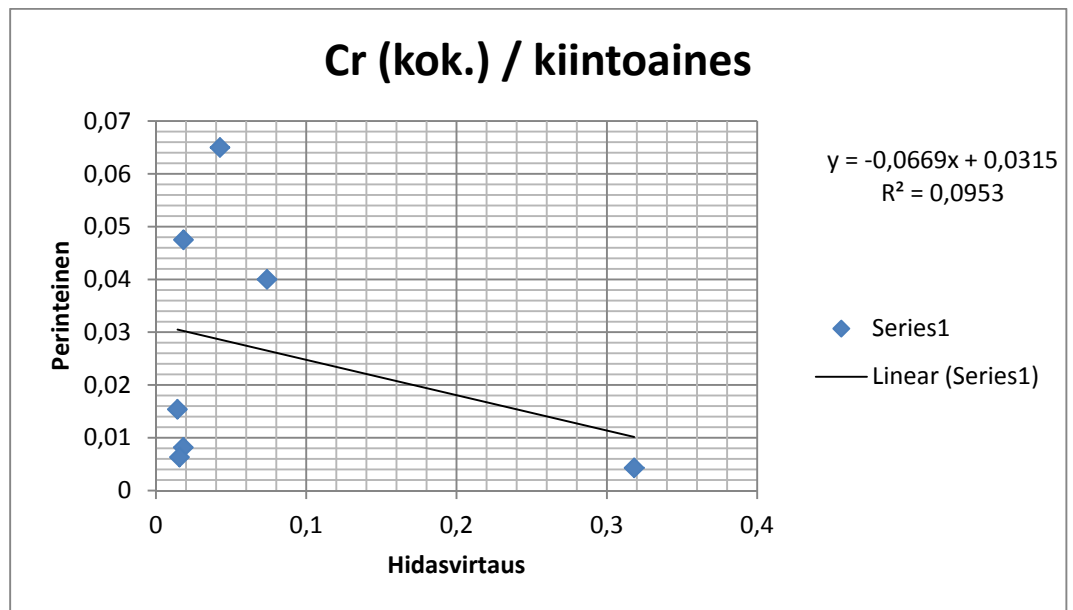


KUVIO 6. Liukoisen kromin ja pH:n suhde

LIITE 6/4.



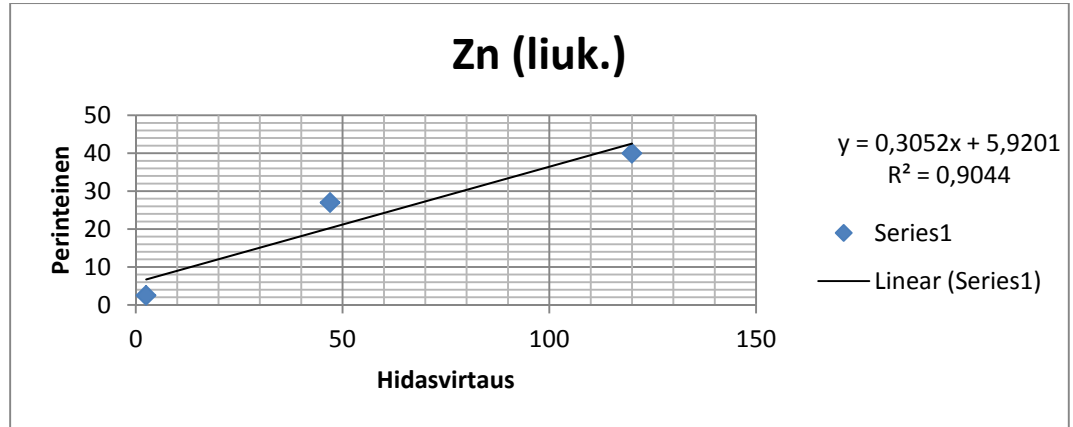
KUVIO 7. Perinteisen näytteenottomenetelmän kokonaiskokonaiskromin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona



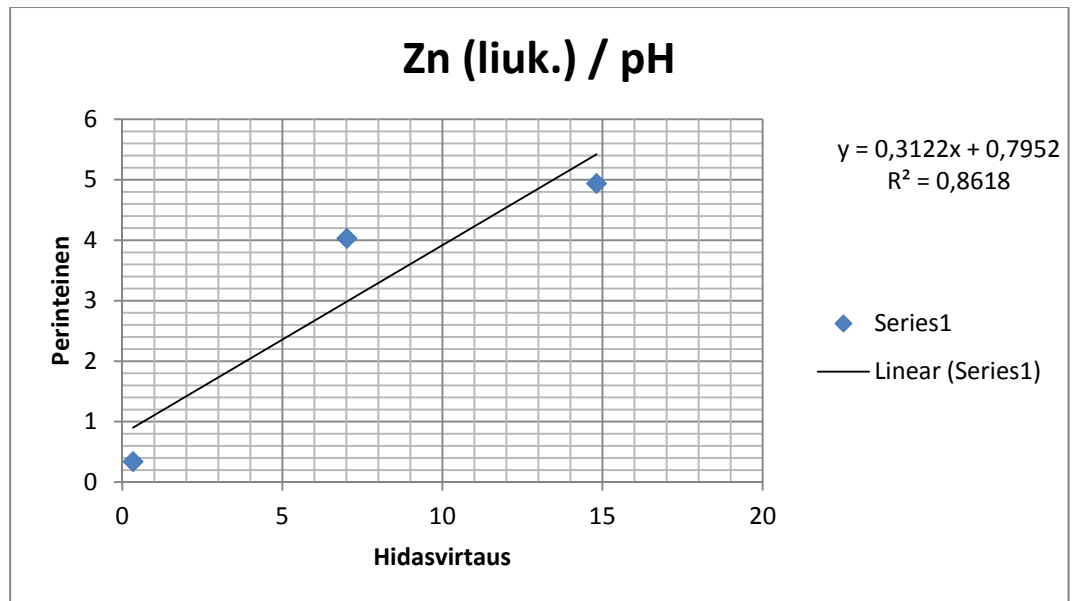
KUVIO 8. Kokonaiskromin ja kiintoaineksen suhde

LIITE 6/5.

1.3 Sinkki

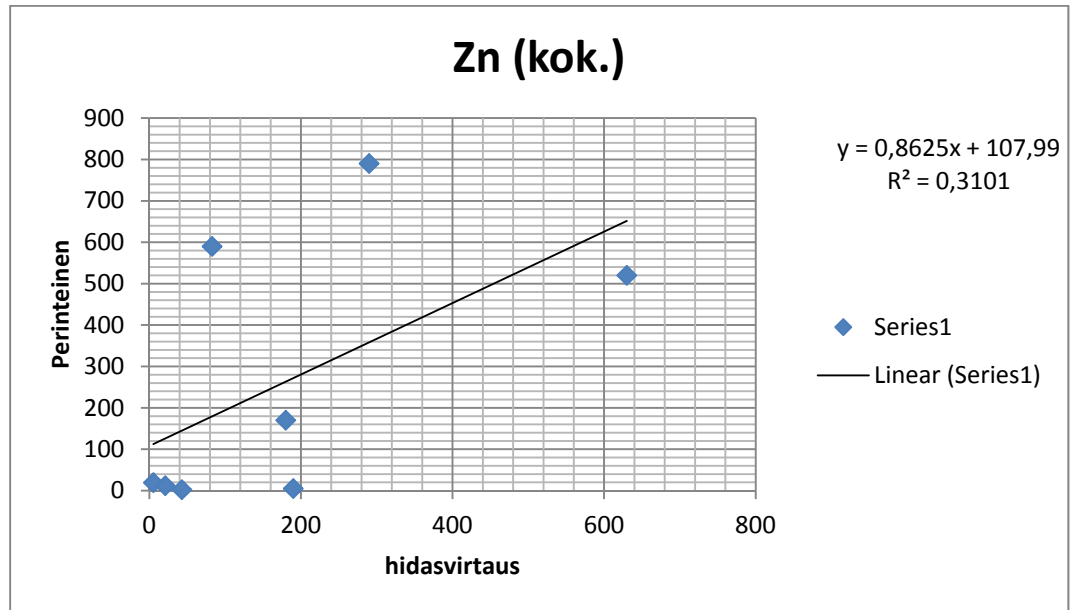


KUVIO 9. Perinteisen näytteenottomenetelmän liukoisen sinkin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

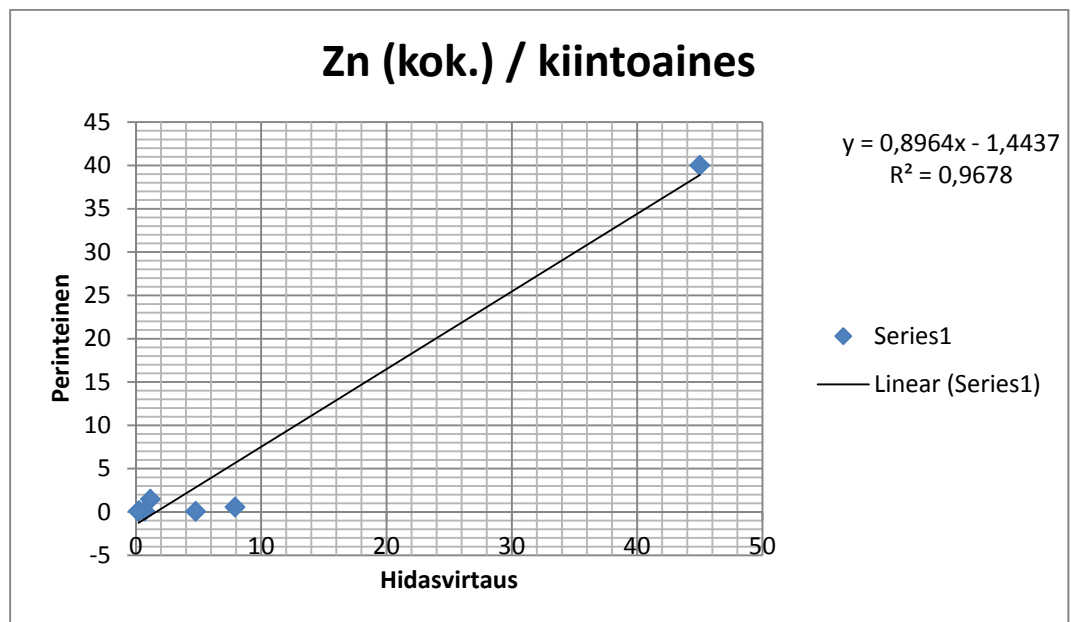


KUVIO 10. Liukoisen sinkin ja pH:n suhde

LIITE 6/6.



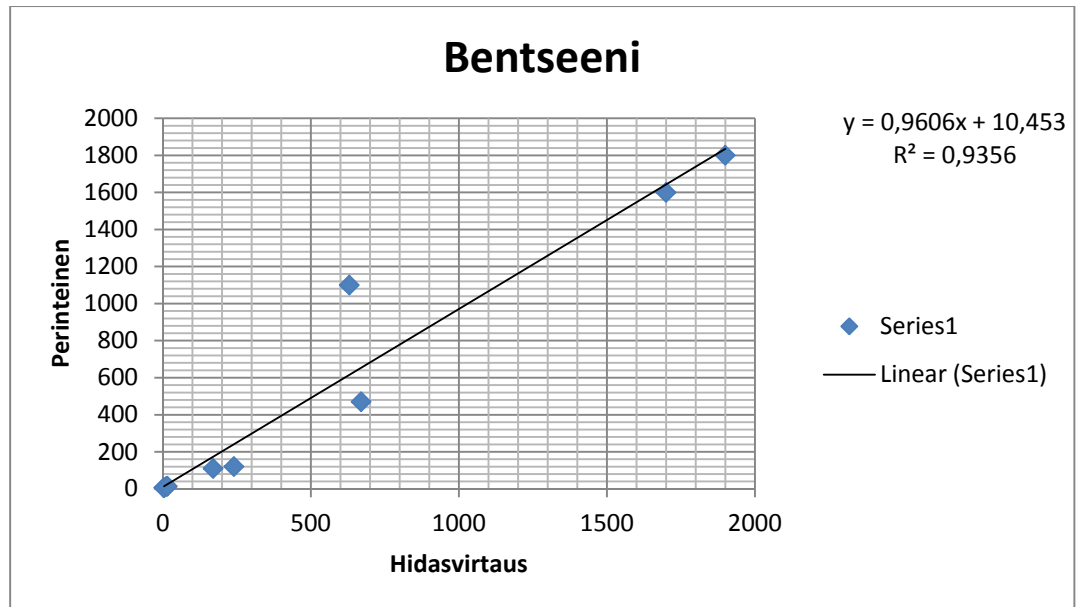
KUVIO 11. Perinteisen näytteenottomenetelmän kokonaissinkin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona



KUVIO 12. Kokonaissinkin ja kiintoaineen suhde

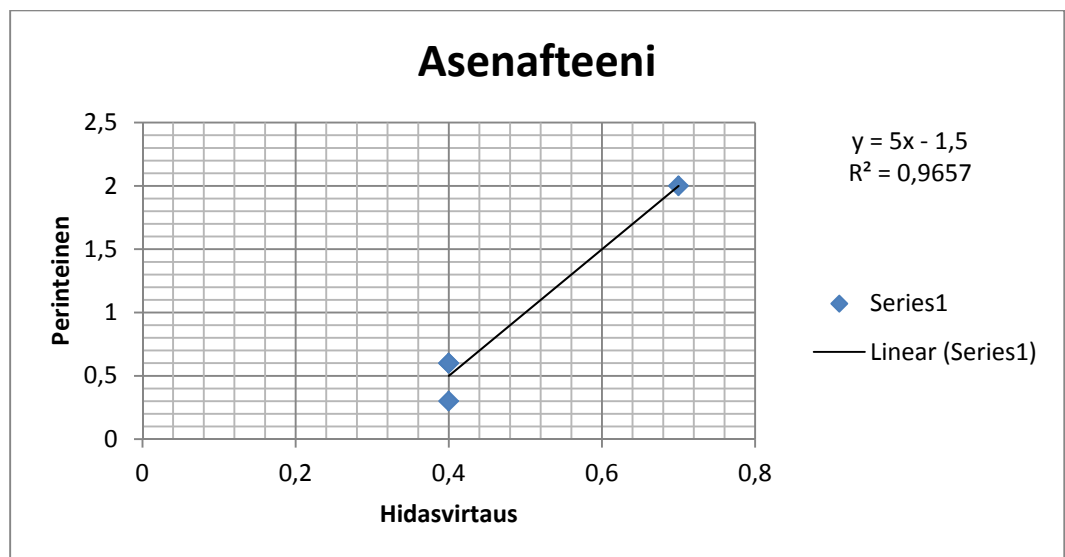
LIITE 6/7.

1.4 Bentseeni



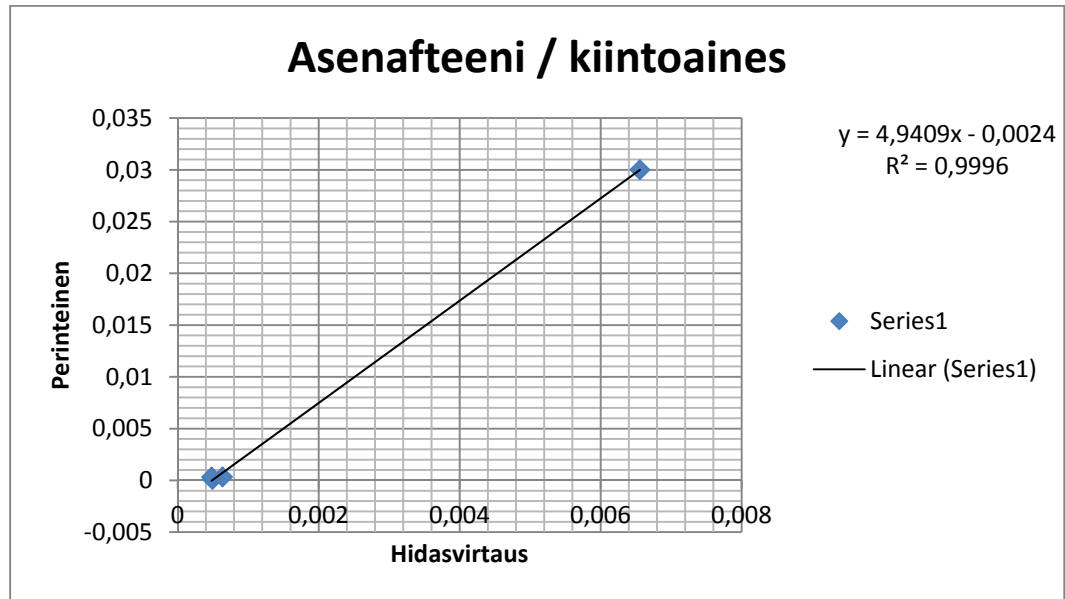
KUVIO 13. Perinteisen näytteenottomenetelmän bentseenin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

1.5 Asenafteni



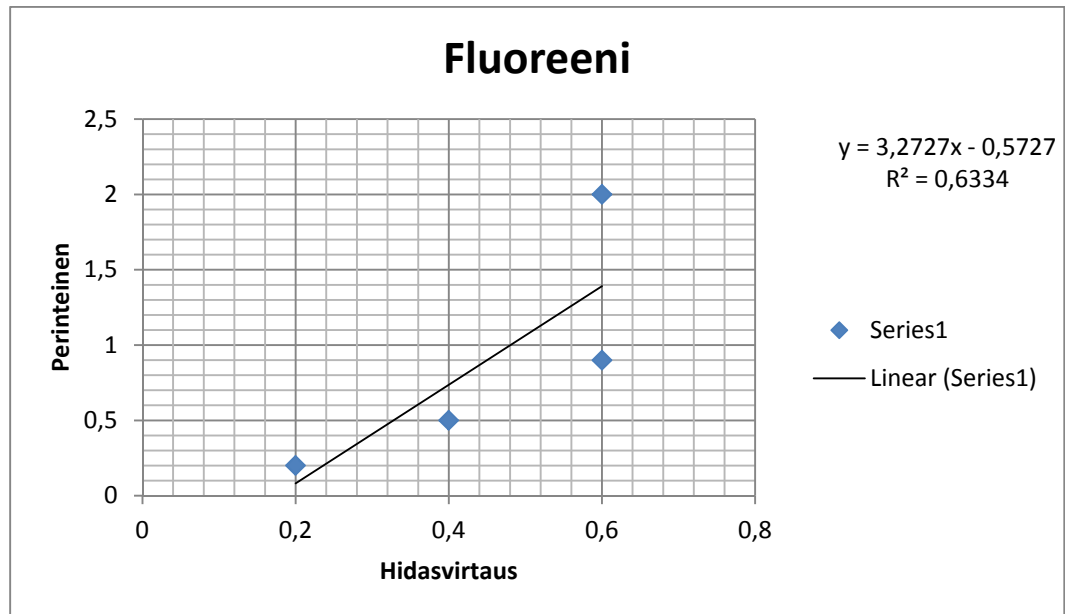
KUVIO 14. Perinteisen näytteenottomenetelmän asenaftenin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

LIITE 6/8.



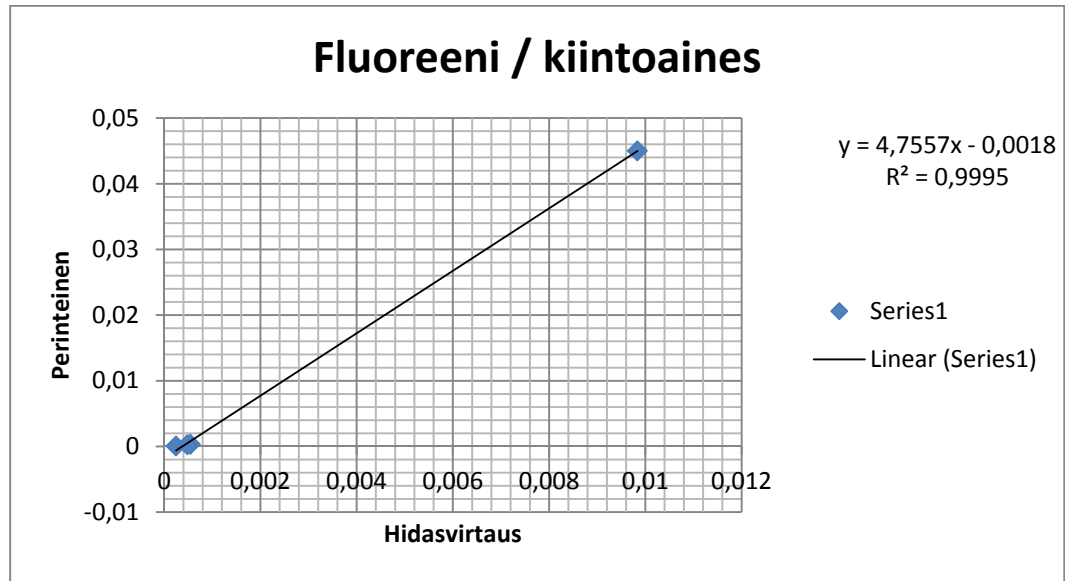
KUVIO 15. Asenaftenin ja kiintoaineksen suhde

1.6 Fluoreeni



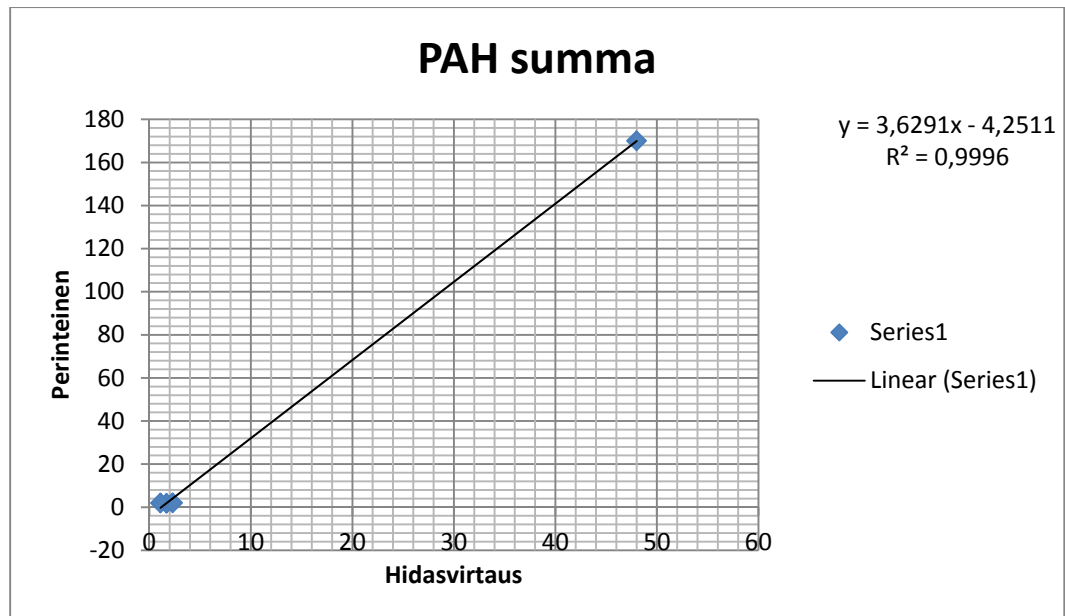
KUVIO 16. Perinteisen näytteenottomenetelmän fluoreenin tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

LIITE 6/9.

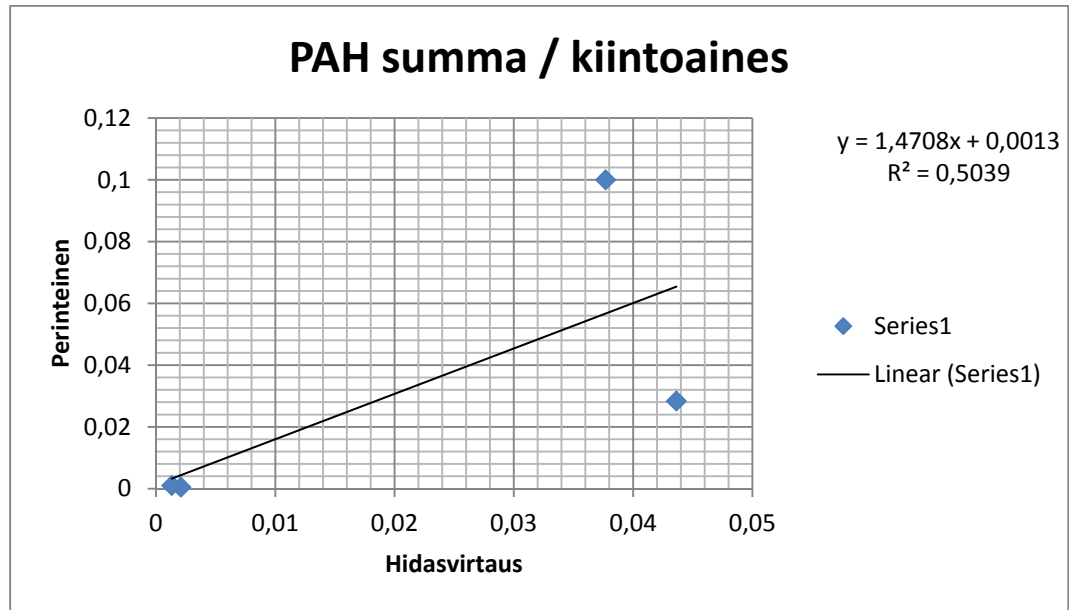


KUVIO 17. Fluoreenin ja kiintoaineksen suhde

1.7 PAH summa

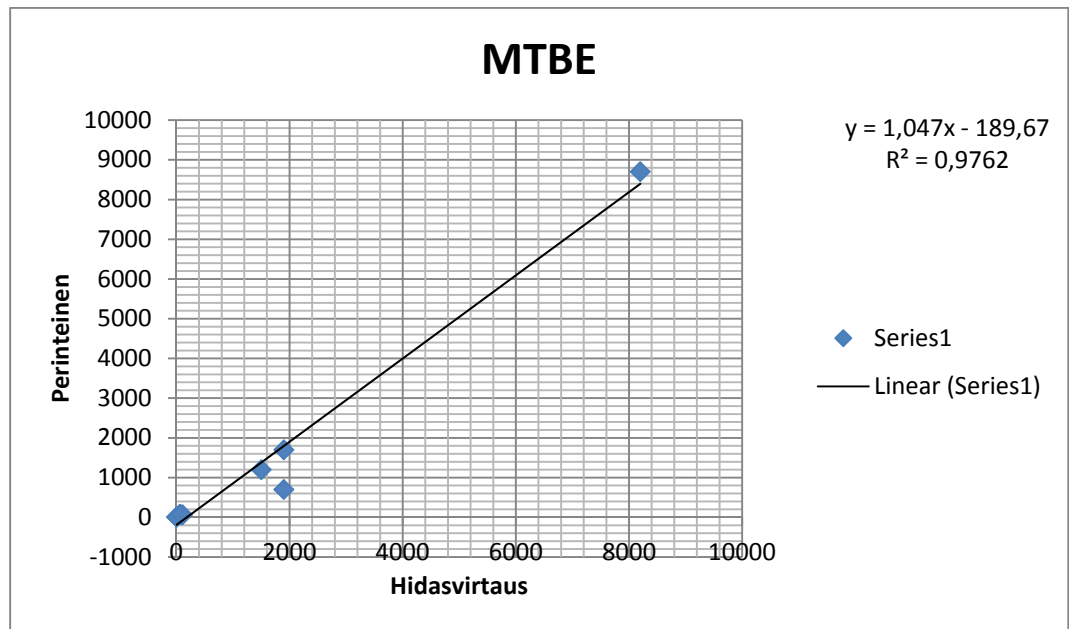


KUVIO 18. Perinteisen näytteenottomenetelmän PAH-yhdisteiden summapitoisuudet hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona



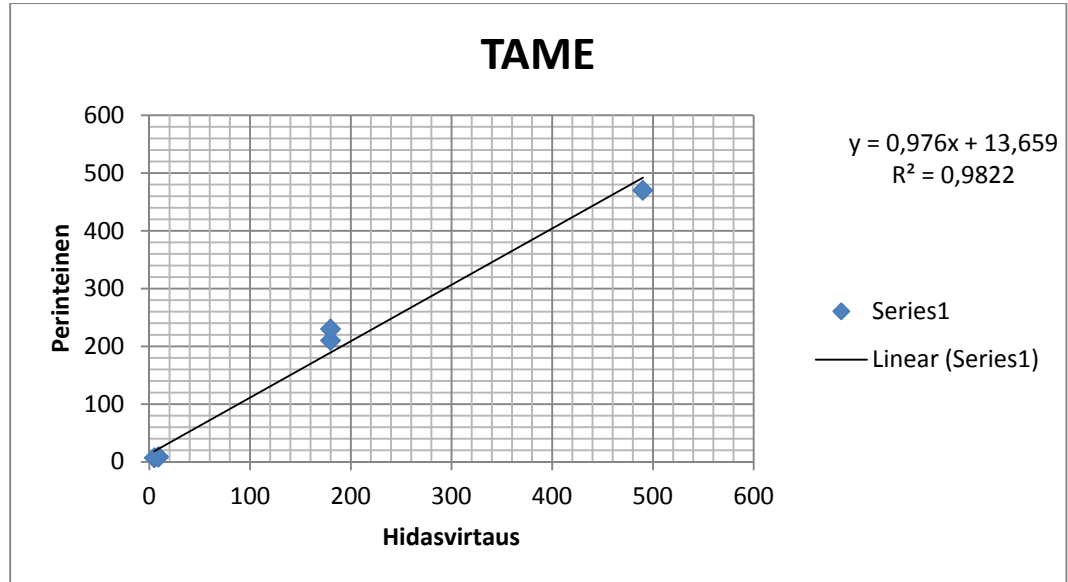
KUVIO 19. PAH-yhdisteiden summapitoisuuksien ja kiintoaineen suhde

1.8 MTBE



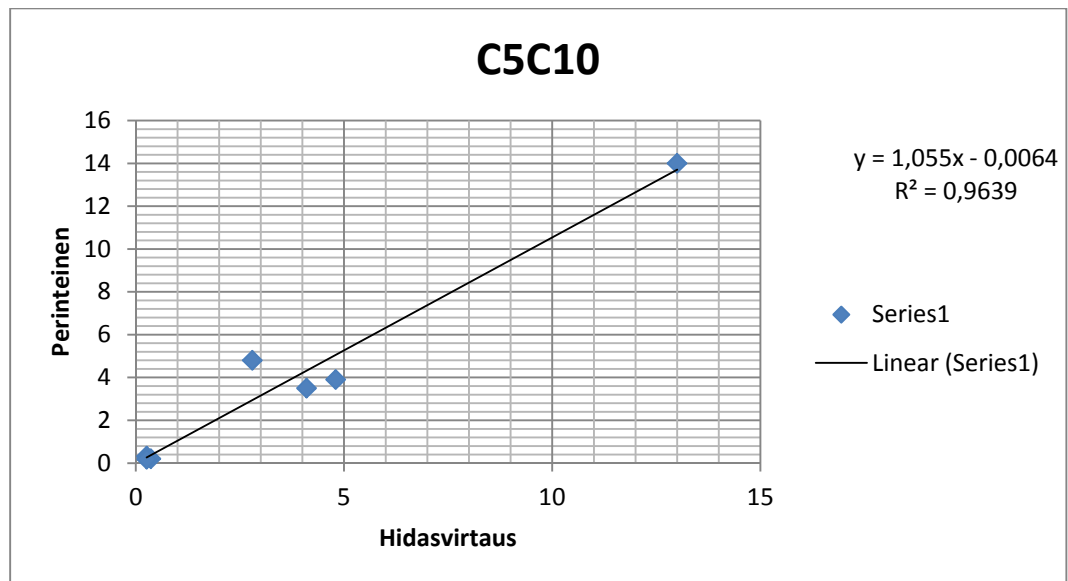
KUVIO 20. Perinteisen näytteenottomenetelmän MTBE:n tulokset
hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

1.9 TAME



KUVIO 21. Perinteisen näytteenottomenetelmän TAME:n tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

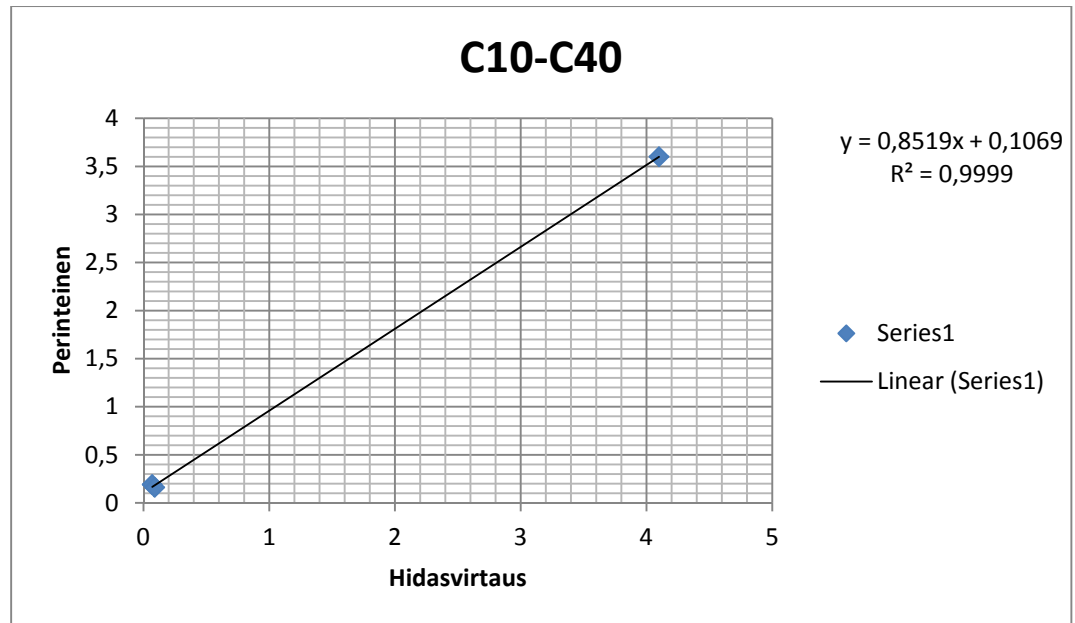
1.10 C5-C10



KUVIO 22. Perinteisen näytteenottomenetelmän C5-C10:n tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona

LIITE 6/12.

1.11 C10-C40



KUVIO 23. Perinteisen näytteenottomenetelmän C10-C40:n tulokset hidasvirtausnäytteenoton analyysitulosten funktiona