

# Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset pinta- ja pohjavesissä

---

**Taavi-Waltteri Valjakka**

**Diplomityö  
Espoossa 2022  
Valvoja: Professori Leena Korkiala-Tanttu  
Ohjaaja: DI Juha Forsman, TKT Inka Reijonen**

# Tiivistelmä

---

<b>Tekijä</b> Taavi-Waltteri Valjakka		
<b>Työn nimi</b> Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset pinta- ja pohjavesissä		
<b>Maisteriohjelma</b> Georakentamisen maisteriohjelma	<b>Koodi</b> ENG23	
<b>Pääaine</b> Geotekniikka		
<b>Työn valvoja</b> Leena Korkiala-Tanttu		
<b>Työn ohjaajat</b> DI Juha Forsman ja TkT Inka Reijonen		
<b>Päivämäärä</b> 04.09.2022	<b>Sivumäärä</b> 120 / 38	<b>Kieli</b> Suomi.

---

## Tiivistelmä

Pilaristabilointia on käytetty Suomessa 1970-luvulta lähtien. Pilaristabiloinnin ympäristövaikutuksia on tutkittu verrattain vähän. Tieto ympäristövaikutuksista perustuu pääsääntöisesti liukoisuustesteihin ja aikaisemmin tehtyjen stabilointien vaikutusten havainnointiin, ja havaittujen vaikutusten vähäisyyteen.

Tämän työn tavoitteena on kerätä olemassa olevaa tietoa ja tuottaa tietoa pilaristabiloinnin vaikutuksesta pohja- ja pintaveteen. Tässä työssä käsitellään ainoastaan pilaristabilointikohteita. Työssä esitetään asiantuntijahaastatteluilla tämän hetkisiä käsityksiä stabiloinnin vaikutuksista. Työssä esitellään aineiden leviämisen ja liukenemisen kannalta keskeistä teoriaa pilaristabiloinnista, sekä aiempien tutkimusten tuloksia Suomesta sekä kansainvälisesti.

Työtä varten on suoritettu pohjaveden laatu- ja ainepitoisuustutkimus kuudessa kohteessa. Tarkasteltavissa kohteissa on yhteensä 20 vesinäytteen ottoon soveltuvaa pohjavesiputkea, joista 15 on asennettu tätä tutkimusta varten. Pohjavesiputket on asennettu niin, että pohjavesiputkia on stabilointiin nähden ylä- ja alavirran puolella. Pohjavesinäytteistä tutkittiin kenttä- ja laboratoriomittauksin laajasti eri pitoisuuksia ja veden perusarvoja. Mittaustuloksista on tarkasteltu tilastollisesti merkittäviä eroja mittaustuloksissa ylä- ja alavirran välillä.

Tuloksena tässä työssä todetaan pilaristabiloinnista liukenevan liukoista kalsiumia, joka kulkeutuu pohjaveden mukana stabiloiduista alueesta. Kalsiumin ei ole määritetty olevan ympäristölle haitallinen aine, ja liuenneet pitoisuudet eivät ole tutkimuksen perusteella suuria. Tutkimuksen tuloksissa esitetään viitteitä myös liukoksen kobolttin, mangaanin ja nikkelin pitoisuuksien nousemisesta stabiloinnista johtuen. Pilaristabiloinnin vaikutuksien pinta- ja pohjavesille voidaan todeta olevan vähäiset.

---

**Avainsanat** Pilaristabilointi, pohjavesi, pintavesi, ympäristövaikutukset

---

## Abstract

---

**Author** Taavi-Walteri Valjakka

---

**Title of thesis** Environmental effects of column stabilization on surface- and groundwater

---

**Programme** Master's Programme in Geoengineering

---

**Major** Geotechnical Engineering

---

**Thesis supervisor** Professor Leena Korkiala-Tanttu

---

**Thesis advisor(s)** M.Sc.Tech Juha Forsman, D.Sc. Inka Reijonen

---

**Date** 04.09.2022      **Number of pages** 120 / 38      **Language** Finnish

Deep mixing (column stabilization) has been used in Finland since the 1970s. The environmental impacts of column stabilization have been researched moderately little. The understanding of the impacts is primarily based on solubility tests and the absence of major environmental harm that has been found.

The objective of this research is to compile existing information and produce information on the effect of column stabilization on groundwater and surface water. The study presents the current understanding of the effects of stabilization through expert interviews. In terms of the spreading and dissolution of substances, the central theory of pillar stabilization is presented in the work, as well as the results of previous Finnish and international research concerning environmental effects on surface and groundwater.

In the study, groundwater quality and substance concentration research has been carried out in six locations. There was a total of 20 standpipes for groundwater sampling in the inspected sites, 15 of which have been installed for this study. The standpipes are installed so that there are standpipes upstream and downstream of the stabilization. Groundwater samples were extensively studied with field and laboratory measurements for different concentrations and basic properties of water. The measurement results have been studied to find statistically significant differences in the measurement results between upstream and downstream samples.

As a result, in this study, it was found that soluble calcium dissolves from the column stabilization, which is transported by the groundwater from the stabilized areas. Calcium has not been determined to be a substance harmful to the environment and the dissolved concentrations are low. In addition, there were indications that the concentrations of soluble cobalt, manganese, and nickel also increased due to stabilization. The effects of column stabilization on surface and groundwater can be seen to be minor.

---

**Keywords** column stabilization, groundwater, surface water, environmental effects

---

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	2
Abstact .....	3
Sisällysluettelo .....	4
Alkusanat.....	6
Symbolit ja lyhenteet.....	7
1 Johdanto.....	8
2 Syvästabilointi .....	9
2.1 Pilaristabilointi menetelmä.....	9
2.2 Pilaristabiloitavat maalajit .....	10
2.3 Vesi Suomen maaperässä.....	11
2.3.1 Veden termistö.....	11
2.3.2 Veden liikkuminen maaperässä.....	12
2.3.3 Suomen pohjavesien kemiallinen koostumus.....	15
3 Sideaineet ja niiden kemialliset reaktiot .....	17
3.1 Stabiloinnin sideaineet Suomessa 1970-2020-luvuilla.....	17
3.2 Stabiloinnissa käytetyt sideaineet .....	17
3.2.1 Sideaineiden komponentit .....	18
3.2.2 Sideaineiden reaktiot.....	20
4 Syvästabiloinnin ympäristövaikutukset .....	25
4.1 Sideaineiden ympäristövaikutukset .....	25
4.2 Aineiden kulkeutuminen maaperässä .....	27
4.2.1 Aineiden kulkeutumisen mekanismit.....	27
4.2.2 Kulkeutumista estävät ja hidastavat mekanismit .....	28
4.2.3 Stabilointityön aikana tapahtuva kulkeutuminen.....	30
4.2.4 Stabiloinnin lujittumisen aikana tapahtuva kulkeutuminen...30	
4.2.5 Pitkällä aikavälillä tapahtuva kulkeutuminen.....	31
4.3 Veden pilaantumisen kriteerit.....	34
5 Aiemmat tutkimukset .....	36
5.1 Suomalaiset tutkimukset.....	36
5.1.1 Kuninkaantammi, Helsinki .....	36
5.1.2 Saunalahti, Espoo.....	40

5.1.3	Lahelanpelto, Tuusula .....	41
5.1.4	Porvoon Länsiranta, Porvoo .....	48
5.1.5	Hipunkulma, Tampere .....	53
5.2	Kansainväliset tutkimukset.....	55
6	Havainnot stabiloinnin vaikutuksesta pohjaveteen, kysely .....	61
7	Tutkimuskohteet ja -menetelmät .....	64
7.1	Tutkimuskohteiden instrumentointi.....	64
7.2	Tutkimuskohteiden vesinäytteiden laboratorioanalyysit .....	66
7.3	Fallpakka, Helsinki .....	67
7.4	Falkulla, Helsinki.....	70
7.5	Lallukka, Helsinki .....	73
7.6	Naulakallio, Helsinki .....	76
7.7	Tankovainio, Helsinki .....	80
7.8	Varisto, Vantaa .....	83
8	Tutkimustulokset.....	86
8.1	Fallpakka, Helsinki .....	88
8.2	Falkulla, Helsinki.....	90
8.3	Lallukka, Helsinki .....	97
8.4	Naulakallio, Helsinki .....	101
8.5	Tankovainio, Helsinki .....	103
8.6	Varisto, Vantaa .....	106
8.7	Tilastollisesti merkittävästi muuttuneet arvot .....	108
9	Tutkimustulosten tarkastelu .....	111
10	Johtopäätökset .....	113
11	Jatkotutkimussuositukset .....	114
	Lähdeluettelo .....	115
	Liitteluettelo .....	121
	Liitteet .....	122

## Alkusanat

Tämä työ on tehty osana UUMA4-ohjelmaa, jossa työryhmä 7 eli ”Syvästabiloinnin uusiosideaineet” on ideoinut työn aiheen. Työryhmällä on ollut mahdollisuus kommentoida työtä luonnosvaiheessa. Työryhmän jäsenet 06/2022 olivat:

Mirva Koskinen, Mikko Suominen, Helsingin kaupunki  
Heikki Kangas, Vantaan kaupunki  
Karoliina Tuukkanen, Tampereen kaupunki  
Iina Kallio, Espoon kaupunki  
Veli-Matti Uotinen, Väylävirasto  
Tommi Itkonen, Lounais-Suomen jätehuolto (LSJH)  
Timo Ylitalo, KFS Finland  
Olli Ormio, YIT Suomi Oy  
Niko Asikainen, Skanska Infra Oy  
Ville Niutanen, Tieluiska Oy  
Kari Kuusipuro, Nordkalk Oy  
Pekka Rantala, UPM-Kymmene Oyj  
Juha Koskinen, Tapojärvi Oy  
Jussi Reinikainen, SYKE  
Suvi Salmela, Motiva  
Leena Korkiala-Tanttu, Aalto-yliopisto  
Netta Skön, Juha Forsman, Merja Autiola, Otto Kaarto, Ramboll Finland Oy

Diplomityön valvojana toimi professori Leena Korkiala-Tanttu ja ohjaajina tohtori Inka Reijonen ja diplomi-insinööri Juha Forsman Ramboll Finland Oy:stä. Diplomityön ohjaukseen osallistui myös ohjausryhmälle, joka koostui Helsingin kaupungin, sekä Ramboll Finland Oy:n edustajista. Ohjausryhmällä on ollut mahdollisuus kommentoida työtä luonnosvaiheessa. Ohjausryhmän jäsenet on esitetty työn sivulla 64.

Kiitos Leenalle, Inkalle ja Juhalle asiantuntevasta ohjauksesta, kommentista ja tuesta työn aikana. Kiitos UUMA4-ohjelman työryhmälle 7 työn aiheesta, sekä työn ohjausryhmälle, joka valikoi tutkimuksen seurantakohteet ja antoi arvokkaita neuvoja ja näkemyksiä tutkimuksen eri vaiheissa.

Ja viimeisenä suuri kiitos kuuluu Jasminille.

Espoossa 04.09.2022

Taavi-Walteri Valjakka

# Symbolit ja lyhenteet

## Lyhenteet

NAPL	Non-aqueous phase liquid (veteen liukenematon faasi)
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
VOC	Volatile organic compound (Haihtuva orgaaninen yhdiste)
TOC	Total Organic Carbon (Kokonaisorgaaninen hiiliyhdiste)
DOC	Dissolved Organic Carbon (Liukoinen orgaaninen hiili)
SEM	Scanning electron microscopy (Pyyhkäisyelektronimikroskopia)
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut
GTK	Geologian tutkimuskeskus

## Molekyylit

CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
CaO	Kalsiumoksidi
H <sub>2</sub> O	Vesi
SiO <sub>2</sub>	Piidioksidi

# 1 Johdanto

Heikosti kantavalle maaperälle ei yleensä voi rakentaa ilman pohjanvahvistusta, joka takaa rakenteen kestävyuden ja pidemmän käyttöiän. Pohjanvahvistusmenetelmiä on useita. Soveltuva pohjanvahvistusmenetelmä on valittava maaperän ja rakennettavan kohteen perusteella. Tämä työ käsittelee syvästabilointia, joka on yleinen teiden, penkereiden, ja muiden yhdyskuntateknisten rakennelmien pohjanvahvistuksen muoto. Syvästabilointi menetelmänä on saanut alkunsa 1960-luvulla Ruotsissa ja Japanissa. (Liikennevirasto 2018). Syvästabiloinnin käyttö on yleistynyt Suomessa 2000-luvun alussa merkittävästi ja vakiintunut yleiseksi pohjanvahvistusmenetelmäksi niin Suomessa (esim. Kuusipuro 2020), kuin muissa pohjoismaissa (esim. Larsson 2021).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on:

- Selvittää, vaikuttaako pilaristabilointi maaperässä olevan veden laatuun.
- Muodostaa kuva siitä, mitkä ovat pilaristabiloinnissa käytettyjen sideaineiden vaikutus eri haitallisten aineiden pitoisuuksille pinta- ja pohjavesissä.
- Kerätä tietoa pilaristabiloinnin vaikutuksesta ja tuoda esiin toimintatapoja, joilla voidaan estää tai rajoittaa mahdollisten haitallisten aineiden leviäminen.

Tässä tutkimuksessa syvästabilointi rajataan käsittämään ainoastaan pilaristabilointia. Tutkimuksessa pilaristabiloinnin vaikutukset käsittävät pilaristabiloinnissa käytettyjen sideaineiden vaikutukset vedestä tutkittavien aineiden pitoisuuksiin. Tutkimuksessa verrataan veden ainepitoisuuksia yleisiin ympäristösuosituksiin ja -vaatimuksiin, ottamatta kantaa todettujen pitoisuuksien vaikutuksiin terveydelle ja luonnolle. Tässä tutkimuksessa kuvataan pilaristabilointi menetelmän ja sen keskeisiä käsitteitä ja toimintaperiaatteita kirjallisuuskatsauksen muodossa. Työssä on myös kerätty alan eri toimijoilta ja asiantuntijoilta sähköpostitse näkemyksiä ja havaintoja stabiloinnin vaikutuksesta vesiympäristöön, samalla keräten aiheesta tehtyä tutkimusta.

Työssä esitellään myös aiempia tutkimuksia aiheesta. Työssä esiteltäviä aikaisempia tutkimuksia on tehty Suomessa, Ruotsissa sekä Japanissa. Työhön on koottu uusia työn aikana otettujen vesinäytteiden laadun mittaustuloksia kuudesta suomalaisesta pilaristabilointikohteesta. Tuloksia on analysoitu tilastollisin menetelmin tunnistuen mittauksista viitteitä stabiloinnin vaikutuksesta mitatuissa pohjavesinäytteissä.

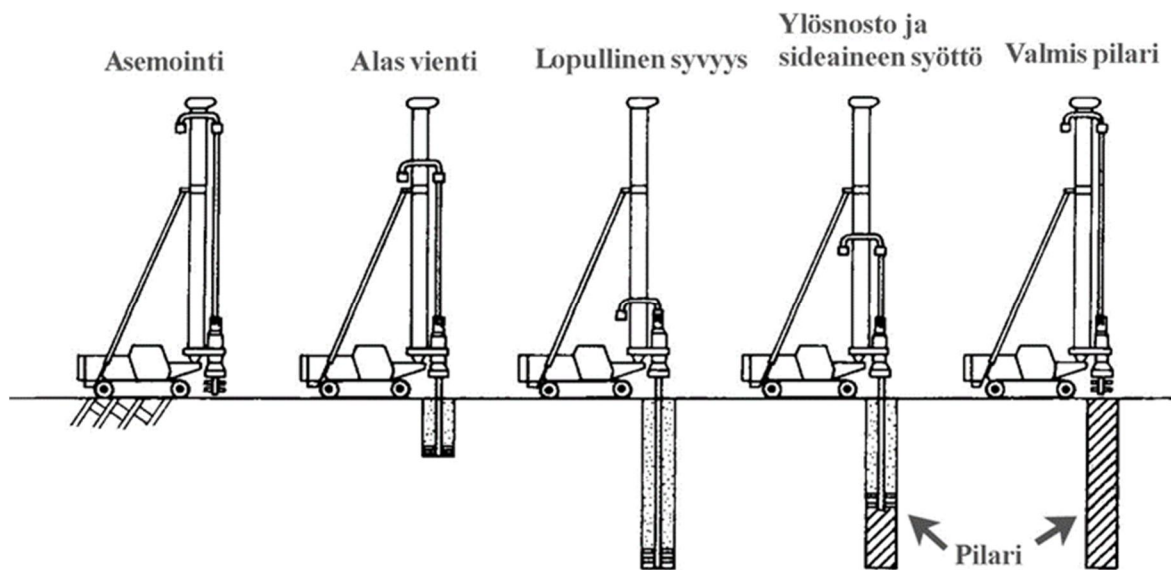


## 2 Syvästabilointi

Tässä luvussa tulen esittelemään pilaristabiloinnin menetelmänä ja sen käyttökohteita, sekä maaperäolosuhteita, joissa menetelmää käytetään Suomessa ja Pohjoismaissa.

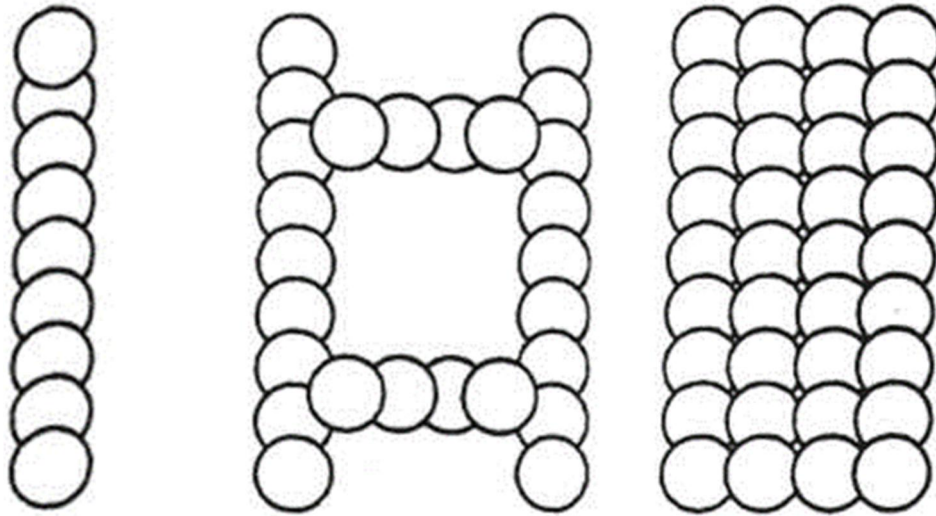
### 2.1 Pilaristabilointi menetelmä

Pilaristabiloinnissa sideaineensyöttötanko työnnetään maahan. Nostettaessa tankoa ylös syötetään sideaine paineilmalla maahan, jolloin muodostuu pilareita. Sideaineet reagoivat veden ja maa-aineksen kanssa muodostaen ympäröivää maa-ainesta lujemman rakenteen ja parantaen maan kantavuutta. Stabilointi voidaan toteuttaa märkä- ja kuivastabilointina, eroten siinä syötetäänkö sideaine maahan kuivana vai sekoitettuna veden kanssa. Suomessa käytetään pääosin kuivastabilointia (Liikennevirasto 2018). Kuivastabiloinnissa reaktioon vaadittava vesi tulee maan huokosvedestä, jolloin maan vesipitoisuuden tulisi olla vähintään 20 %, jotta reaktiota varten on tarpeeksi vettä. Suuri vesipitoisuus alkaa vaikuttamaan muodostuvan pilarin lujuuteen negatiivisesti sen kasvaessa yli 100 %. (Perkiö 2000). Pilaristabilointi on havainnollistettuna kuvassa 2.1.



**Kuva 2.1:** Sideaineen syöttö ja sekoitus pilaristabiloinnissa. (Paatsema & Kangas 2003).

Kun pilareihin kohdistuu sivuttaissuuntaisia voimia, voidaan pilarien leikkauskestävyyttä kasvattaa lamellistabiloimalla. Lamellistabiloinnissa pilarit asennetaan limittäin eli toisiaan leikkaavasti. Lamellistabiloinnissa pilarit voidaan asentaa esimerkiksi riveittäin, kennostoina tai pilariblokkina kuvan 2.2 mukaisesti (Liikennevirasto 2018 s. 75).



**Kuva 2.2:** Pilarilamelli, pilarilamelli poikittaisilla riveillä ja pilariblokki. (Liikennevirasto 2018)

Pilarit voidaan luokitella kahteen tyyppiin niiden tunkeutumisen perusteella, määrämittäisiin pilareihin tai kantavaan kerrokseen ulottuviin pilareihin. Kantavaan kerrokseen ulottuvien pilarien painuma on vähäinen, ja siitä suurin osa tapahtuu rakentamisaikana. Määrämittäisillä pilareilla suurin painuma tapahtuu pilaroidun kerroksen alapuolella ja se voi kestää hyvinkin pitkään. Kantavaan kerrokseen yltävät pilarit ovat pilareita, jotka yltävät saven alapuoliseen kerrokseen, joka voi olla esimerkiksi moreenia, hiekkaa tai paikoin myös kalliota. Määrämittäisiä pilareita voidaan kutsua myös kelluviksi pilareiksi, jotka ovat esimerkiksi 10 metriä paksussa savikerroksessa vain ensimmäiseen viiteen metriin yltäviä. Näin pilarien alapuolelle jää stabiiloinen luonnontilainen savikerros.

## 2.2 Pilaristabiloivat maalajit

Maalajeja voidaan luokitella eri tavoilla. Maalajijaottelut perustuvat useimmiten kahteen asiaan, partikkelin kokoon ja sen eloperäisyyteen. Eloperäiset maalajit jaotellaan erikseen. Suomessa on käytetty maalajien luokitteluun kansallisia rakennusteknistä (RT) ja myöhemmin yleistynyttä geoteknistä (GEO) maalajiluokitusta. Kansallisista maalajiluokituksista ollaan siirtymävaiheessa käyttämään Euroopan Unionin yhtenäistä EN ISO 14688-2-luokitukseen. (Ronkainen 2012). Taulukossa 2.1 on esitetty luokitusten maalajien lajittelu raekoon mukaan.

Taulukon 2.1 maalajiluokituksista puuttuu GEO- ja RT-luokituksessa esiintyvä moreeni. Moreeni on Pohjoismailla ja muille jääkauden muokkaamilla alueilla tyypillinen sekoittunut maalajite, joka sisältää maalajitteita soran ja siltin raekokoluokista yli 5 % (Salonen ym. 2002). Tässä työssä esitellyt maalajit ovat yleisesti geoteknisen (GEO) luokituksen mukaisia maalajeja.

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) maaperäkartoissa on esitetty RT-luokituksen mukaiset maalajit. Suomessa pilaristabilointia toteutetaan pääasiassa savialueilla, jotka saattavat toisinaan sisältää myös hiekkaa tai silttiä. Yleisesti raekoon kasvaessa myös stabilointi on harvinaisempaa. (Liikennevirasto 2018). Suomen savet ovat geologialtaan nuoria ja ne ovat pääosin muodostuneet viimeisimmän jääkauden aikana tai sen jälkeen (Salonen ym. 2002).

**Taulukko 2.1:** Kivennäismaalajien maalajiluokitukset raekoon mukaan (Kauranne ym. 1972; SFS-EN ISO 14688-I 2007).

Maalaji	GEO	RT	ISO
Savi	<0,002 mm	<0,002 mm	<0,002 mm
Hiesu	-	0,002–0,02 mm	-
Hieta	-	0,02–0,2 mm	-
Siltti	0,002–0,06 mm	-	0,002–0,063 mm
Hiekka	0,06–2 mm	0,2–2 mm	0,063–2 mm
Sora	2–60 mm	2–20 mm	2–63 mm

## 2.3 Vesi Suomen maaperässä

### 2.3.1 Veden termistö

#### Pintavesi

Pintavedellä tarkoitetaan maanpinnalla olevaa vettä, joka ei ole imeytynyt maahan ja on maanpinnan päällä. Pintavesi voi olla esimerkiksi järvi-, joki-, puro-, tai lammikkovettä. Pintavettä muodostuu maanpinnalle, kun vettä kulkeutuu maanpinnalle enemmän kuin sitä imeytyy maaperään. Pintavettä muodostuu erityisesti silloin kun sataa runsaasti tai lumi sulaa. Pintaveden muodostumiseen vaikuttaa suuresti maanpeitteen vedenjohtavuus. Tämä voi tulla olennaiseksi rakennetulla alueella, jossa luonnollinen maanpeite on voitu korvata asfaltilla tai muulla selkeästi huonommin vettä johtavalla materiaalilla.

#### Pohjavesi

Vesilaki määrittelee pohjaveden maa- tai kallioperässä olevaa vettä (587/2011). Geotekniikan näkökulmasta vesilain mukainen pohjavesi jaotellaan maaveteen ja pohjaveteen maahuokosten kyllästymisasteen mukaan. Täysin kyllästyneessä maassa olevaa vettä kutsutaan pohjavedeksi ja osittain kyllästyneessä maa-aineksessa oleva vesi on maavettä. (Salonen ym. 2002. s. 88).

#### Vajovesi

Maavedessä on kahdentyyppistä vettä vajovettä ja kapilaarivettä. Vajovedellä tarkoitetaan vettä, joka sijoittuu maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliseen

maakerrokseen ja joka gravitaation myötä kulkeutuu alemmas maakerroksissa. (Salonen ym. 2002).

### **Kapilaarivesi**

Kapilaarivedellä tarkoitetaan veden pintajännitykseen johdosta tapahtuvaa veden nousua pohjavedenpinnasta ylöspäin kappilaarisen voiman vaikutuksesta. Kapilaarivesikerroksen paksuus voi olla hienojakoisissa maalajeissa kolme metriä. Tätä kapilaarisen veden aluetta maakerroksissa kutsutaan kapilaarivyöhykkeeksi. (Salonen ym. 2002).

### **Orsivesi**

Orsivedeksi kutsutaan vesikertymiä, joita muodostuu, kun vesi ei normaalin vajoaman mukaisesti kulkeudu pohjaveteen vaan jää pohjavedenpinnan ja maanpinnan väliseen vyöhykkeeseen. Tätä kertynyttä vettä kutsutaan orsivedeksi. (Salonen ym. 2002).

### **Huokosvesi**

Osa maaperässä olevasta vedestä sitoutuu maa-aineksen huokostilaan osaksi maahiukkasta. Tätä maahiukkasiin sitoutunutta vettä kutsutaan huokosvedeksi. (Salonen ym. 2002).

### **Huokoskaasu**

Maaperässä on nestemäisen veden lisäksi kaasua, jonka koostumus pohjaveden pinnan yläpuolella pääosin mukailee ilmakehän koostumusta. Pääosa tästä pohjaveden yläpuolisesta huokoskaasusta on ilmakehästä lähtöisin. Huokoskaasusta osa on höyryntynyt vettä. (Paatonen 1995).

#### **2.3.2 Veden liikkuminen maaperässä**

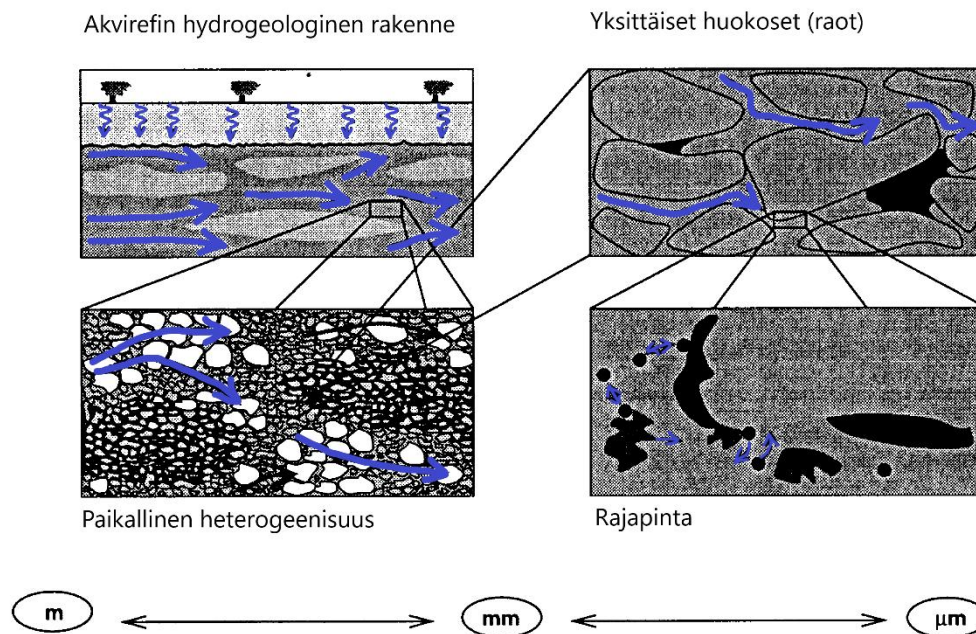
Vesi virtaa maan huokosissa ja virtausnopeuteen vaikuttaa mm. maan lajitekoostumus ja huokosverkosto. Virtauskanavat muodostuvat maa-aineksen huokostiloista. Veden virtausnopeuteen vaikuttaa suuresti huokostilan suuruus siten, että mitä enemmän vedellä on tilaa liikkua sitä nopeammin se virtaa. Näin ollen vedenvirtauksen nopeus on suurimmillaan karkeajakoisimmissa maalajeissa, joissa huokostila on suurempi. Veden nopeutta, jolla vesi pystyy virtaamaan maa-aineksen läpi, kutsutaan vedenjohtavuudeksi. Taulukossa 2.2 on esitetty vedenjohtavuuskertoimien vaihtelu välejä eri maalajeissa.

Veden virtaus maaperässä ei ole lineaarista, koska se mutkittelee huokostilassa ja kiertää maarakeet mikrotasolla tarkasteltaessa, jonka vaikutus toistuu ja vahvistuu suurempaan mittakaavaan siirryttäessä. Suuremmassa mittakaavassa tarkasteltaessa on myös merkittävää huomioida maalajien vaihtelu, jolloin vettä virtaa määrällisesti eniten suurimman vedenjohtavuuden

alueissa. Nämä suuremman vedenjohtavuuden alueet voivat muodostaa vedenvirtauksen kanavoitumista maaperässä. Kuvassa 2.3 on havainnollistettu vedenvirtauskanavia eri mittakaavoissa.

**Taulukko 2.2:** Maalajien vedenjohtavuuskertoimia (Martio 2011. s.19)

Maalaji	Vedenjohtavuuskertoimen k (m/s)
Sora	$10^{-1}—10^{-4}$
Hiekka	$10^{-2}—10^{-6}$
Siltti	$10^{-5}—10^{-9}$
Savi	$< 10^{-8}$
Soramoreeni	$10^{-4}—10^{-7}$
Hiekkamoreeni	$10^{-6}—10^{-8}$
Silttimoreeni	$10^{-7}—10^{-10}$



**Kuva 2.3:** Vedenvirtauksen mittakaava ja virtausreitit. (Kuusela-Lahtinen & Vahanne 2005. muokattu.)

Veden epälineaarisen virtauksen vuoksi sen varsinaisesta virtausnopeudesta puhuminen ei ole usein mielekäästä. Kuvaavampana terminä tarkastellaan veden keskimääräistä lineaarista virtausnopeutta eli advektiota. Advektion yksikkö on m/s. (Young 1992). Veden virtausta maaperässä voidaan arvioida Darcyn lain avulla. Virtausnopeuden arvioinnissa hyödynnetään eri arvoja kuvaamaan täysin kyllästyneen ja kyllästymättömän vyöhykkeen veden virtausta. Täysin kyllästyneessä tilassa veden virtauksen käytännön rajana toimii peruskallio. Täysin kyllästyneessä vyöhykkeessä Darcyn laki estimoii

virtausta hyödyntäen hydraulista gradienttia. Hydraulinen gradientti on tarkasteltavien pisteiden välinen pohjavedenpinnantason korkeuden muutoskaltevuus. Osittain kyllästyneellä vyöhykkeellä hydraulisen gradientin sijaan käytetään maa-aineksen vesipotentialia (soil-water potential). Maa-aineksen vesipotentialia ilmaisee veden virtaamiskykyä sen lävitse. Kyllästymättömällä vyöhykkeellä vedenjohtavuuskerroin  $k$  on muuttuva ja se riippuu myös maan kyllästysasteesta. Maa-aineksen vedenjohtavuuskerroin laskee kyllästyttyneisyyden laskiessa ja kasvaa vesipitoisuuden noustessa saavuttaen maksimi arvonsa täysin kyllästyneessä tilassa. (Young ym. 1992, s. 132–133). Advektion suuruuden arvioimiseen voidaan käyttää kaavaa 1 kyllästyneessä maassa ja kaava 2 kyllästymättömässä maassa.

$$v = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial l} \quad (1)$$

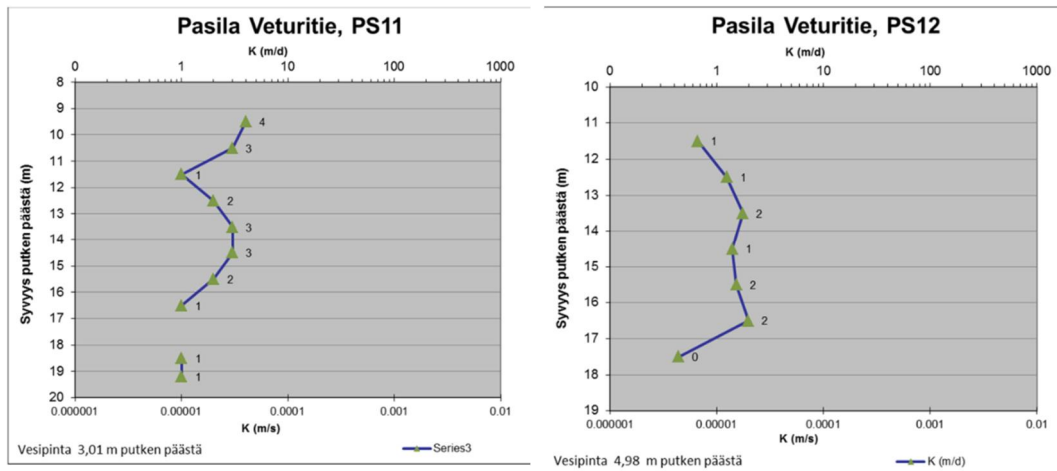
$$v = -k \cdot \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2)$$

$v$	Veden virtaus	m/s
$k$	Vedenjohtavuus	m/s
$\frac{\partial h}{\partial l}$	Hydraulinen gradientti	-
$\frac{\partial \psi}{\partial x}$	Veden virtauspotentialiaali	-

Kaavat 1 ja 2 arvioivat vedenvirtausta yksinkertaistetussa tilanteessa. Kaavat arvioivat veden lineaarista virtausnopeutta kohtuullisesti, kun siinä käytetyt oletukset toteutuvat systeemissä. Oletuksina on että, vesi virtaa tasaisen hitaasti, maa-ainepartikkelit ovat sileitä ja samansuuruisia keskenään, sekä pallomaisia muodoltaan. Lineaarisen virtauksennopeuden arvioita voidaan parantaa ottamalla esimerkiksi huomioon maa-aineksen tehokas koheesio. Maa-aineksen tehokas huokoisuus kuvaa vedenvirtauskanavalle vapaata huokostilaa. Kokonaishuokoisuudesta on tässä vähennetty muun muassa maarakeisiin sitoutunut huokosvesi (Young, ym. 1992). Maaperän heterogeenisuuden vuoksi vedenvirtausnopeudessa esiintyy suuria vaihteluvälejä. Virtausnopeus vaihtelee niin horisontaalisesti, kuin vertikaalisesti. Virtausnopeus vaihtelee virtaussuunnasta riippuen, ja samasta pisteestä tarkasteltaessa virtausnopeus voi olla eri suuruudeltaan riippuen mihin suuntaan vesi

virtaa. Kirjallisuudessa esitetään usein vaihteluväli vedenjohtavuuskertoimelle kulloisellekin maalajille. Nämä vaihteluvälit ovat tyypillisesti suuria.

Kirjallisuudessa esiintyvistä suuresta vaihteluvälistä johtuen maalajin tunteminen ei riitä vedenjohtavuuden tarkkaan määrittämiseen. Siihen vaikuttaa merkittävästi myös maaperän kerroksellisuus, tiiveys ja rakenne. Tarkemman arvion saamiseksi on kohteesta tarvittaessa suoritettava vedenjohtavuusmittauksia. Kuvassa 2.4. on esitetty vedenjohtavuusmittaus, jotka on suoritettu Pasilassa.



**Kuva 2.4:** Vedenjohtavuuden vaihtelu. (Helsingin kaupunki 2017)

Vedenjohtavuutta on mahdollista arvioida tekemällä merkkiainetutkimuksia. Merkkiainetutkimuksessa luodaan mittausasetelma, jossa maahan asennetaan useampi mittauspiste. Näistä pisteistä mitataan valitun merkkiaineen pitoisuuksia. Maahan syötetään merkkiainetta, jonka jälkeen seurantapistteistä mitataan merkkiaineen pitoisuutta. Merkkiaineen havaintopiikistä voidaan päätellä vedenvirtausnopeus syöttöpisteen ja tarkkailupisteen välillä. Merkkiaineeksi on syytä valita aine, jota ei löydy luonnollisesti kohteesta tai sen pitoisuus on tasaista ja hyvin tiedetty. Merkkiaine ei saa pidentäytyä matkalla vaan sen tulisi virrata veden mukana antaen kuvaa vedenvirtauksesta. Merkkiaineen on oltava myös ympäristölle vaaraton, ja tarvittavien syöttömäärien tulee olla kohtuulliset. Syöttömäärällä tarkoitetaan merkkiaineen määrää, jota on syötettävä maastoon, jotta maasta saadaan tarvittuja tuloksia. (van der Kamp. ym. 1994).

### 2.3.3 Suomen pohjavesien kemiallinen koostumus

Suomen pohjavesiin on suuressa mittakaavassa katsottuna luonnollisesti liuennut vain vähän eri elektrolyyttejä. Alueiden välillä on kuitenkin suuria eroja, jotka johtuvat maaperän kemiasta. Esimerkiksi rannikkoalueilla esiintyvistä sulfidisavista liukenee korkeampia sulfidi-pitoisuuksia. (Heikkinen 2000). Aineiden välillä vallitsee liukenemisjärjestys, jossa ne yleisesti

liukenevat veteen. Tämä liukenemisjärjestys riippuu mm. maalajitteesta, maa-aineksen rakenteesta, pH tasapainosta ja lämpötilasta. Veteen liukene-mattomat aineet esiintyvät kiinteänä muotona, jotka voivat saostua maa-ai-nekseen (Young ym. 1992. s. 155–169).

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), aloitti vuonna 2016 pääkaupun-kiseudulla kuntien yhteisen pohjaveden tarkkailuohjelman, jossa seurataan alueiden pohjaveden laatua vedenottamoilla ja pohjavesialueilla. Ohjelmasta julkaistaan vuosittain raportti, jossa koostetaan alueiden pohjaveden laadun vaihtelua, mutta ei oteta suoranaisesti kantaa mistä veden laadun vaihtelut johtuvat. Raportin avulla voidaan nähdä pääkaupunkiseudun pohjaveden viitearvoja ja havaita normaalia vaihtelua, jota pohjaveden laadussa voi ta-pahtua pohjavesialueilla yleisesti ja näytepaikkakohtaisesti. Pääkaupunki-seudulla otetuista näytteistä todettiin pohjaveden olevan pääsääntöisesti niukkahappista. Savipeitteisillä alueilla, kuten Espoon Puolarmetsässä ja Tuusulan Mätäkiven alueilla todettiin korkeita raudan ja mangaanin pitoi-suuksia. Yleisimpänä kohonneena pitoisuutena pääkaupunkiseudun pohja-vesialueilla on kloridi. Kloridipitoisuus ylitti raja-arvon lähes kaikissa vara-vedenottoaivoista otetuissa näytteissä (Turtiainen & Kivimäki 2022).



### **3 Sideaineet ja niiden kemialliset reaktiot**

Tässä luvussa esitellään tässä työssä esiintyvät sideaineet, sideaineiden koostumus ja miten ne reagoivat maassa muodostaen lujittuneen maa-aineksen.

#### **3.1 Stabiloinnin sideaineet Suomessa 1970-2020-luvuilla**

Syvästabiloinnin sideaineena käytettiin 1970- ja 80-luvulla kalkkia ja 1990-luvulta alkaen kalkkisementtiä (merkintä LC tai KS). Kipsin käyttöä sideaineena selvitettiin jo 1980-luvulla. Lentotuhkaa sisältäviä Lohjamix-sideaineseoksia käytettiin lähes koko 1990-luku Suomessa ja Ruotsissa. Lohjamixin tarjonta loppui 2000-luvun alussa. 1990-luvulla kehitettiin sideaineseokset POZ ja FTC (muuttui GTC:ksi 2007), jotka Nordkalk toi markkinoille. Nämä tuotteet ovat edelleen käytössä ja niitä voidaan käyttää ilman ympäristöluvitusta.

Kaikissa Suomessa valmistetuissa syvästabiloinnin sideaineissa on uusiomateriaaleja. Uusiomateriaali voi sisältyä sementtiin (esim. CEMII, CEMIII) tai sitä voi olla muissa sideaineen komponenteissa (esim. GTC, POZ, Stabi80). Tuotteistamisvaiheessa on ollut syvästabiloinnin sideaineita, joissa uusiomateriaalien osuus on jopa 100 % sideaineseoksessa (esim. Ecolan Stabi100). 2000-luvulla Suomessa on käytetty EU:n ulkopuolelta tuotua kalkkisementtiä, jossa sementti on CEMI-laatua ja joka ei sisällä uusiomateriaaleja.

Ruoppausmassojen massastabiloinnissa käytetään yleisesti uusiosideaineita hankekohtaisesti ympäristöluvitettuna. Useimmiten kyseiset sideaineet ovat sisältäneet lentotuhkaa ja joissakin tapauksissa rikinpoiston lopputuotetta tai palavan kiven polton tuhkaa. Myös jätteenpolton pohjakuonaa on käytetty ruoppausmassojen stabilointiin.

Stabiloinnissa käytetyt sideaineseokset ja sideaineiden aineet voidaan jakaa tuotteistettuihin tuotteisiin ja jätetuotteisiin, joita käytetään stabiloinnissa. Sideaineilta vaaditaan käyttöön tasalaatuisuutta ja tutkittua vaikutusta ympäristöön. Tuotteeksi viedyllä tuotteella on määritetty sisältö ja sisällön vaihteluväli, jolloin sen ympäristövaikutuksista voidaan yleistää suuremmin. Jätetuotteella stabilointi on luvanvaraista toimintaa, joka voi vaatia soveltavuuden arvioimista aina tapauskohtaisesti. (Aluehallintovirasto 2021).

#### **3.2 Stabiloinnissa käytetyt sideaineet**

Stabiloinnissa käytetään useita sideaineita ja niistä muodostettavia sideaineseoksia. Sideaineiden alkuperä ja valmistusmenetelmät vaihtelevat monin tavoin. Sideaineseokset reagoivat veden ja maa-aineksen kanssa. Sideaineet sisältävät kemiallista epäpuhtautta, jonka seurauksena maassa tapahtuu

pääreaktioiden lisäksi myös sivureaktioita, jotka riippuvat maa-aineksen kemiallisesta koostumuksesta (Åhnberg 2005).

### 3.2.1 Sideaineiden komponentit

#### **Sementti**

Sementti on rakennusteollisuudessa yleisesti käytetty rakennusaine. Sementti koostuu pääasiallisesti kalkkikivistä, sekä pii-, rauta- ja alumiinioksideista. Sementin aineita saadaan teollisuuden sivutuotteina ja louhinnasta. Sementti valmistetaan yhdistämällä eri aineet ja jauhamalla hienoksi jauheeksi. Jauhamisen jälkeen seos poltetaan ja jäähdytetään, jonka jälkeen seos vielä jauhetaan uudemman kerran. Sementeistä yleisin on Portlandin sementti. (Betonitieto 2022) Sementit voivat olla myös niin kutsuttuja seos-sementtejä, joissa on perinteisten sementtiainesten lisäksi muita seososia. Seososia voi olla esimerkiksi kipsi, jota on lisätty mm. CEM II sementtiin.

#### **Kalkki**

Stabiloinnissa käytetty kalkki on yleisesti poltettua kalkkia, joka esiintyy CaO molekyyli muodossa. Stabiloinnissa voidaan myös käyttää sammutettua kalkkia (Ca(OH)<sub>2</sub>). (Liikennevirasto 2018).

#### **Kipsi**

Kipsi on yleinen rakennusmateriaali, jota käytetään stabiloinninsideaine-seoksissa. Kipsiä syntyy teollisuuden sivutuotteena esimerkiksi hiilivoimaloiden prosesseista ja fosforihapon tuotannossa. (Harju 2017). Hiilivoimaloissa muodostuva kipsi on rikinpoiston lopputuotetta. Kipsi on kemialliselta koostumukseltaan kalsiumsulfaatti (CaSO<sub>4</sub>).

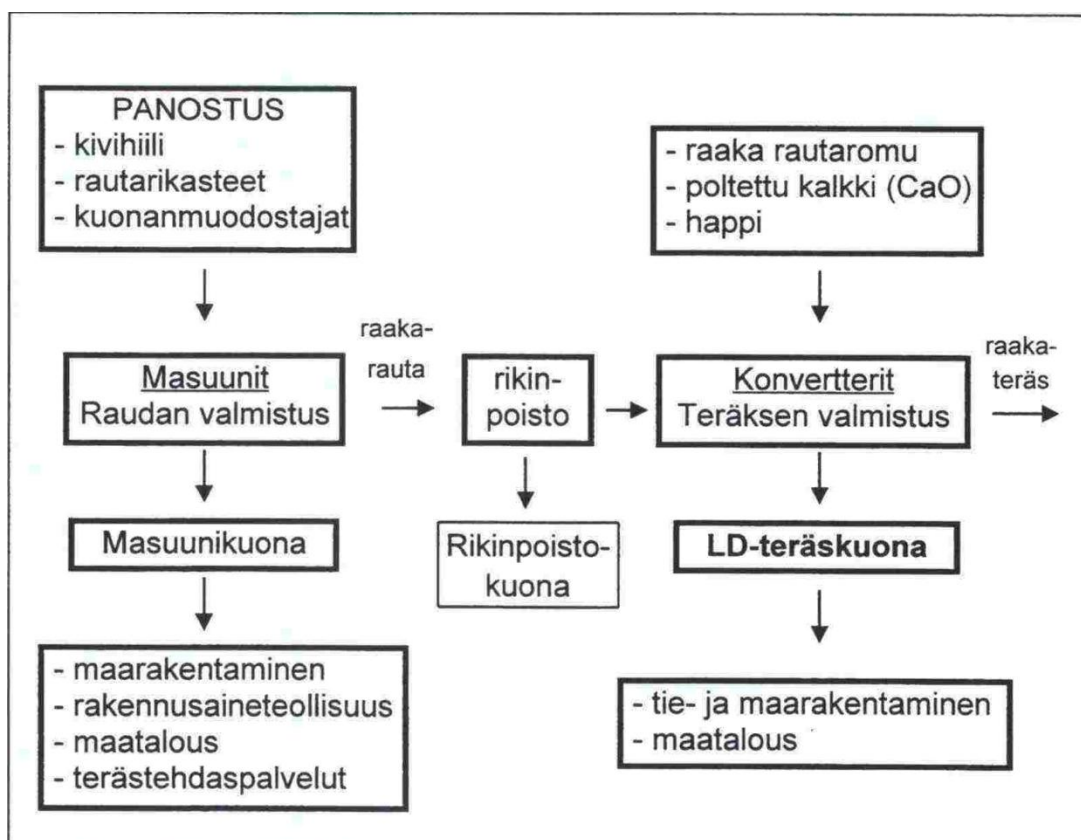
#### **Lentotuhka**

Lentotuhkat ovat eri teollisuuden polttouuneissa syntyvää uusiomateriaalia. Lentotuhka on polttamisesta syntyvästä savukaasusta erotettava tuhka-aine. (Kiviniemi ym. 2012). Lentotuhkaa muodostuu muun muassa kivihiilen, turpeen, puiden ja hakkutähteiden sekä biolietteiden poltossa. Lentotuhkan koostumus vaihtelee sen mukaan, minkä poltosta tuhkaa on syntynyt. Esimerkiksi kivihiilen poltosta syntyneessä lentotuhkassa pääkomponentit ovat pii, alumiini ja rauta. Puumateriaalin poltosta syntyneiden lentotuhkien suurin yksittäinen aines on kaliumoksidi. Lentotuhkissa esiintyy myös muun muassa magnesium-, kalium-, ja natriumoksideja, sekä palamatonta hiiltä ja raskasmetalleja. Lentotuhkia voidaan hyödyntää stabiloinnissa niiden lujitusominaisuuksien vuoksi. (Korpijärvi ym. 2009).

#### **Kuonat**

Kuonat ovat metalliteollisuudessa syntyviä sivuvirtoja. Kuonia on erityyppisiä kuten masuunikuona, rikinpoistokuona ja LD-teräskuona. Eri kuonat

syntyvät metallien kuten teräksen valmistuksen yhteydessä, kun valmistuksen yhteydessä ei haluttu metallisuus ja epäpuhtaudet poistetaan. Masuuni- ja LD-teräskuona koostuvat pääosin pii-, kalsium-, magnesium- ja alumiinioksideista. Kuonat ovat emäksisiä pH-arvon ollessa 12 luokkaa vaihdellen kuonatyypistä. (Mäkikyrö 1996). Kuvassa 3.1 on esitetty eri kuonien valmistuskaavio teräksen valmistuksessa.



Kuva 3.1: Kuonien valmistus (Mäkikyrö 1996).

### Sideaineiden kemialliset koostumukset

Sideaineiden koostumuksissa esiintyy vaihtelua liittyen niiden valmistusprosesseihin. Taulukossa 3.2 on esitetty eri lähteistä koottuja sideaineseoksien aineiden kemiallisia koostumuksia.

Sementit luokitellaan CEM-I–III mukaisiin luokituksiin. CEM-luokkien välisenä erona on muun muassa niiden uusiomateriaalisällön määrä. Esimerkiksi Finnsementin sementtiseoksista CEM I sisältää maksimissaan 5 % kalkkikiveä seoksessa. CEM II sisältää 6–20 % kalkkikiveä, sekä 6–25 % masuunikuonaa ja CEM III 40–46 masuunikuonaa. (Finnsementti 2022). Sementin nimeämisperusteet ovat samansuuntaiset myös muilla sementin toimittajilla.

**Taulukko 3.1:** Eräiden sideaineiden kemiallinen koostumus.

	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	K <sub>2</sub> O %	Na <sub>2</sub> O %	SO <sub>3</sub> %
Kalkki <sup>1</sup>	93,0	1,4	0,6	0,3	1,0	<0,1	<0,1	<0,1
Kuona <sup>1</sup>	32,1	35,2	13,6	0,2	16,8	0,6	0,6	1,8
Lentotuhka <sub>1</sub>	5,9	54,4	30,5	5,5	1,8	1,2	0,5	0,5
Masuuni- kuona <sup>2</sup>	37,2	35,5	8,5	0,43 <sup>a</sup>	11,4	-	-	-
LD-Teräs- kuona <sup>2</sup>	51,8	14,8	2,3	11,8 <sup>a</sup>	1,8	-	-	-
CEM I <sup>3</sup>	63– 65	20– 22	4,7– 5,1	3,2– 3,4	2,7– 3,2	-	-	-
CEM II <sup>3</sup>	63– 65	20– 22	4,0– 5,4	2,8– 3,2	2,5– 3,2	-	-	-
CEM III <sup>3</sup>	63– 65	20– 22	4,0– 5,4	2,8– 3,3	2,5– 3,2	-	-	-

1) Åhnberg &amp; Johansson 2005.

a) Kokonaisrautapitoisuus

2) Mäkikyrö 1996

3) Finnsementti 2022

**3.2.2 Sideaineiden reaktiot**

Stabiloinnissa käytetään yleisesti Portlandin sementtiä, joka reagoi hydrataatioreaktiona, sekä osittain potsolaanisena reaktiona. Hydrataatioreaktioita tarkasteltaessa yleisesti lyhennetään pääreaktioiden molekyylit taulukon 3.2 esittämällä tavalla.

**Taulukko 3.2:** Portland sementin faasit. (Virola & Raivio 2000).

Faasi	mineraali	Kemiallinen kaava	Lyhenne	Osuus
aliitti	trikalsium-silikaatti	3 CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	50–70 %
beliitti	dikalsium-silikaatti	2 CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	15–30 %
aluminaatti	trikalsium-aluminaatti	3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	5–10 %
ferriitti	tetrakalsium-aluminaatti-ferriitti	4 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	5–15 %

Selitteet: A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>    C = CaO    F = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>    N = Na<sub>2</sub>O    t = tri  
H = H<sub>2</sub>O    K = K<sub>2</sub>O    m = mono    S = SiO<sub>2</sub>

Hydrataation eri vaiheet voidaan jakaa eri tavoilla. Seuraavaksi esittelen hydrataation eteneminen kolmessa vaiheessa, joita ovat: varhais-, keski- ja myöhäsvaihe. Kappaleiden alussa olevat pienet kirjaimet osoittavat reaktion etenemisen kuvan 3.2 esittämällä tavalla. Näiden reaktiovaiheiden aikana reaktionopeus ja reagoivat aineet vaihtelevat. Esitetyt reaktiot kuvaavat Portlandin sementin pääaineiden reaktiota ja ei ota huomioon seosaineen epäpuhtauksia. Vaiheiden edessä olevat kirjaimet a-f viittaavat kuvaa 3.2

### **Varhaisvaihe – (0–3 h),**

a. Reaktion ensimmäinen vaihe on nopea ja nostaa pH tasoa, sekä vapauttaa lämpöä ympäristöön. Maaperään lisätyistä klinkkereistä alkaa liueta nopeasti ioneja nestefaasiin. Ensimmäisenä liukenevat  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ -ionit, sekä kalsiumsulfaatti ( $\text{CaSO}_4$ ), joka liukenee edelleen muodossa  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{SO}_4^{2-}$ . Tätä liukenemistä tapahtuu, kunnes vesi on täysin kyllästynyt, eikä kykene muodostamaan uusia sidoksia liuenneiden yhdisteiden kanssa. (Virola & Raivio 2000).

b. Aliitista (Tri-kalsiumsilikaatti /  $\text{C}_3\text{S}$ ) liukenee osa  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{OH}^-$  ioneista, pitäen silikaatit ja faasirakenteensa ennallaan. Liuenneiden osien kohdalle saostuu C-S-H-faasikerros. Samalla ympäröivän nesteen  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{OH}^-$  konsentraatio kasvaa. Liuetessaan aliitti ei vaihda faasia vaan pysyy partikkelimuodossa, jonka pintaan saostuu tyyppin 1 C-S-H faasikerros. Tyyppin 1 C-S-H faasikerros ilmenee kuitumaisena kalvona. Aliitin kokonaismäärästä noin 2–10 % osuus muodostaa reaktiotuotteena tyyppin 1 C-S-H faasia. (Virola & Raivio 2000). Tyyppin 1 C-S-H faasi on esitetty kuvassa 3.2.C.

c. Aluminaatti (Tri-kalsiumaluminaatti /  $\text{C}_3\text{A}$ ) ja ferriitti (tetra-kalsiumaluminaattiferriitti /  $\text{C}_4\text{AF}$ ) liukenevat ja reagoivat  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{SO}_4^{2-}$  ionien kanssa muodostaen piikkimäistä ettringiittiä (Aft-faasi) partikkeleiden ympärille. Aft-faasi on esitetty kuvassa 3.2.B Reagoiva osuus aluminaatista vaihtelee 7–25 % välillä. Reagoivan osuutta nostaa liuenneiden  $\text{K}^+$ -ionien määrä ja pienentää  $\text{Na}^+$ - ionien määrä. Alkuvaihe kestää joitain minuutteja. Nopean kemiallisen liukenemisen jälkeen reaktionopeus hidastuu merkittävästi ja saavuttaa niin kutsutun lepovaiheen. Lepovaihe kestää joitain tunteja. (Virola & Raivio 2000).

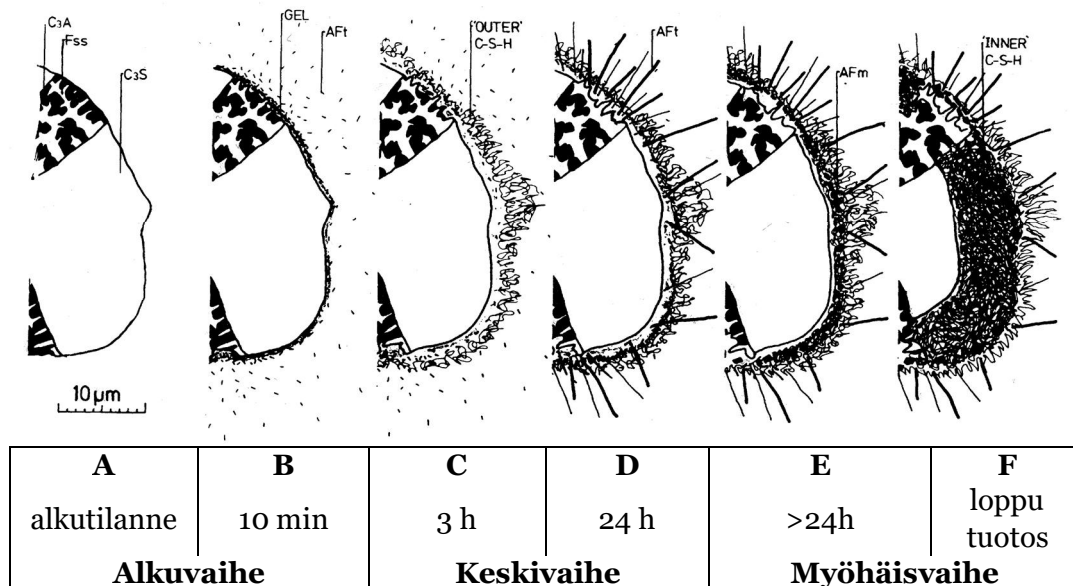
### **d ja e. Keskivaihe 3h–24h**

Reaktion keskivaiheessa reaktionopeus kasvaa taas merkittävästi ja reaktio alkaa tuottamaan lämpöenergiaa reaktion sivutuotoksena. Reaktiossa alkaa muodostua tyyppin 2 C-S-H:ta, joka on rakenteeltaan kennomaista tai verkomaista. Tyyppin 2 C-S-H muodostuu sauvamaisten Aft-faasien ympärille muodostuvaa kiderakennetta. Keskivaiheen päätteeksi reaktionopeus kiihtyy ja Aft-faasin muodostus jatkuu suuremmassa mittakaavassa kuin aiemmin

muodostaen selkeästi suurempaa piikkimäistä rakennetta C-S-H faasin läpi. AFt-faasin esiintyminen on esitetty kuvassa 3.2.d.

#### f. Myöhäisvaihe

Reaktion myöhäisvaiheessa reaktionopeus alkaa taas hidastumaan, kun muodostuvasta kehästä tulee tiheämpi ja aliitia muodostuu C-S-H-faasin kehän sisäpuolelle. Muodostuneen C-S-H-faasin määrä kasvaa merkittävästi ja muodostuvan faasin rakenne tihenee. Myöhäisvaiheessa aluminaatti muodostaa AFt-faasia käyttäen systeemin sulfaattia pienentäen sen määrää merkittävästi. Kun AFt-faasia on muodostunut riittävästi alkaa aluminaatti myös reagoimaan muodostuneen AFt-faasin kanssa muodostaen AFm-faasia, joka esiintyy kidemuodossa (Virola & Raivio 200).



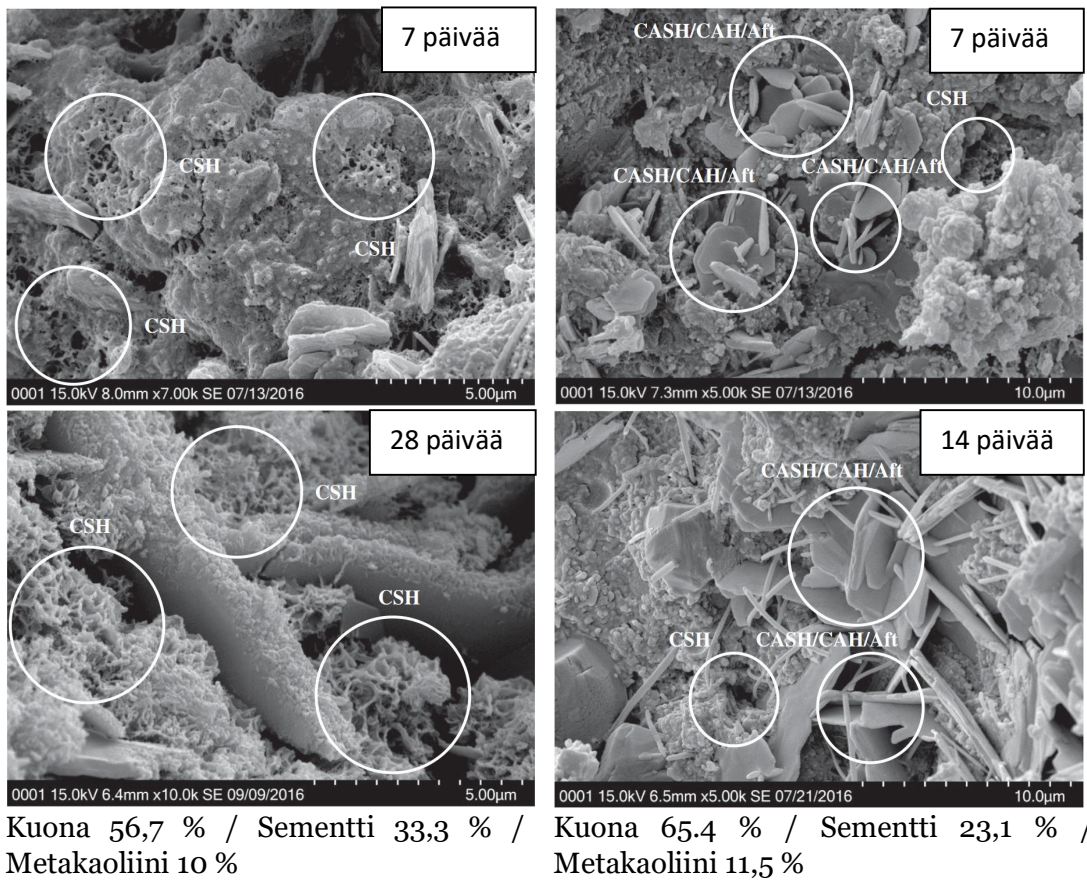
**Kuva 3.2:** Hydrataation vaiheet ensimmäisten tuntien aikana. (Virola & Raivio 2000).

Aineita, jota sisältävät pääasiassa silikaatteja ja aluminaatteja kutsutaan potsolaaneiksi ja näiden reaktioita potsolaanireaktioiksi. Potsolaanireaktioissa aineet sementoituvat hydrataation tavoin yhdistäen potsolaanin, veden ja luonnollisen maa-aineksen, kasvattaen luonnon maa-aineksen kestävyttä. (Mertens ym. 2008). Stabiloinnissa käytettäviä potsolaaneja ovat muun muassa: kipsi (Virola & Raivio 2000), lentotuhka (Horpibulsuk ym. 2009) ja eri tyyppiset kuonat (Mertens ym. 2008). Aluminaatit toimivat hydrataatioreaktioissa korvaten  $Si^{4+}$  ionit C-S-H rakenteen ulkokuorella tai molekyylin ytimessä. Alumiinin määrän kasvaessa voi muodostua C-S-H tyyppin sijaan kahta eri tyyppistä reaktiotuotetta: C-(A)-S-H ja C-A-S-H. Reaktiotuotteen muodostumiseen vaikuttaa alumiinin ja piin, sekä kalsiumin ja piin välinen suhdeluku. Alumiinin määrän ollessa piin määrästä alle 10 % toimii Alumiini C-S-H rakenteen epäpuhtaana osana korvaten piin ja muodostaen C-(A)-S-

H yhdistettä. Suhdeluku noustessa yli 10 %, alkaa muodostua lisäksi erillistä C-A-S-H yhdistettä. C-A-S-H on yhdisteistä pidempi ja ketjumaisempi, ja siinä alumiini toimii molekyylin sidoselementtinä. Korkeamman alumiinipitoisuuden näytteissä havaittiin stabiilien funktioiden muodostumista kuuteen kuukauteen asti, kun taas C-S-H näytteissä vastaavaa havaittiin kolmeen kuukauteen asti. (L'Hopital ym. 2015).

Reagoidakseen osa sideaineista tarvitsee aktivaattoria. Aktivaattori nopeuttavat reaktioita ja parantavat lopullista puristuskestävyyttä. Aktivaattorien tehtävä on nostaa systeemin lämpöä, sekä pH-tasapainoa mahdollistaen muiden reaktiotuotteiden reaktion. Aktivaattoreina käytetään esimerkiksi lentotuhkalle natriumsulfaattia ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ja kalsiumkloridia  $\text{CaCl}_2$ . (Shi & Day 2000).

Eri sidokset voi erottaa niiden ulkomuodon perusteella. Kuvassa 3.3 on esitettyinä kahden eri sidosaineen reaktiotuotteita SE-mikroskoopilla kuvattuna. Kuvatut sideaineseokset eivät ole käytössä olevia seoksia vaan laboratoriotutkimuksessa käytettyjä seoksia. Kuvan 3.3 vasemman puoleiset kuvat näyttävät kalsiumsilikaattihydraatin (C-S-H) muuttumisen tyyppin 1 geelimäisestä morfologiasta tyyppin 2 kennostomaisempaan morfologiaan. Kuvan 3.3 oikeanpuoleisissa kuvissa on esitetty potsolaanisia reaktiotuotteita. Potsolaanisten reaktiotuotteiden alumiinia ja rautaa sisältävät reaktiotuotteet erottuvat selkeästi kulmikkaina ja sauvamaisina.



**Kuva 3.3:** Kahden eri sideaineen mikroskooppikuvat 7, 14 ja 28 päivän lujittumisen jälkeen. (Yong-Feng ym. 2017).



## 4 Syvästabiloinnin ympäristövaikutukset

Syvästabiloinnin ympäristövaikutuksia tarkastellaan paikallisesti sekä ilmastovaikutusten osalta. Kasvihuonekaasupäästöjen osalta vaikutukset ovat globaaleja, kun taas aineiden kulkeutuminen on pääasiallisesti paikallista. Tässä luvussa esitellään aluksi syvästabiloinnin vaikutuksia lyhyesti globaalilla tasolla. Globaalit vaikutukset ovat perusteena eri sideaineiden käyttämiselle ja niiden käytön edistämiseksi. Näin myös globaalien vaikutusten esittely tässä työssä on olennaista. Tämän jälkeen esitellään sideaineiden paikallisia vaikutuksia. Paikallisia vaikutuksiin kuuluu muun muassa sideaineiden ainesosien ei tarkoituksellinen leviäminen ympäristöön. Työssä esitellään käytettyjen aineiden leviämisen mekanismit ja kulkeutumismuodot, sekä eri aineiden pidättäytymisen maaperään. Tämän jälkeen esitellään aineiden leviämisen kannalta vaikuttavat asiat ja leviämisen arvioinnin stabiloidun kohteen elinkaaren aikana. Jotta aineiden pitoisuuksista voidaan arvioida myöhemmissä luvuissa, esitellään lopuksi veden pilaantumisen kriteeristöä ja ympäristölaatuunormeja referenssiksi.

### 4.1 Sideaineiden ympäristövaikutukset

Globaalilla tasolla ympäristövaikutukset voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäisenä ovat toiminnasta aiheutuvat päästöt, joita voidaan mitata hiilidioksidina, muina hiukkasina ja hiilidioksidi-ekvivalentti päästöinä. Toisena näkökulmana on luonnonvarojen määrä ja tehokas hyötykäyttö, joka esittää omana osanaan tarkastelun tulokulmana tutkimuskentällä. Luonnonvarojen tehokas käyttö voi useassa kohtaa johtaa myös päästöjen kannalta suotuisaan kehityssuuntaan.

Suomella on tavoite olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Yhtenä keinona tavoitteen saavuttamiseksi on määritetty päästöjen vähentäminen rakentamisen sektorilla, nojautuen sektorilla ympäristöystävälliseen kiertotalouteen. (Hallitusohjelma 2019). Viime vuosina on kehitetty vaihtoehtoisia sideaineita, joita on käytetty lähinnä kustannussyistä, mutta ilmastotavoitteiden merkityksen kasvaessa ovat myös vaihtoehtoiset sideaineet nostaneet kiinnostusta myös vähäpäästöisinä materiaaleina (Larssen 2021. s. 1229).

Syvästabiloinnin ympäristövaikutuksia voidaan tarkastella myös eri mittakaavassa ja eri tavoin. Yksi tavoista on EIMI-arviointijärjestelmän tapa, jossa jaetaan vaikutukset globaaleihin, alueellisiin ja paikallisiin vaikutuksiin. (Korkiala-Tanttu ym. 2006). EIMI-arviointijärjestelmä on kattava, jonka vuoksi sen käyttö voi olla haastavaa. Tämän vuoksi käytetään yleisesti vain osia tästä järjestelmästä.

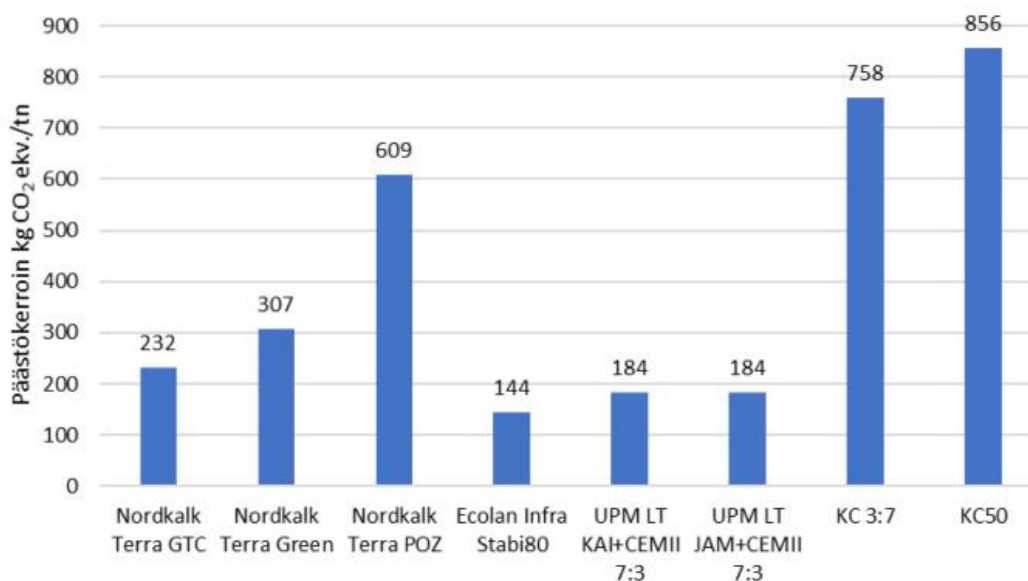
Laskentaperusteet eri sideaineiden käytön väliltä vaihtelevat suuresti ottaen huomioon valmistukseen liittyvät päästöt, sekä sideaineen kuljetuksen

valmistuspaikalta käyttöpaikalle. Käyttöpaikasta riippumattomaksi tietolähteeksi on kehitetty Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) tietokanta. Tämä tietokanta kattaa sideaineiden valmistuksen päästöt, ja se on tarkoitettu käytettäväksi rajapintapalveluna. Tietokantaa voidaan yhdistää eri tyyppisiin ohjelmistoihin ja käyttää suunnittelun, sekä laskennan apuna. Taulukossa 4.1 on esitetty SYKE:en CO<sub>2</sub> tietokannan sideaineiden päästökertoimet.

**Taulukko 4.1:** Eri stabilointisideaineiden päästökertoimia. (SYKE 2022).

Stabilointiaine	Päästöarvo kg CO <sub>2</sub> e /kg
kalkki-sementti, KC50	1,1
kalkki-sementti, KC30	0,95
kalkki-sementti - sivutuotteita, POZ	0,73
kalkki-sementti-kipsi	0,29

Nguyen (2021) esitti tutkimuksessaan laskennan eri sideaineiden päästöistä, ottaen huomioon niiden valmistuksen ja kuljetuksen kohteeseen Helsingin Kuninkaantammeen. Nguyenin esittämissä laskelmissa eniten päästävän ja vähiten päästävän sideaineen ero oli lähes kuusinkertainen (5,94). Nguyenin esittämien sideaineiden päästökertoimissa on tapahtunut muutosta julkaisun jälkeen. Sideaineiden päästöt on esitetty kuvassa 4.1.



**Kuva 4.1:** Syvästabiloinnin päästökertoimien vertailu. (Nguyen 2021).

## 4.2 Aineiden kulkeutuminen maaperässä

### 4.2.1 Aineiden kulkeutumisen mekanismit

Eri aineet maaperässä voivat kulkeutua maaperässä eri faaseina. Kulkeutuminen voi tapahtua, kun aine on liennut veteen, huokosilmaan tai kulkeutunut omana nestemäisenä faasinaan eli NAPL (Non-aqueous phase liquid). (Heikkinen 2000). Seuraavaksi esiteltävä aineiden kulkeutuminen on esitetty yleisesti ja kaikki tässä esitetyt kulkeutumismuodot eivät liity pilaristabilointiin tai sen sideaineisiin.

#### **Veteen liuenneena**

Näistä kulkeutumisen tavoista merkittävin tapa aineiden kulkeutumiseen on veteen liuenneena. Liuenneiden aineiden vaikutukset havaitaan yleisesti pitkään varsinaisen haitan tapahtumisen jälkeen. Haittojen hitaan havaitsemisen takia on tärkeitä tietää mitkä ovat mahdolliset haitat ympäristölle. (Eskola & Mroueh 1998. s. 52). Tästä syystä aineiden kulkeutumiseen vaikuttaa merkittävästi maaperän vedenjohtavuus ja kerrosrakenteet. (Heikkinen 2000).

Eri aineet voivat kulkeutua maaperässä veden vaikutuksesta myös keskimääräistä vedenvirtausta nopeammin. Tätä nopeampaa virtausta kutsutaan dispersioksi, joka voidaan edelleen jakaa mekaaniseen dispersioon ja diffuusiioon (Heikkinen 2000). Dispersion vaikutuksena aineet leviävät laajemmalle alueelle, mutta samalla sama ainemäärä jakautuu suurempaan määrään vettä, alentaen sen konsentraatiota (Kuusela-Lahtinen ym. 2010. s. 38). Dispersio ei ole stabiili mitattava asia, vaan sen arvioimiseen vaikuttaa mittakaava, jossa sitä tarkastellaan (Domenico & Schwartz 1997; Andersson & Woessner 1992).

Mekaanista dispersiota tapahtuu maaperään vaikuttavan voiman seurauksena. Kun maaperään kohdennetaan kuormitusta, kuten rakennuksen, tien tai muun rakennelman painoa, aiheuttaa se huokosveden paineen kohoaamista maakerroksessa. Tämä ylimääräinen vedenpaine pyrkii tasoittumaan ja näin nostattaa paikallisesti veden virtausnopeutta maaperässä. (Helenlund 1979).

Diffuusio on kemiallinen reaktio, jossa aineen suuri konsentraatio tasoittuu kohti pienempää konsentraatiota. Tämä diffuusion vaikutuksesta tapahtuva nesteen tai kaasun liikkuminen tapahtuu veden liikkumisesta huolimatta (SGY 2008). Diffuusio tapahtuu aineenpitoisuusgradientin suuntaan ja sen suuruuden osoittamalla nopeudella. Näin diffuusiota tapahtuu muuttuvalla

nopeudella jokaiseen suuntaan, myös vedenvirtausta vastaan. (Kuusela-Lah-  
tinen ym. 2010).

Diffuusion suuruutta kuvaa Fickian malli, ja suuruutta Fickian laki esitettyinä  
kaavassa 3.

$$J = - D_d \cdot n \cdot \text{grad}(C) \quad (3)$$

J	Diffuusio, moolia / pinta-ala · aika
$D_d$	Diffuusiokerroin pinta-ala / aika
n	huokoisuus -
grad(C)	konsentraatio gradientti grad(moolia / tilavuus)

Diffuusiokerroimet ovat suuruudeltaan luokkaa  $5-20 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$  yleisillä  
mitattavilla metalli-ioneilla  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  asteisessa vedessä. (Domenico & Schwartz  
1997. s. 219).

**Taulukko 4.2:** Aineen kulkeutuminen veteen liuenneena.

Advektio		Keskimääräinen virtausnopeus
Dispersio		Keskimääräistä nopeampi virtausnopeus
Mekaaninen Dispersio	Diffuusio	

### Kiinteänä

Alkuaineet, molekyylit, orgaaniset aineet, sekä muut vedessä esiintyvät ai-  
neet voivat kasaantua ja muodostaa kolloidin. Kolloidi on kiinteä partikkeli,  
joka on kokoluokaltaan  $100-1000 \text{ nm}$ . Kolloidin osat kiinnittyvät toisiinsa  
van der Waals-voimien avulla. Van der Waals-voimat ovat heikkoja elektro-  
staattisia voimia, jotka vetävät polarisoituneet komponentit yhteen. Heikko-  
jen van der Waals sidosten vuoksi kolloidin koko määräytyy kolloidin stabiili-  
liudesta. Stabiilius on taasen vahvasti pH-tasosta riippuvainen. Esimerkiksi  
raudan ferrioksidi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) on stabiilein pH välillä  $6,5-7,6$ . Tällä pH välillä  
ferrioksidin koko on suurimmillaan  $900 \text{ nm}$  halkaisijaltaan noin pH-tasossa  
 $7$ , muuten kolloidin koko on noin  $150 \text{ nm}$  pH-arvojen  $3-6$  välillä sekä,  $180$   
 $\text{nm}$  pH-arvojen ollessa  $7,6-11$ . (Domenico & Schwartz 1997. s. 282–285)

#### 4.2.2 Kulkeutumista estävät ja hidastavat mekanismit

Aineiden kulkeutuminen tapahtuu pääsääntöisesti veteen liuenneena, joten  
vedenjohtavuus on kulkeutumisen kannalta merkittävä tarkasteltava para-  
metri. Vedenjohtavuuden ollessa pieni maaperässä olevat aineet eivät pääse  
kulkeutumaan, ja pääasiallinen liikkuminen tapahtuu diffuusion vaikutuk-  
sesta. (Esim. Kuusela-Lahtinen & Vahanne 2005). Vedessä olevat positiivi-  
sesti varatut raskasmetallit voivat pidättäytyä, eli muodostaa maaperän

kanssa sidoksen. Aineet pidättäytyvät maa-aineksen pintaan, josta johtuen pidättäytymistä tapahtuu enemmän maa-aineksissa, joissa on enemmän pinta-alaa. Maa-aineksen pinta-ala suurenee maa-ainesten partikkelien pienentyessä. Pidättäytyminen on saville tyypillinen ominaisuus. Maalajeissa pidättäytymisen teho heikkenee suuremmissa raekoissa, esimerkiksi siltissä pidättäytymistä yhä tapahtuu, mutta hiekoissa ja tätä karkeammassa maala-jeissa ei tapahdu. Humus pidättää tehokkaasti kationeita ja siksi korkea humuspitoisuus lisää kationien pidättämispotentiaalia maassa. (Heikkinen 2000).

Rauta- ja alumiini-ionit esiintyvät hapellisissa olosuhteissa vahvasti positiivisina yhdisteinä ( $Fe^{3+}$  ja  $Al^{3+}$ ), mikä sitoo ne vankasti maaperään. Myös muut metallit voivat näin saostua maa-aineksen pintaan. Pohjaveden pinnan korkeus vaikuttaa hapetus-pelkistys kykyyn. Pelkistysreaktiota edistää hidas pohjaveden virtausnopeus. Maa-ainekseen sitoutunut aine ei enää liiku vapaasti veden mukana. Maahan sitoutuminen on pH riippuvaista, jonka vuoksi veden ja maan pH-taso vaikuttaa aineiden sitoutumiseen ja liikkuvuuteen. Metallit voivat myös sitoa tehokkaasti negatiivisesti varattuja haitta-aineita. (Heikkinen 2000). Taulukoissa 4.3 ja 4.3 on esitetty eräiden alkuaineiden suhteellista kulkeutumista eri pH-tasapainoissa. Taulukossa 4.4 on esitetty aineita, joiden sitoutumiseen ei pH tai maaperän olosuhteet vaikuta merkittävästi. Taulukossa 4.3 on esitettynä aineita, joiden sitoutumiseen pH vaikuttaa. Sama aine näin esiintyy useammassa kuin yhdessä sarakkeessa, ilmentäen eri liikkuvuutta. Taulukon pelkistävällä ympäristöllä tarkoitetaan pohjavesivyöhykettä, sekä vettä käytännössä läpäisemättömän maa-ainekerrosten alapuolella (Heikkinen 2000).

**Taulukko 4.4:** Maassa esiintyvien alkuaineiden pH:sta riippuva suhteellinen liikkuvuus. (Heikkinen 2000; Alkuperäinen lähde Rose ym. 1979)

<b>Suhteellinen liikkuvuus</b>	<b>Hapettava ympäristö pH &lt; 4</b>	<b>Hapettava pH 5–8</b>	<b>Pelkistävä ympäristö</b>
Erittäin liikkuva		Mo	
Kohtalaisen liikkuva	Zn, Cd, Hg, Cu, Co, Ni, U, V, As, Mn, P	Zn, U, V, As	Ba, Mn,
Heikosti liikkuva	Ba	Ba, Mn, P, Pb, Cu, Ni, Co	P, Fe
Immobiili	As, Mo, Fe	Fe	Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, U, V, Mo, Cr, Fe

**Taulukko 4.3:** Maassa esiintyvien alkuaineiden pH:sta riippumaton suhteellinen liikkuvuus. (Heikkinen 2000. muokattu; Alkuperäinen lähde Rose ym. 1979)

Erittäin liikkuva	Cl	Br	S	C	N	B
Kohtalaisen liikkuva	Na	Mg	Li	Ca		
Heikosti liikkuva	K	Si				
Immobiili	Al	Ti	Se			

#### 4.2.3 Stabilointityön aikana tapahtuva kulkeutuminen

Sideainetta voi levitä stabilointityön aikana maanpinnalle pilarin yläpäätä stabiloidessa. Tätä leviämistä voidaan rajoittaa työmenetelmillä, jossa stabilointityö tehdään työalustan päällä ja käytetään suojusta sekoittimen tangon ympärillä estäen sideaineen leviäminen maanpinnalle ja ympäristöön. Suojus ja työalusta estävät maa-aineksen roiskumisen. Sideaineen maanpintaan leviäminen työaikana voidaan myös rajoittaa suunnittelemalla pilareiden yläpäät loppumaan selvästi maanpinnan alapuolelle.

Sideaineen syöttötanko voi aikaansaada pilarin keskelle ns. keskireiän, jota pitkin veden ja sideaineen virtaus on mahdollista. Sideaineen kulkeutuminen veden mukana on mahdollista sekä valmisteilla olevan, että aiemmin tehtyä pilaria pitkin. (Liikennevirasto 2018. s. 43–44). Pilarin keskireiän muodostumiseen vaikuttaa suuresti sideaineen syöttöön käytetty ilmamäärä. Pienempää ilmamäärää käyttäen keskireikä pienenee tai sitä ei muodostu ollenkaan (Perkiö 2000. s. 86).

#### 4.2.4 Stabiloinnin lujittumisen aikana tapahtuva kulkeutuminen

Maaperään lisätyn sideaineen reagointi muodostaa lämpöä (Liikennevirasto 2018). Noussut lämpötila, aiheuttaa maaperässä desorptiota. Desorptio on maaperään sitoutuneiden aineiden liukenemista liikkuvan muotoon (Paatonen 1995). Maa-aineksesta liuenneet aineet voivat reagoida sideaineen kanssa ja tulla osaksi pilaria tai kulkeutua maassa, kunnes muodostavat uuden sidoksen maa-aineksen kanssa.

Savi muodostaa sideaineen liikkumiselle puskurikerroksen. Saven pienen vedenjohtavuuden takia vielä sitoutumattomat aineet eivät kulkeudu merkittävästi pilarien ulkoreunasta vaan jäävät muutamien senttimetrien päähän pilarin reunasta (esim. Löfroth 2005). Lisäksi savi pidättää aineita suuren vaippa-alansa vuoksi. Kaikki aines ei kuitenkaan pelkisty vaan voi myös kulkeutua ympäristössä. Savessa tapahtuva kulkeutuminen tapahtuu pääsääntöisesti diffuusiona, joka samalla pienentää merkittävästi aineen konsentraatiota. Savikerrokset eivät ole täysin homogeenisiä kerroksia ja niiden sisällä voi olla paremmin vettä johtavia kerroksia. (Kuusela-Lahtinen & Vahanne 2005). Saven ollessa homogeenistä ja sisältäessä vain vähän muita maalajeja ei aineiden leviäminen ole merkityksellistä.

#### 4.2.5 Pitkällä aikavälillä tapahtuva kulkeutuminen

Sideaineiden pitkäaikaista liukenemista veteen voidaan arvioida esimerkiksi pitkäaikaisseurannalla maastossa ja laboratoriossa suoritettavilla liukoisuustesteillä. Aikaisemmin toteutettuja pitkäaikaiskokeita ja seurantoja on esitelty luvussa 4 ja tämän työn yhteydessä toteutettu tutkimus esitellään luvuissa 6 ja 7.

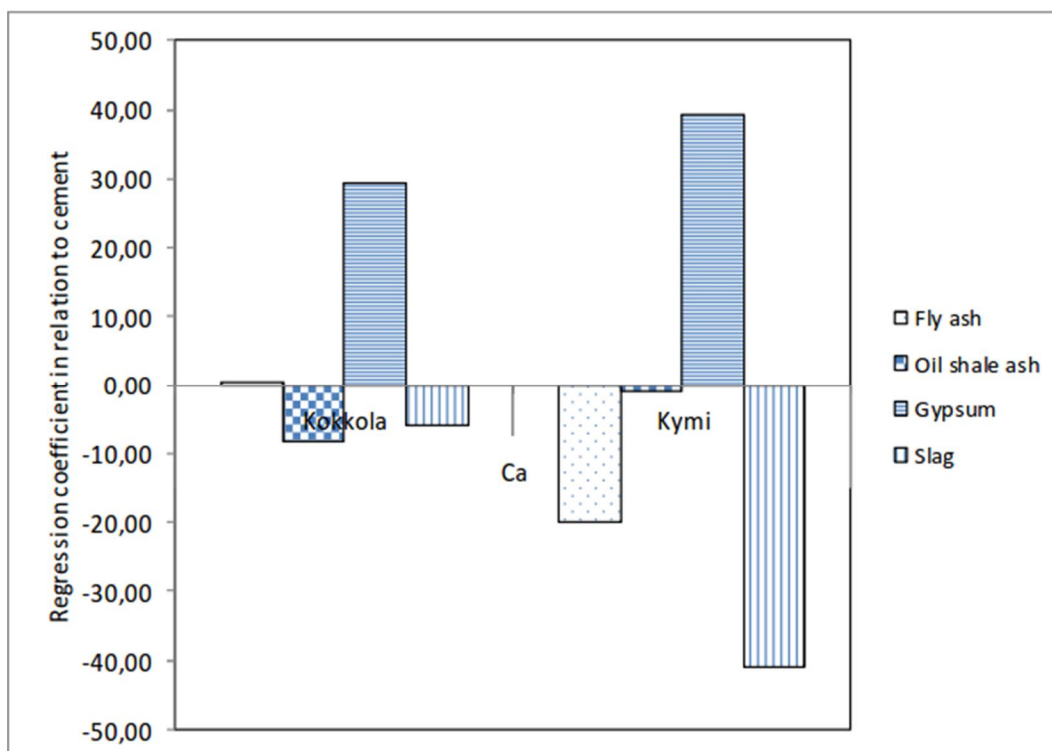
Håkansson ym. (2005) tutkivat Portlandsementin ja muiden sideaineiden pitkäaikaisdiffuusiota veteen. Tutkimuksessa sideaineita olivat poltettukalkki (L), ja masuunikuona (S), joka oli jauhettu ja rakeistettu. Stabiloitavat maa-ainekset olivat Linköpingin savea ja Löftabron savea. Linköping sijaitse Etelä-Ruotsissa lähempänä itäistä rannikkoa ja Löftabro Etelä-Ruotsissa länsirannikolla. Stabiloituneet näytteet tutkittiin Nordtest (NT ENVIR 003, 1996) ja eurokoodin EN 12457-3 mukaisella kaksivaiheisilla liukoisuuskokeilla. Håkansson ym. (2005) esittivät stabiloituneen saven eri aineiden pitkäaikaisliukenemisen olevan verrattavissa murskattuun kiveen ja moreeniin.

Kohonen ym. (2012) tutkivat stabiloitujen savien liukoisuutta. Tutkimuksen näytteet kerättiin Kokkolasta, Kymijoelta ja Gdyniasta Pohjois-Puolasta. Maa-ainekset stabiloitiin käyttäen 44 eri sideaineseosta, jotka sisälsivät sementtiä, erityyppisiä lentotuhkia, kipsiä ja kuonaa. Lentotuhkat olivat peräisin öljyluiskien, biomassojen poltontuhkia. Kipsit olivat peräisin Yara Suomen tuotantolaitokselta Siilinjärveltä. Kuonat olivat raudanvalmistuksesta syntyviä tuotteistettua KJ. K400 kuonaa. Jokaisessa seoksessa oli saman verran sementtiä ja muiden seosaineiden määrä muutettiin.

Kohonen ym. (2012) esittivät sideaineseosten, stabiloitavan maa-aineksen, lämpötilan ja pH:n vaikuttavan aineiden liukoisuuteen. Kohonen ym. esittivät sideaineiden voivan olla merkittävä lähde liukeneville aineille. Liukoisuuksia tutkittiin myös tilastollisesti. Positiivinen regressiokerroin viittaa aineen lisäävän suhteellista liukoisuutta ja negatiivinen vähentävän suhteellista liukoisuutta. Regressiokerroin kuvaa muutoksen suhteellista suuruutta, suuri kerroin viittaa suurempaan liukenevan aineen numeeriseen määrään. Kaikissa sideaineseoksissa oli yhtäläinen määrä sementtiä, jonka vuoksi regressiokertoimet kuvaavat kyseisen sideaineen suhteellista liukoisuutta verrattuna sementtiin. Esitetyt regressiokertoimet kuvaavat kohteiden savia ja sideaineseoksia ja eivät ole suoraan yleistettävissä muihin kohteisiin.

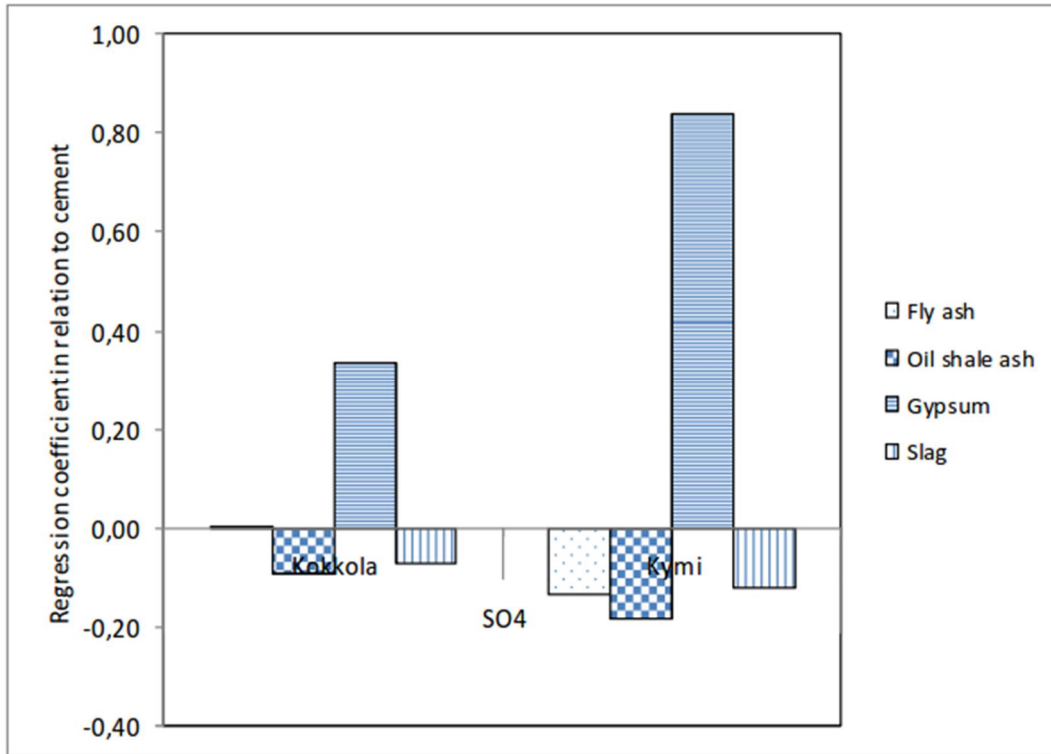
Kohonen ym. esittivät kipsin lisäävän kalsiumin liukoisuutta. Kuonan lisääminen seokseen todettiin vähentävän kalsiumin liukoisuutta testatussa stabiloituneissa näytteissä. Kuvassa 4.2 on esitetty kalsiumin liukoisuuden regressiokerroin eri sideaineille.

Kohonen ym. (2012) esittivät, että kipsin lisääminen seokseen lisää sulfaatin liukoisuutta. Sulfaatin regressiokertoimet on esitetty kuvassa 4.3. Kipsin ja lentotuhkan lisääminen sementin kanssa sideaineseokseen viittasi vähentävän nikkelin liukoisuutta pelkkään sementtiin verrattuna. Kohonen ym. esittivät nikkelin liukoisuuden liukoisuustesteissä johtuvan sementistä. Ja näin sementin vähentäminen seosaineesta vähensi nikkelin liukoisuutta. Nikkelin liukoisuuden regressiokertoimet on esitetty kuvassa 4.4.

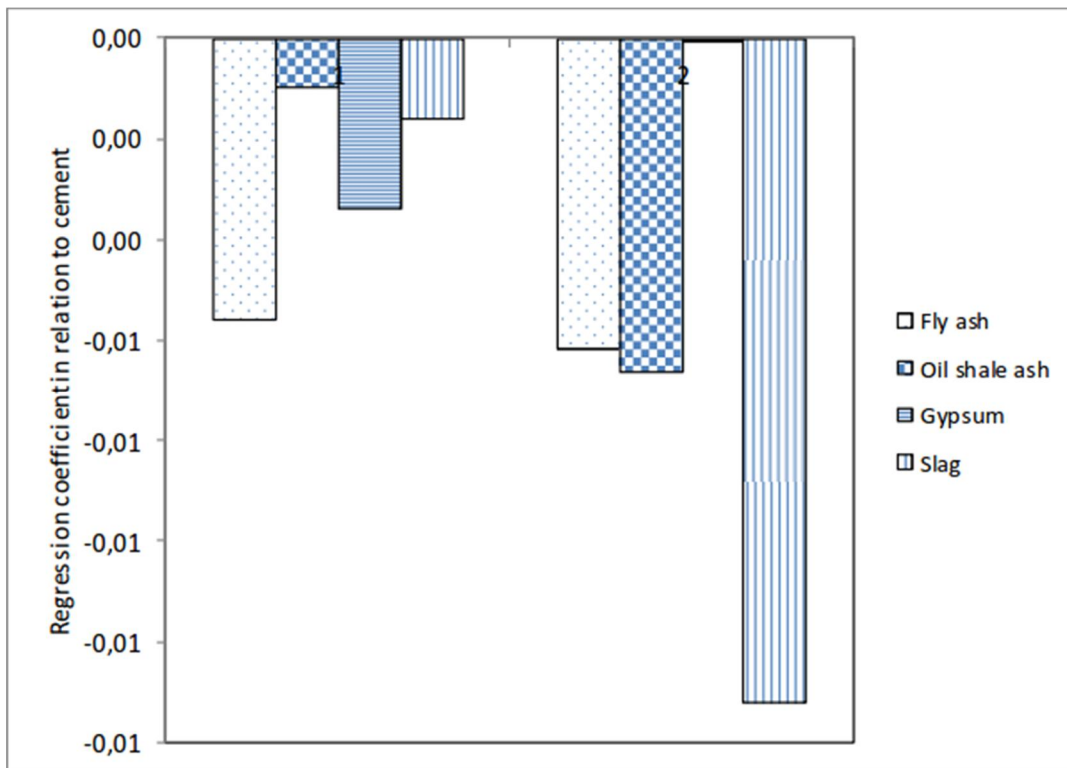


**Kuva 4.2:** Kalsiumin liukoisuuden regressiokerroin. (Kohonen ym. 2012).





Kuva 4.3: Sulfaatin liukoisuuden regressiokerroin. (Kohonen ym. 2012).



Kuva 4.4: Nikkelin liukoisuuden regressiokerroin. (Kohonen ym. 2012).

Edellä on todettu, että aineiden merkittävä kulkeutuminen pilarista edellyttää veden liikkumista ja pilarien vedenläpäisevyyttä. Baker (2000) määrittäi kentällä stabiloitujen kalkkisementtipilarin veden johtavuutta suhteessa ympäröivään saven vedenjohtavuuteen pilareista otettujen näytteiden tutkimuksilla laboratorioissa. Kohdesijainnit ovat Varberg ja Löftaan jotka sijaitsevat Lounais-Ruotsissa. Näytteet asetettiin laboratorioissa kenttäolosuhteita vastaavaan paineeseen. Stabiloitujen näytteiden vedenjohtavuudeksi määritettiin  $2 \cdot 10^{-8}$  -  $2 \cdot 10^{-9}$  m/s. Stabiloitujen näytteiden vedenjohtavuus vaihteli olleen 2–25 kertaa suurempi kuin stabiloimattoman saven. (Baker 2006. s. 135–146). Bakerin esittämät vedenjohtavuudet ovat todella pieniä, pilarit eivät ole merkittävä veden ja aineiden kulkeutumisreitti.

### 4.3 Veden pilaantumisen kriteerit

Veden pilaamisen oikeudellinen perusta rakentuu ympäristönsuojelulain (YSL 527/2014) ensimmäisestä pykälän, ensimmäinen momentin ja sen ensimmäisen kohdan mukaan:

*”Tämän lain tarkoituksena on:*

- 1) ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja;”*

YSL säättää tarkemmin toisissa pykälissä vedenlaatuun, seurantaan ja pilaamiseen kriteereitä ja eri asetukset tarkentavat YSL:ia. (527/2014). Ympäristölainsuojelulain tarkoittamaa pintavesien pilaamista tarkentaa Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (1308/2015). Pohjaveden pilaamiskielto on säädetty ympäristönsuojelulain 17 §, joka kieltää pohjaveden laadun heikentämisen niin, ettei se hengelle, terveydelle taikka ympäristön kannalta ole olennaisesti huonompi. (YSL 527/2014). Ympäristönsuojelulain tarkoittamaa pohjaveden pilaamista tarkentaa Valtionneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta (341/2009), jonka 14 c §, mukaan:

*”Pohjaveden kemiallisen tilan luokittelu*

*Pohjaveden kemiallinen tila luokitellaan, ottaen huomioon mitä 14 b §:ssä säädetään, hyväksi, jos:*

- 1) pilaavan aineen pitoisuus pohjavesimuodostumassa, lasketuna vuosikeskiarvona, ei yhdessäkään seurantapaikassa ylitä liitteessä 7A tarkoitettua ympäristölaatumormia; ja*
- 2) seurantatulosten perusteella voidaan arvioida, että liitteessä 7B tarkoitettuja, muita haittatekijöitä koskevat edellytykset täyttyvät.*

*Pohjavesimuodostuman kemiallinen tila voidaan luokitella 1 momentista riippumatta hyväksi, vaikka liitteessä 7 A tarkoitettu ympäristölaatunormi ylittyy yhdessä tai useammassa seurantapaikassa, jos:*

- 1) pilaavan aineen pitoisuus pohjavesimuodostumassa ei aiheuta merkittävää ympäristöriskiä;*
- 2) pilaavan aineen pitoisuus ei ole merkittävästi heikentänyt pohjaveden soveltuvuutta tarkoitukseen, johon sitä voitaisiin käyttää; ja*
- 3) muut 1 momentin 2 kohdassa säädetty edellytykset täyttyvät.”*

Asetuksessa esitetty liite 7 A on esitetty tämän työn liitteessä 1. Asetuksen liitteessä olevat arvot on esitetty raja-arvoina yksittäisen pisteen vuosikeskiarvolle. (341/2009). Vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo tarkoittaa, että yksittäisissä mittauksissa voi olla raja-arvon ylittävä pitoisuus, mikäli vuodessa otettujen mittausten keskiarvo alittaa raja-arvon. Pilaristabiloinnin mahdollisten vaikutusten seuranta tehdään vain poikkeustapauksissa. Seuranta ei vaadita sideaineista, joiden käyttöä on harjoitettu jo pitkään ja joiden ympäristövaikutus voidaan todeta olevan vähäinen. Seuranta tehdään käytännössä vain uusien sideaineiden käytön yhteydessä tai muutoin tutkimustarkoituksessa, kuten on tehty tämän työn yhteydessä (ks. luvut 6 ja 7).

Vedenlaatua voidaan myös tarkastella muiden normien ja asetusten mukaan. Näitä on esimerkiksi talousvesille esitetyt laatuvaatimukset ja laatusuosituksset, sekä pienten yksiköiden talousvedelle asetetut laatuvaatimukset ja laatusuosituksset. Tässä työssä tullaan viittaamaan liitteessä 1 esitettyihin pohjavettäpilaavien aineiden ympäristön laatuunormeihin, joihin viitataan työn luvussa 8.

## 5 Aiemmat tutkimukset

Tässä kappaleessa esitellään aiempia tutkimustuloksia pilaristabiloinnin, vaikutuksesta pohjaveteen ja ympäristöön. Tutkimustuloksia verratessa on oleellista huomioida alueiden erityispiirteet, jotka aikaansaavat erot mm. geologiassa, pohjavesiolosuhteissa, muussa ympäristössä, lainsäädännössä ynnä muissa. Näin ollen esimerkiksi tutkimuksissa esiintyviä pH-arvoja ei voida suoraan verrata toisiinsa ottamatta huomioon alueen veden normaalia pH-tasoa ja sen vaihtelua. Tutkimukset on jaoteltu suomalaisiin, pohjoismaisiin ja kansainvälisiin tutkimuksiin.

Pitkäaikaisseurannat sisältävät epävarmuuksia vedenvirtauksen arvioinnissa ja muiden päästölähteiden huomioimisessa. Veden virtauskanavat voivat ohittaa seurantapisteen, minkä takia tuloksissa on aina epävarmuutta. Toisaalta yksittäisestä ainepitoisuuden havainnosta ei välttämättä voida todeta sen johtuvan tietystä päästölähteestä. Tästä johtuen seurantatutkimuksissa ennen oletettua päästölähdettä otettavat referenssiarvot ovat tärkeitä, sekä useammasta pisteestä suoritettavat tutkimukset. Ennen oletettua päästölähdettä otettavat vesinäytteet voivat olla päästölähteen pohjaveden ylävirran puolelta otettuja tai ne voivat olla ennen pilaristabiloinnin toteutusta otettuja vesinäytteitä. Tässä työssä referenssinäytteet ovat ylävirran puolelta otettuja.

### 5.1 Suomalaiset tutkimukset

#### 5.1.1 Kuninkaantammi, Helsinki

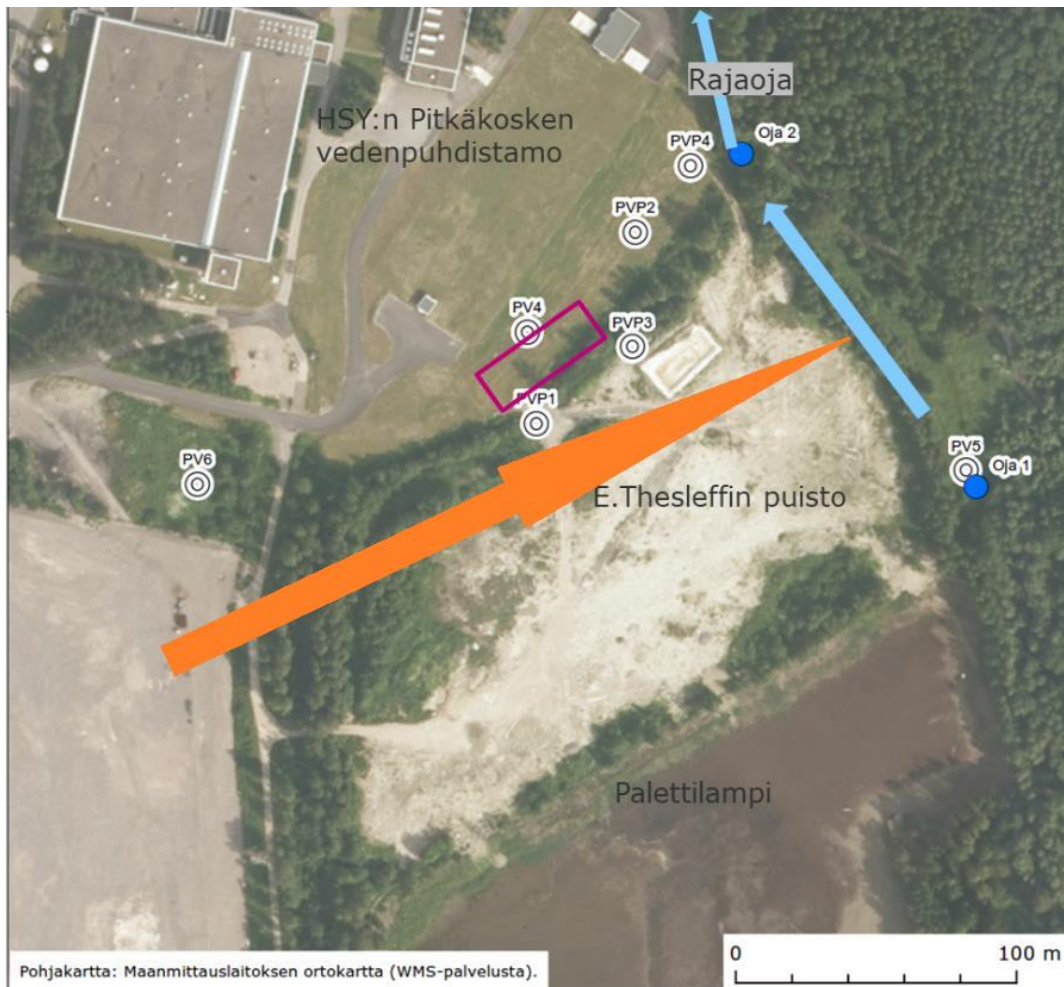
Helsingin Kuninkaantammessa on toteutettu 05/2020 pilaristabilointi, jossa käytettiin uusiosideaineita. Kohteessa on tutkittu pilareiden lujittumista ja tehty ympäristötarkkailua. Ympäristötarkkailuvelvoitteen mukaisesti on kohteeseen laadittu pohjaveden seurantaohjelma vuoteen 2022 asti. Alueella on maanpinnalle 1–1,5 metriä savitäyttöä. Savitäyttökerroksen alla on savikerros paksuudeltaan 6–8 metriä. Savikerroksen alla on karkeajakeista hiekka- ja moreenikerrosta noin. 1–2 metrin paksuisena kerroksena. Alueen stabilointiin käytettiin useampaa eri sideainetta, jotka on esitetty taulukossa 5.1. Stabilointipilarit toteutettiin siten, että ne alkoivat 0,5 metriä savikerroksen arvioidun alapinnan yläpuolelta (Ramboll 2020).

**Taulukko 5.1:** Kuninkaantammen koepilaristabiloinnissa käytetyt sideaineet (Nguyen 2021).

Sideainetoimittaja	Sideaine	Koostuvat osat	Osuus sideaineseoksessa [%]
Nordkalk Oy	Terra GTC	Sammutettu kalkki	33
		Kipsi	33
		Plusementti	33
	Terra Green	Kalkkiuunin sähkösuodin pöly	50
		Plusementti	50
	Terra POZ	Kalkkiuunin sähkösuodin pöly	33
		Poltettu, jauhettu kalkki	33
Plusementti		33	
Ecolan Oy	Stabi80	Tuhkasekoitus	80
		Rapid-sementti	20
UPM-Kymmene Oyj	LT KAI	Lentotuhka	70
		Plusementti	30
	LT JAM	Lentotuhka	70
		Plusementti	30

Stabiloinnin jälkeen pilareiden lujituttua koepilarien ympäriltä otettiin maanäytteitä, joista mitattiin pH-arvo. Pilarissa vallitsee sideaineista johtuva alkuperäistä ja pilareiden välistä savea (taustaa) korkeampi pH-arvo. Tämän korkeamman pH-arvon ei havaittu levinneen neljää senttimetriä kauemmaksi pilarin ulkoreunasta. (Reijonen 2021).

Kuninkaantammessa suoritettiin pinta- ja pohjaveden tarkkailua stabilointialueen ympäriltä koetoiminnan velvoittaman kahden vuoden ajan. Tutkimuksissa seurattiin seitsemää pohjavesiputkea, sekä pintavettä kahdesta kohtaa Rajaojaa. Eri tutkimuspisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 5.1. Kuvan 5.1 oranssi nuoli osoittaa arvioidun pohjaveden virtaussuunnan ja purpura nelikulmio koestabiloinnin sijainnin. Vedestä tutkittiin pH, redox, kloridi, fluoridi, typpi, liukoiset metallit, PAH-yhdisteet, öljyhiilivedyt, PCB:t, aromaattiset hiilivedyt, BTEX, oksygenaatit ja eetterit. Pitoisuudet testattavien aineiden osalta oli osin referenssinä pidetyissä pisteissä korkeampia verrattuna stabiloinnissa kerättyihin näytteisiin. Stabilointi suoritettiin alueella ensimmäisen pohjaveden näytteenoton jälkeen ja stabilointia kesti neljä viikkoa. Toinen näytteenotto on siis otettu noin kuukausi stabilointityön lopettamisen jälkeen. (Reijonen 2021). Taulukoissa 5.2–5.5 on esitetty aineiden pitoisuuksia mittauspisteistä. Raja-arvon ylittävät arvo on korostettu lihavoimalla.



**Kuva 5.1:** Kuninkaantammen koestabilointi, vedentarkkailupisteet, ja arvioitu pohjavedenvirtaussuunta. Veden tarkkailua tehtiin seitsemästä pohjavesiputkesta ja kahdesta pintavesipisteestä (Reijonen 2021).

Taulukossa 5.2 on esitetty pohjavesinäytteiden pH-mittausten tulokset. Mittauksista ainoastaan yksi mittaus ei sisältänyt ympäristölaatustandardien mukaiseen pH-arvon väliin 6,5–9,5. Ympäristölaatustandardin ylitti pisteessä PVP4, ensimmäinen mittauskerta. Tätä ylittävää arvoa edustava näyte on otettu ennen stabilointityön aloittamista ja on näin vertailuarvo.

Taulukossa 5.3 on esitetty pohjavesinäytteiden liukoisen kalsiumin mittausten tulokset. Kalsiumin arvoissa ei ole havaittavissa yhtenäistä kasvu- tai lasusuuntaa. Kalsiumille ei ole määritetty ympäristölaatuunormia.

Taulukossa 5.4 on esitetty pohjavesinäytteiden liukoisen arseenin mittausten tulokset. Arseenilla on määritetty ympäristölaatustandardiksi 5 µg/l, joka ylittyy useassa mittauskerrassa ja pisteessä. Kohonnut arseeni on raportin mukaan yleistä Helsingin seudun maaperissä, joka selittäisi jo ennen stabilointien aloittamista ylittävät raja-arvot.

Taulukossa 5.5 on esitetty pohjavesinäytteiden liukoisen koboltin mittausten tulokset. Koboltin mittaustuloksissa oli ainoastaan mittauspisteessä PVP1 oli tunnistusrajan ylittäviä kobolttipitoisuuksia. Pisteestä PVP1 mitattiin kasvavaa pitoisuutta ja viimeisellä mittauksella raja-arvon 2 µg/l ylittävä arvo 2,11 µg/.

**Taulukko 5.2:** Kuninkaantammen pohjavesiputkista otettujen vesinäytteiden pH arvot (Reijonen 2021).

pH -	20.4.2020	17.6.2020	25.11.2020	27.4.2021
PVP1	6,79	7,02	6,92	6,65
PVP2	7,55	7,68	7,96	8,02
PVP3	7,60	7,58	7,76	7,78
PVP4	<b>9,60</b>	-	8,04	8,16
PV4	7,40	-	7,58	7,62
PV5	7,90	8,13	8,07	7,96

**Taulukko 5.3:** Kuninkaantammen pohjavesiputkista otettujen vesinäytteiden kalsiumin liukoiset pitoisuudet (Reijonen 2021).

Ca – mg/l	20.4.2020	17.6.2020	25.11.2020	27.4.2021
PVP1	94,5	88,2	76,9	102
PVP2	78,0	65,3	47,8	42,3
PVP3	72,4	46,4	98,0	104,0
PVP4	17,1	-	46,6	43,6
PV4	61,0	-	67,7	63,2
PV5	50,7	43,7	44,3	40,8

**Taulukko 5.4:** Kuninkaantammen pohjavesiputkista otettujen vesinäytteiden arseenin liukoiset pitoisuudet (Reijonen 2021).

Arseeni - µg/l	20.4.2020	17.6.2020	25.11.2020	27.4.2021
PVP1	<b>11,6</b>	4,57	<b>10,2</b>	1,26
PVP2	<b>7,81</b>	<b>9,8</b>	<b>6,17</b>	<b>5,3</b>
PVP3	3,89	4	<b>9,14</b>	<b>10,7</b>
PVP4	2,63	-	4,83	4,39
PV4	1,58	-	<1	2,11
PV5	<b>11,6</b>	<b>18,2</b>	<b>23,5</b>	<b>20,9</b>

**Taulukko 5.5:** Kuninkaantammen pohjavesiputkista otettujen vesinäytteid<sup>n</sup> koboltin liukoiset pitoisuudet (Reijonen 2021).

Koboltti - µg/l	20.4.2020	17.6.2020	25.11.2020	27.4.2021
PVP1	0,60	0,54	0,96	<b>2,11</b>
PVP2	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
PVP3	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
PVP4	<0,50	-	<0,50	<0,50
PV4	<0,50	-	<0,50	<0,50
PV5	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

### 5.1.2 Saunalahti, Espoo

Länsi-Espoossa sijaitsevalla tontilla tehtiin syksyllä 2018 ympäristöselvitys talonrakennustyömaalla, jossa havaittiin saostuneita salaojaputkia. Selvityksen lähtökohtana oli selvittää saostumisen aiheuttaja ja sen mekanismit. Tarkastelualueena ovat tontit 42213/3 ja 42213/6, jotka on stabiloitu heinäkuussa 2017. Tarkasteltavien tonttien lisäksi tontti 4 stabiloitiin samassa yhteydessä. Tontti 5 on massastabiloitu ennen tontin rakennuksen valmistamista 2016. Stabiloinnissa sideaineena on käytetty kalkkisementtiä (50/50), sementin ollessa CEM I 42,5 N ja kalkki poltettua CaO. Yhteensä sideainetta käytettiin alueella 741 155 kg. Tonttialueiden lisäksi Magneetikatu ja Saunalahden katu on pilaristabiloitu vuosien 2013–2014 aikana (Tengvall ym. 2018).

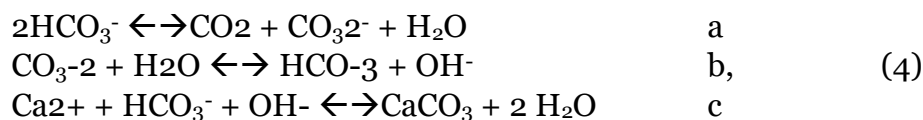
Tontit olivat luonnontilassa ennen rakentamista. Molempien tonttien kohdalla on noin 0,50 metriä paksu turvekerros. Turvekerroksen alla on savikerros, jonka paksuus vaihtelee 1–4 metrin tontilla 42213/3 ja 4–6 metriä tontilla 42213/6. Savikerros on pehmeä ja liejuinen. Savikerroksen alla on maakerros, joka sisältää silttiä, hiekkaa ja kiviä. Kitkamaakerroksen vaihtelevuuden vuoksi myös sen tiiveys vaihtelee (Tengvall ym. 2018).

Alueella suoritettiin vuonna 2018 Geotek Oy:n toimesta haitta-aineselvytys, jossa selvitettiin haitta-aineiden esiintyvyyttä. Näytteitä kerättiin viereisen tontin 42213/2 salaojasta, tontin 42213/6 pumppukaivosta, tontin 42213/3 kaivantojen pohjalle kerääntyneestä vedestä, sekä tonttien läheisyydessä olevasta pohjavesiputkesta. Mitatut kalsiumpitoisuudet vaihtelivat 23 mg/l ja 80 mg/l välillä (Tengvall ym. 2018; Geotek 2018).

Tengvall ym. (2018) esittivät salaojien sakkaantumisen ja kohonneen pH-arvon johtuvan alueen pilaristaboinnista yhdistettynä paineelliseen pohjaveeseen. Paineellinen pohjavesi virtasi hyvin lyhyitä pilareita myöten ylös kuljettaen sideainetta stabiloinnin alkuvaiheessa, kun sideaine ei ollut



lujittunut. Sideaineen kalsium reagoi maassa esiintyvien karbonaattien kanssa Whiffin (2004) esittämän kaavan 4 mukaisesti.

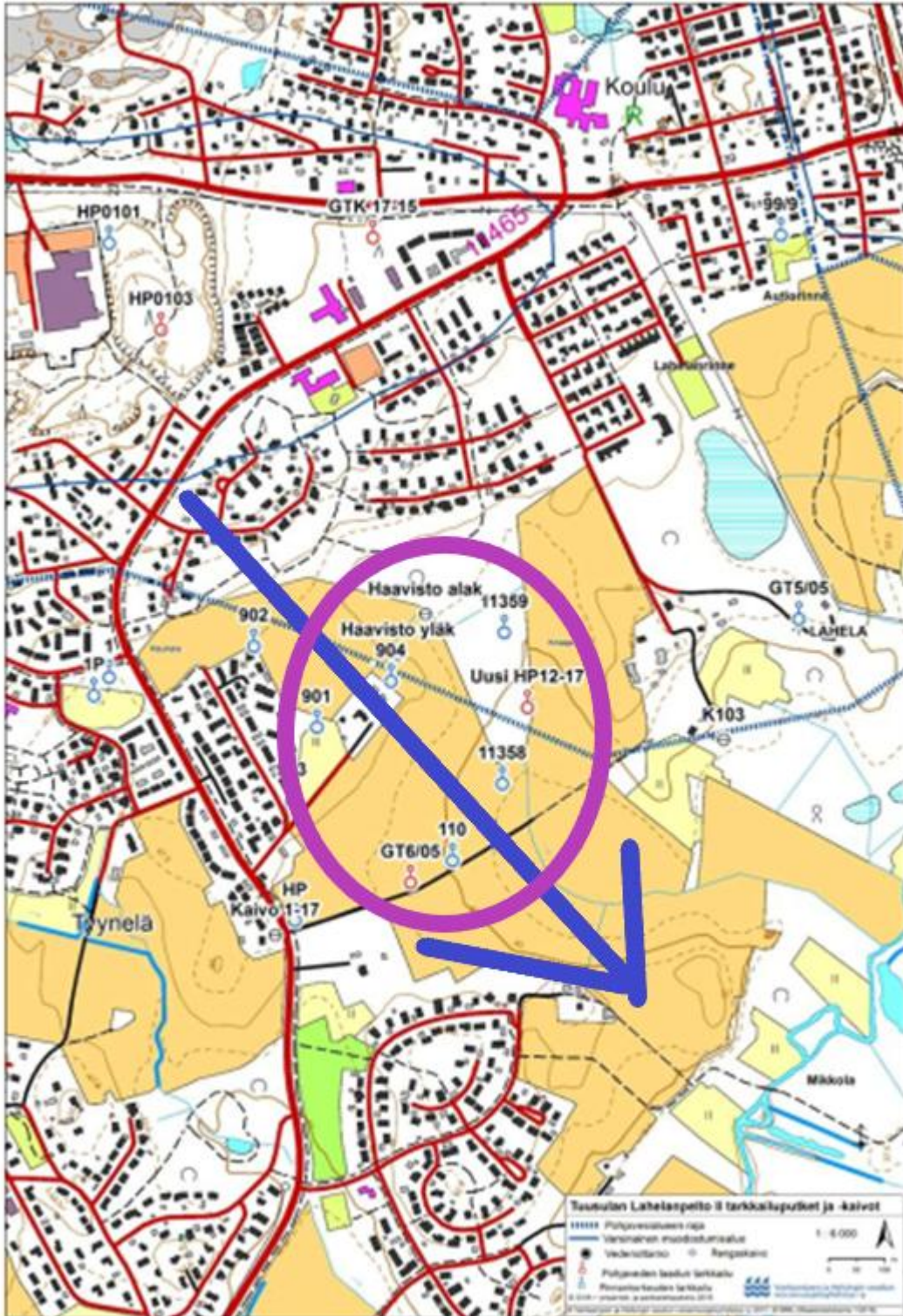


Reaktioketjun vaiheessa b, karbonaatti reagoi veden kanssa muodostaen karbonaatteja ja vapauttaen vetyionin, joka nostaa systeemin pH-arvo. Vaiheessa c kalsium muodostaa karbonaatin ja vetyoksidin hapen kanssa kalsiumkarbonaatin ja kaksi vesi molekyyliä. Tämä karbonatisoituminen selittää alueen putkistojen sakkautumisen (Tengvall ym. 2018).

### 5.1.3 Lahelanpelto, Tuusula

Lahelanpellossa heikosti kantavalla savi- ja silttialueella pilaristabiloitiin kaatalueita (kuva 5.4). Lahelanpelto sijaitsee pohjavesialueella, jonka takia alueen pohjaveden laatua ja ainepitoisuuksia tarkkailtiin rakentamisen yhteydessä noin kahden vuoden ajan. Pohjavettä tutkittiin kuudesta pisteestä, jotka koostuivat: kahdesta pohjavesiputkesta, kolmesta kaivosta, sekä Lahelan vedenottamon raakavedestä. Pohjavesiputkien sijainnit on esitetty kuvassa 5.2. Kuvan 5.2. sininen nuoli osoittaa pohjaveden arvioidun päävirtaussuunnan, sekä violetti ympyrä stabiloinnin likimaisen sijainnin. (Kivimäki 2020)

Lahelanpellon maaperä koostuu savikerroksista, joiden syvyudet vaihtelevat 6,4 ja 10,6 metrin välillä. Saven alla sijaitse silttikerros, jonka kerrospaksuus vaihtelee 4,5 ja 11,5 metrin välillä. Alueen stabilointi toteutettiin vaiheissa siten, että työ aloitettiin tammikuussa 2018 ja päätettiin joulukuussa 2018. Stabiloinnissa käytettiin Nordkalk GTC sideainetta. (Kivimäki 2020). Nordkalkin GTC sideaine sisältää kalkkia, sementtiä ja kipsiä samassa suhteessa. Lahelanpeltoa rakennettaessa GTC:n sementti on ollut tyypiltään CEM-II sementtiä. (Nordkalk 2019). Sideainetta käytettiin 100 kg / m<sup>3</sup>. Stabiloidut alueet on esitetty kuvassa 5.5. Kuvassa on korostettu harmaalla vaiheen yksi ja harmaalla viivarasterilla vaiheen 2 stabiloidut alueet.



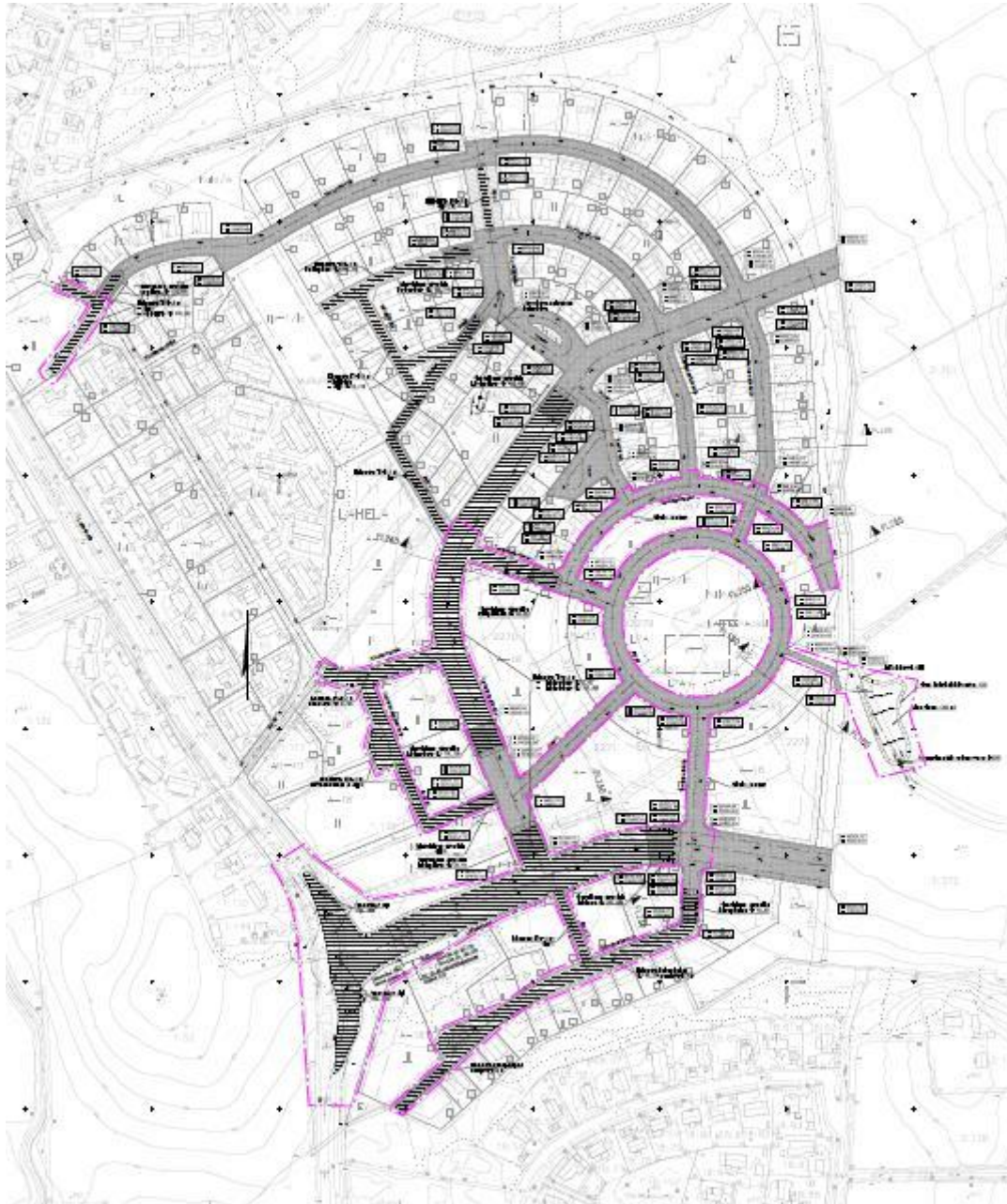
**Kuva 5.2:** Lahelänpellon, pohjavesiputkien ja stabiloinnin sijainti (Kivimäki 2020).

Tutkimukset sisältävät laajalla spektrillä veden ominaisuuksia, joihin kuuluu kentällä:

Lämpötila, pH, sähkönjohtokyky, happipitoisuus, sekä laboratoriossa suoritettavat pitoisuusmittaukset, joka on esitetty taulukossa 5.6. Vedestä otettavat tutkimukset on esitetty taulukossa 5.6. Taulukon 5.6 alkuainepaketti kattoi seuraavat alkuaineet: Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn

**Taulukko 5:6:** Lahelanpellon vesinäytteillä suoritettavat mittaukset (Kivimäki 2020)

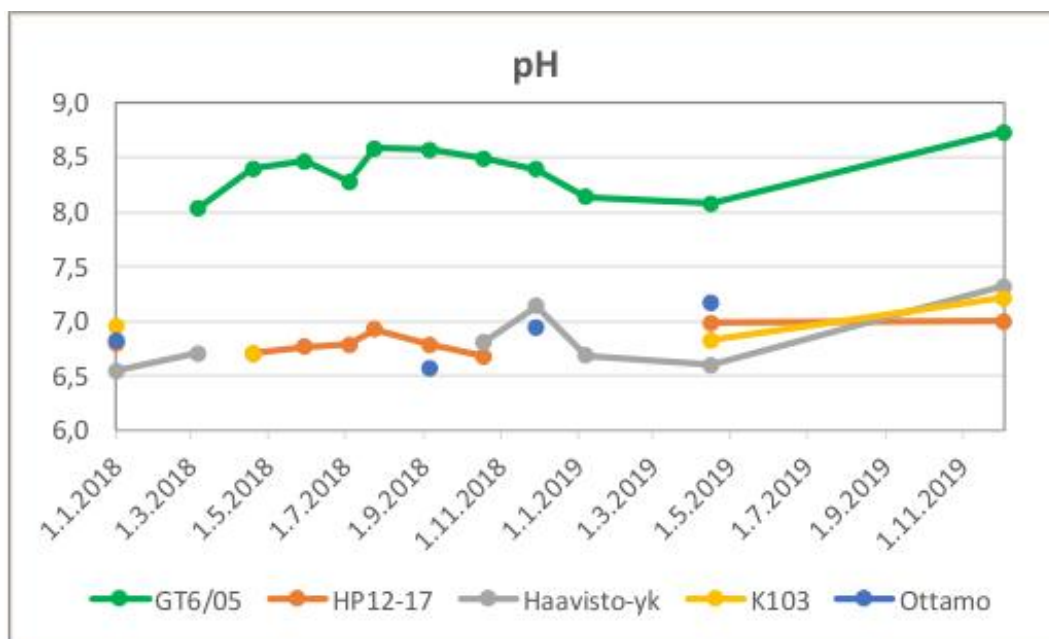
Kenttämittaukset ja laboratoriomääritykset	Ennen stabilointityön aloitusta NÄYTEPAIKAT: GT6/05, HP12-17, Haaviston ylä- ja alakaivo, kaivo K103, Lahelan ottamon raakavesi	Stabilointityön aikana NÄYTTEENOTTOTIHEYS: 1 krt/kk NÄYTEPAIKAT: GT6/05, HP12-17, Haaviston yläkaivo	Stabilointityön valmistuttua NÄYTEPAIKAT: GT6/05, HP12-17, Haaviston yläkaivo, kaivo K103, Lahelan ottamon raakavesi
<b>KENTTÄMITTAUKSET</b>			
lämpötila (°C)	X	X	X
pH	X	X	X
sähkönjohtokyky (mS/m)	X	X	X
happipitoisuus (mg/l ja kyll-%)	X	X	X
<b>LABORATORIOMÄÄRITYKSET</b>			
Koliformiset bakteerit ja <i>E.coli</i> (mpn/100 ml)	X	X	X
Sameus (FNU)	X	X	X
Hiiilidioksidi (mg/l)	X	X	X
Alkaliteetti (mmol/l)	X		X
Sulfaatti (mg/l)	X	X	X
Kloridi (mg/l)	X	X	X
NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N (µg/l)	X	X	X
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä TOC (mg/l)	X	X	X
Alkuainepaketti (µg/l)	X	X	X
VOC-yhdisteet (µg/l)	X	X	
Öljyhiilivedyt C5-C40 (µg/l)	X	X	



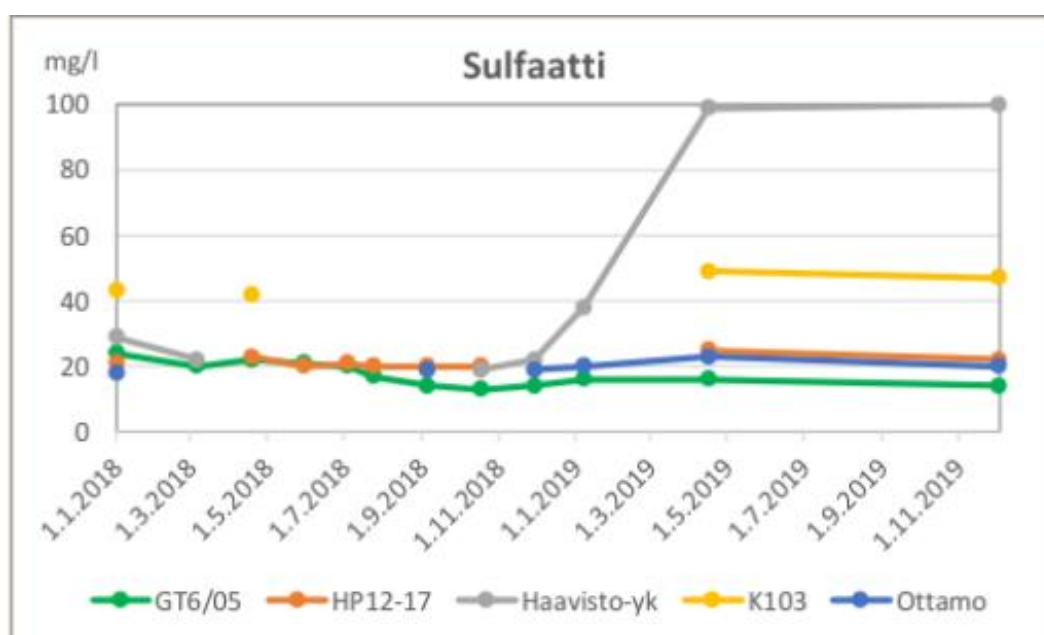
**Kuva 5.3:** Lahelanpelto pilaristabiloidut alueet (Kivimäki 2020. Alkuperäinen lähde A-Insinöörit suunnittelu Oy 2017).

Pohjaveden seurannassa yhdessä mittauspisteessä vesinäyte oli selkeästi emäksinen ja pH vaihteli tasoilla 8,0–8,7. Muissa pisteissä pH arvot olivat ennen stabiloinnin aloittamista lievästi hapanta ollen välillä 6,0–7,0 ja mittausajanjakson päätteeksi veden pH-arvo oli noussut lievästi emäksiseksi välillä 7,0–7,5. pH-tason muutos on esitettyä kuvassa 5.6. Sulfaatin ja liukoisin kalsiumin pitoisuus nousi Haavisto-yläkaivolla selkeästi stabilointityön jälkeen. Sulfaatin ja kalsiumin nousu on esitetty kuvissa 5.7. ja 5.8.

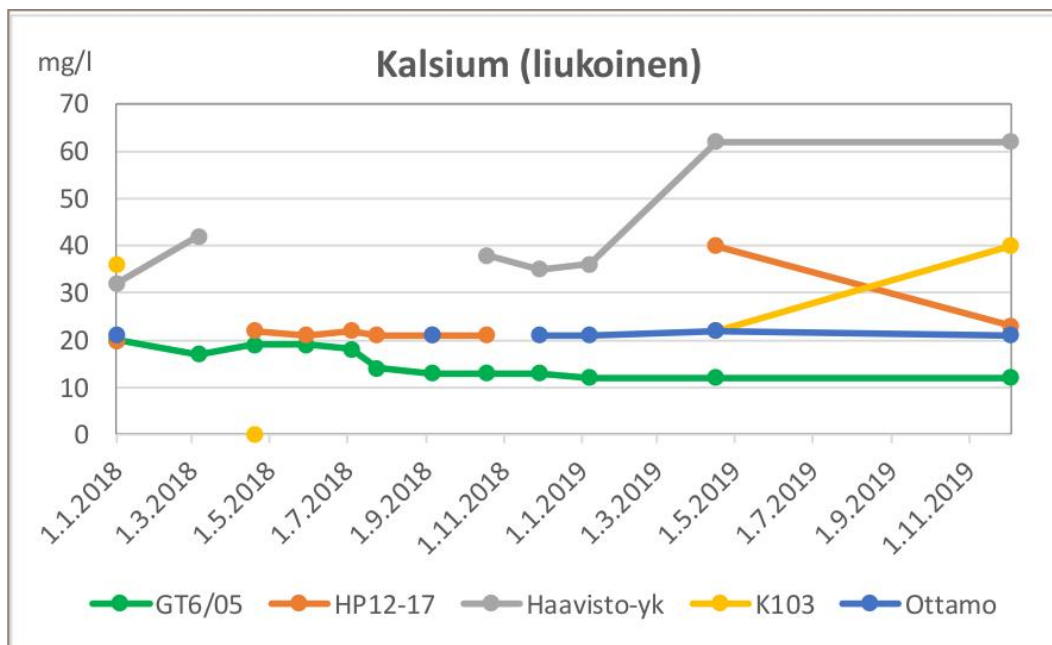
Kuvassa 5.7 on esitettyä Sulfaatin määrä nousu Haaviston yläkaivon näytteissä. Muissa näytepaikoissa sulfaattitasot olivat koko mittausjakson ajan tasaisia. Sulfaatti oli ylimmillään 100 mg/l, joka ei ylitä pohjavettä pilaavien aineiden ympäristölaatumormia, joka on sulfaatin osalta 150. Kuvassa 5.8 on esitettyä kalsiumin nousu Haaviston yläkaivolla, sekä muut ainepitoisuudet, joiden vaihtelu oli tasaisempaa. Kalsiumia ei ole määritetty pohjavettä pilaavaksi ja sille ei ole olemassa suositus- tai vaatimusraja-arvoa.



Kuva 5.4: Lahelanpelto pH arvot. (Kivimäki 2020).



Kuva 5.5: Lahelanpelto, sulfaatti. (Kiviniemi 2020).



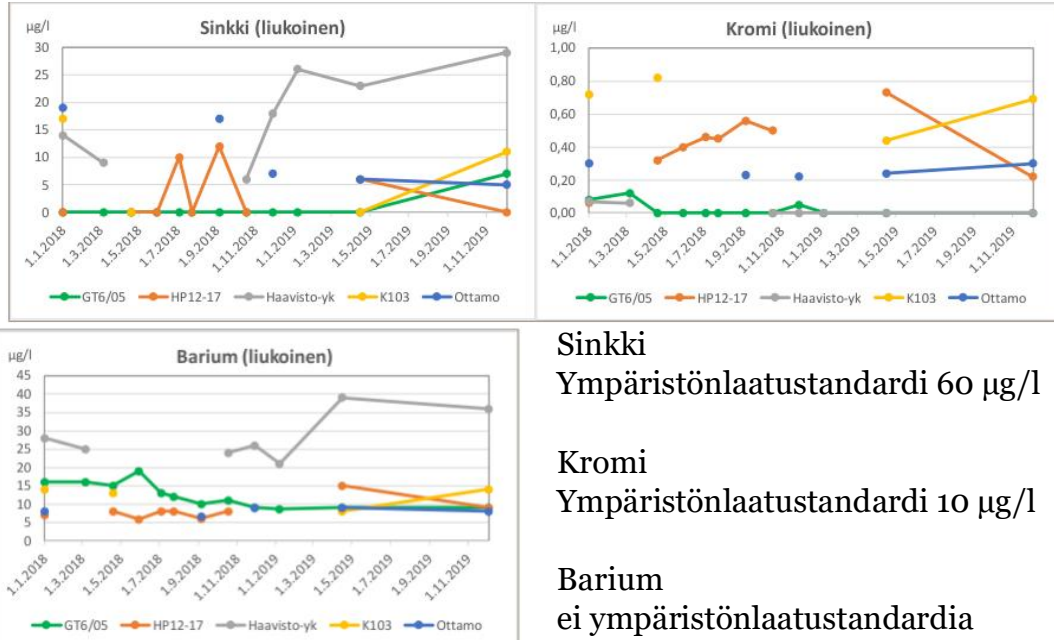
**Kuva 5.6:** Lahelanpelto, kalsium. (Kiviniemi 2020).

Kloridipitoisuudet eivät muuttuneet merkittävästi mittausajanjakson aikana. Pisteessä GT6/05 kloridipitoisuus oli mittausjakson aikana korkeimmillaan 45 mg/l, joka on selkeästi alle sosiaali- ja terveysministeriön (STM) talusvesiasetuksen määrittää laatutavoitteen 250 mg/l. Kloridiarvot ylittivät suosituksen 341/2009 Valtionneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta, jonka mukaan kloridipitoisuus tulisi olla alle 25 mg/l. Kloridin kanssa samantyyppistä nousua havaittiin pisteessä GT6/05 natriumin osalta. Muissa pisteissä natriumin mittausarvot olivat tasaiset ja muutosta ei havaittu. Natriumin maksimiarvon mitattiin olevan noin 60 mg/l, joka ei ylitä talusveden laatusuositusta 200 mg/l. Natriumin ja kloridin määrät eivät ylittäneet laatusuosituksia. Natriumin ja kloridin kohonneiden pitoisuuksien nähtiin johtuvan työmaalla käytetystä natriumkloridista (suola), jota levitettiin maahan. Suolaa käytettiin talviaikana, aluiden jäätymisestä johtuvien haittojen vähentämiseksi. Työn aiheuttaman maankerrosten häiriintymisen johdosta natriumkloridin arvioitiin kulkeutuneen pohjaveteen.

Pohjavesianalysissa todettiin ajoittaista esiintymistä koliformisten bakteerien osalta. Pieniä e-koli bakteeriesiintymiä myös havaittiin. Todetut bakteerit eivät voi johtua stabiloinnissa käytetyistä sideaineista, vaan niiden todettiin voivan kulkeutua maanhäiritsemisen myötä maanpinnalta pohjaveteen.

Pohjavedestä todettiin lievästi kohonneita arvoja sinkin, kromin ja bariumin osalta. Kohonneet pitoisuudet eivät ylittäneet ympäristön laatustandardeja. Näiden metallien nähtiin voivan olla sideaineesta johtuvaa liukenemista.

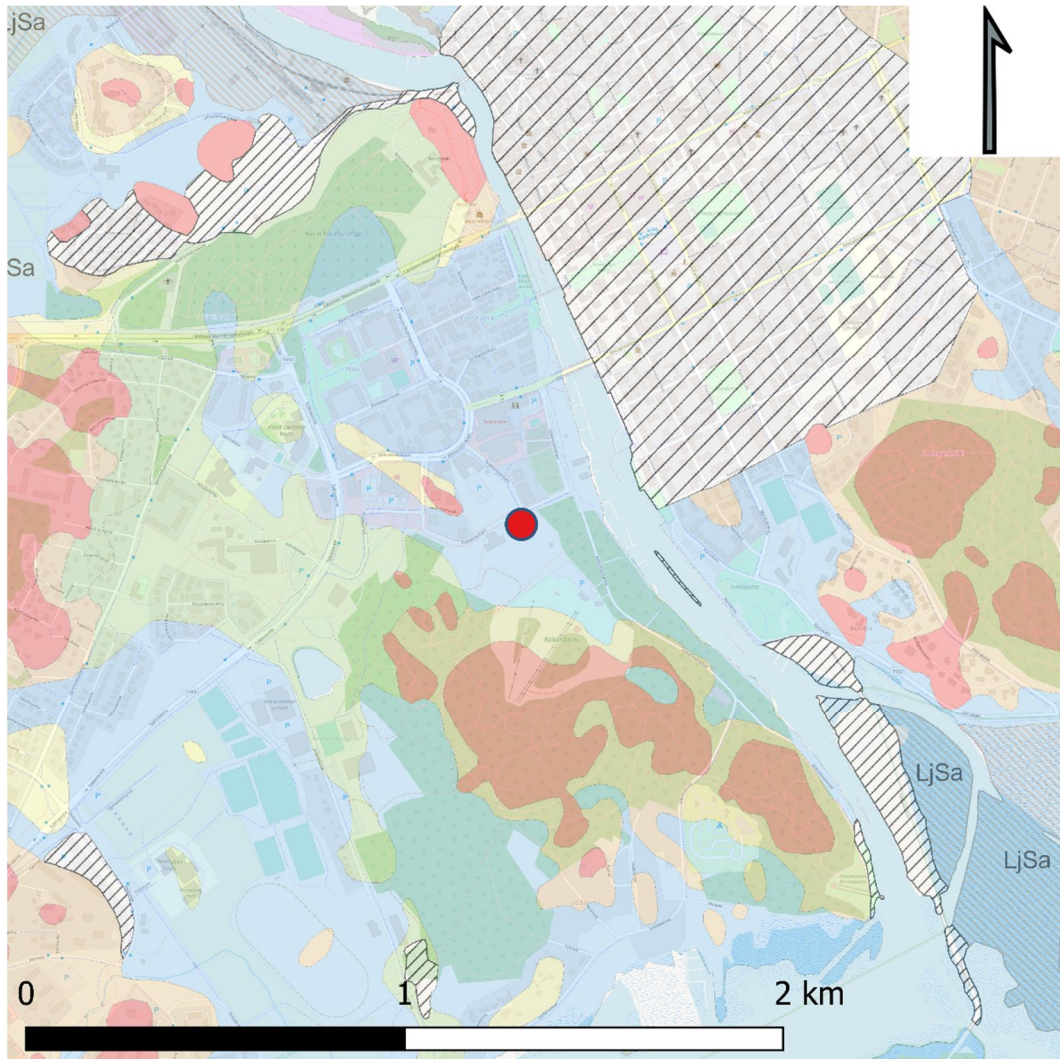
Kohonneet pitoisuudet ja vastaavat ympäristölaatustandardit on esitetty kuvassa 5.9.



**Kuva 5.7:** Lahelanpelto. pohjavesinäytteiden kohonneet metallit. (Kiviniemi 2020).

#### 5.1.4 Porvoon Länsiranta, Porvoo

Porvoon Länsirannassa on tehty maaliskuussa 2020 koetoimintana pilaristabilointia, jossa tutkittiin pilaristabiloinnin lujuusominaisuuksia sekä suoritettiin pohjaveden seuranta aikavälillä 2020–2022. Tutkimusten koekentän sijainti ja alueen maaperä on esitetty kuvassa 5.10 punaisella pisteellä. GTK:n maaperäkartan selitteet on esitetty työn liitteenä 2.



**Kuva 5.8:** Porvoon Länsirannan koekentän sijainti ja maaperä. (GTK 2022; OpenStreetMap 2022)

Pilaristabilointia tehtiin kolmella eri sideaineella ja kolmella eri stabilointikentällä. Stabiloinnissa käytetyt sideaineet ja niiden määrät on esitetty taulukossa 5.7.

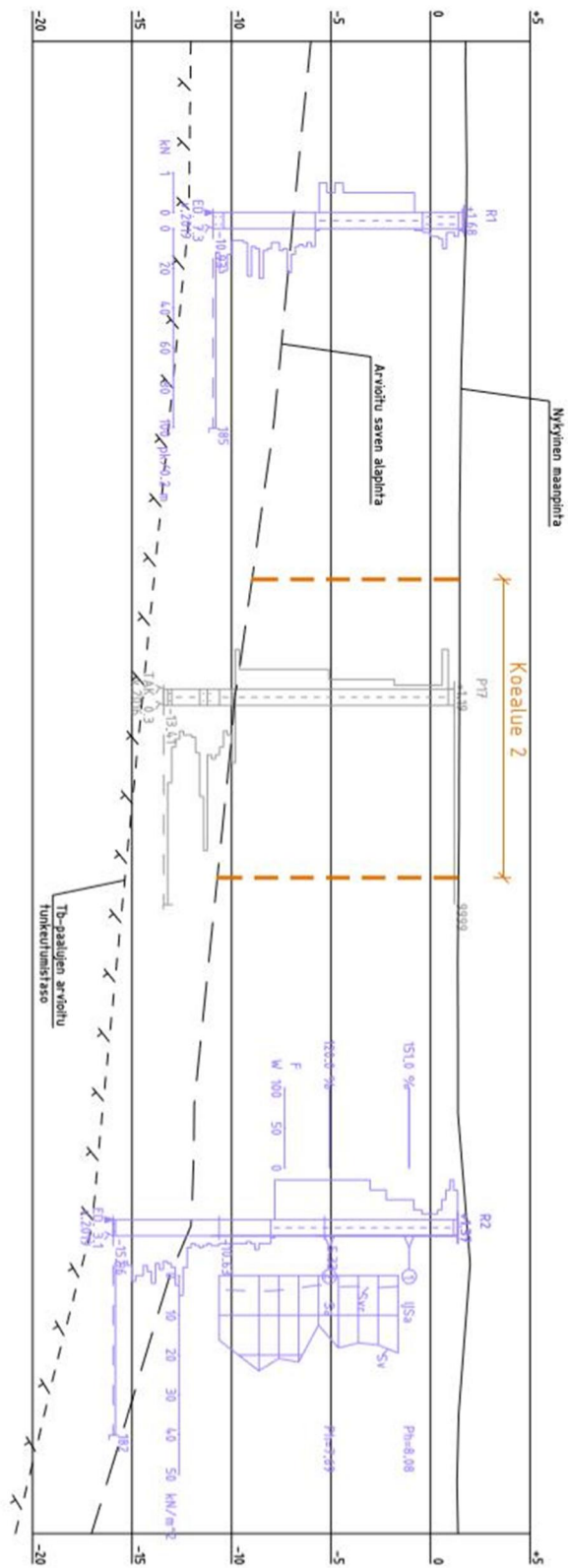


**Taulukko 5.7:** Porvoon Länsirannan käytetyt sideaineet ja määrät. (Ramboll 2020 koetoimintahakemus liite 1).

Koealueet / pilareiden asennus- syvyys	Sideainemäärät kg / m <sup>3</sup>					
	KC 3:7		Nordkalk GTC		Ecolan Infrastabi80	
	Alue A	Alue B	Alue C	Alue D	Alue E	Alue F
Koealue 1 Tason -12 yläpuolella	135	170	135	170	135	170
Koealue 1 tasovälillä -12 ... -19	100	135	100	135	100	135
<b>Koealue 2 koko savikerros</b>	<b>100</b>	<b>135</b>	<b>100</b>	<b>135</b>	<b>100</b>	<b>135</b>
Koealue 3 tason -10 yläpuolella	135	170	135	170	135	170
Koealue 3 tason -10 alapuolella	100	135	100	135	100	135

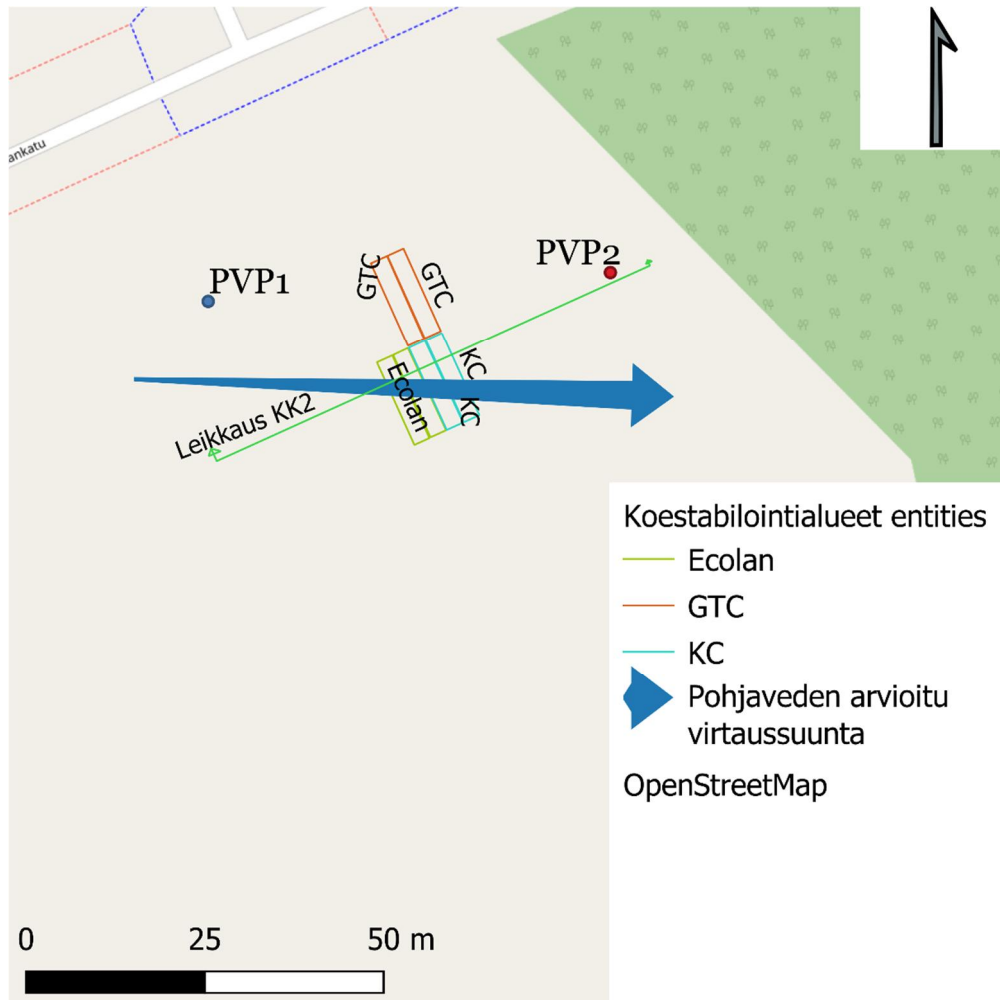
Nordkalkin GTC sideaine sisältää kalkkia, sementtiä ja kipsiä samassa suhteessa. Porvoon Länsirannan koestabilointikenttiä rakennettaessa GTC:n sementti on ollut tyypiltään CEM-II sementtiä. (Nordkalk 2019). Ecolan Infrastabi80 pääraaka-aine on lentotuhka. Infrastabin seoksessa on myös käytetty kalkkia, kipsiä, rauta- ja terästeollisuuden kuonia, sekä fosforikemikaalien syntyvää jätettä ja lisäksi mineraalivillajätettä. Infrastabin valmistuksessa voidaan käyttää myös kaupallisia tuotteita kuten sementti, kalkki, kipsiä ja masuunikuonaa. (Aluehallintavirasto 2021).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää alueen stabiilitavuus eri sideaineilla. Alueen stabiilitavuutta hankaloittaa alueella esiintyvä sulfidisavi, joka saattaa lisätä sideainetarvetta. Koealueen 2 molemmin puolin asennettiin pohjavesiputket pohjaveden pitoisuusmittauksia varten. Koealueen 2 maanpinta vaihtelee tasoilla +1,4 ja +2,0. Päällimmäinen maakerros on savea ja liejuista savea alapinnan vaihdellessa tasolla -8 ja -11. Saven pH mitattiin olevan noin 8 ja vesipitoisuuden 80–150 %. Pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa tasolla +1,0. Savikerroksen alla sijaitsee kitkamaakerroksia. Koealueen 2 leikkaus on esitetty kuvassa 5.9.



LEIKKAUS KK2 - KK2  
1:200/1:200

**Kuva 5.9:** Pohjatutkimusleikkaus, koealue 2 Porvoon Länsiranta (Ramboll 2020).



**Kuva 5.10:** Porvoon Länsiranta. Stabilointi ja pohjamaa. (OpenStreetMap)

Porvoon Länsirannassa pohjavesinäytteistä ensimmäinen otettiin ennen pilaristabiloinnin aloitusta ja toinen stabilointityön lopettamisen jälkeen. Porvoon Länsirannan mittaustulokset on esitetty taulukossa 5.8. Taulukosta ympäristön laatustandardin ylittävät pitoisuudet ovat korostettu lihavoimalla. Pohjavesiputki PVP1 on ylävirran puolella ja PVP2 alavirran. Kenttämittauksissa havaittiin, että ylä- ja alavirran pH:n muutos oli samansuuntaisia. Kenttämittauksessa pH:n arvo mitattiin olevan 6,6 ennen stabilointityötä. Stabiloinnin jälkeen ylävirralla pH-arvo nousi noin 0,5 yksikköä ollen tasaisesti 7,1–7,2. Alavirta niin ikään laski 6,0 toiseen mittaukseen, jonka jälkeen pH:n arvo nousi kokomittausajanjakson saavuttaen 6,3 noin kaksi vuotta stabiloinnin lopettamisen jälkeen.

Sulfaatin mitatuista arvoista alavirran puoleinen pitoisuus oli koko mittausajanjakson suurempi ylävirtaan verrattuna. Sulfaatin pitoisuuden erotus

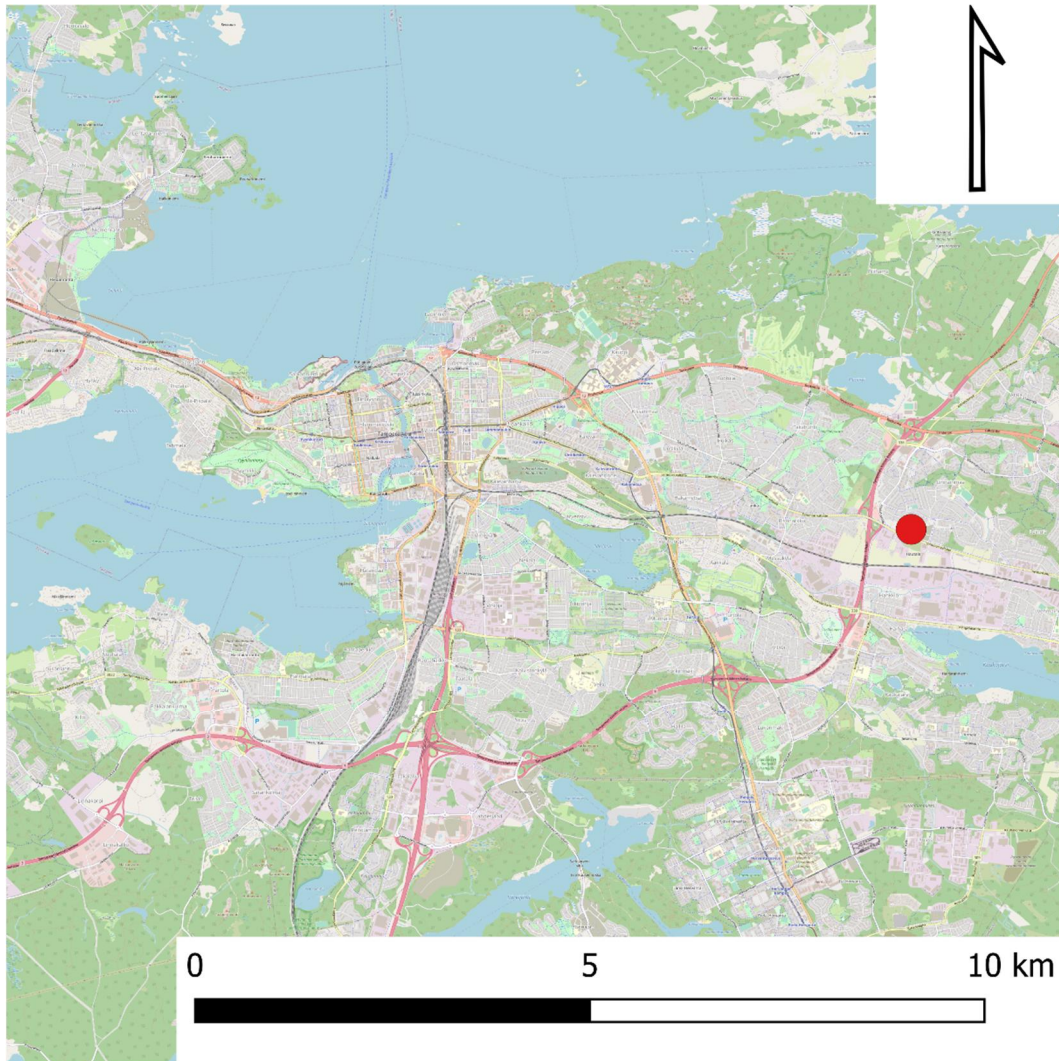
pisteiden välillä kasvoi merkittävästi mittausten aikana, nousten 1,7 kertaisesta pitoisuudesta yli kuusinkertaiseen pitoisuuteen. Kloridin mittaustulokset ylittivät ympäristön laaturaja-arvon jokaisessa mittauksessa ylävirran mittausten pitoisuuksien ollessa hyvin tasaisia. Alavirran kloridipitoisuudet olivat koko mittausajanjakson suurempia ylävirtaan nähden ja mitatut pitoisuudet vaihtelivat merkittävästi enemmän. Koboltti oli mittausjakson ylävirralla määritysrajalla tai sen alittavana pitoisuutena. Kobolttin pitoisuudet mitattiin alavirrassa ensimmäisen vuoden osalta kasvavana ylittäen hetkellisesti ympäristön laatustandardien määrittämän raja-arvon. Toisena vuotena kobolttin pitoisuus kääntyi laskuun alavirran puoleisessa pisteessä. Porvoon Länsirannan pohjaveden mittaustulokset on esitetty taulukossa 5.8. Taulukosta ympäristön laatustandardin ylittävät pitoisuudet ovat korostettu lihavoimalla.

**Taulukko 5.8:** Porvoon Länsirannan mittaustulokset (Ramboll 2021).

		9.3.2020	15.4.2020	9.9.2020	23.3.2021	7.9.2021	29.3.2022
pH laboratorio	PVP1	6,6	7,1	7	7,2	7,1	7,2
	PVP2	6,6	6	5,9	6,1	6,1	6,3
pH kenttä	PVP1	7,08	6,81	7,27	8,03	6,91	6,89
	PVP2	6,43	5,61	5,73	6,58	5,6	6,22
Cl <sup>-</sup> mg/l	PVP1	<b>120</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>
	PVP2	<b>570</b>	<b>320</b>	<b>390</b>	<b>400</b>	<b>520</b>	<b>530</b>
SO <sub>4</sub> mg/l	PVP1	39	38	32	32	30	35
	PVP2	68	<b>290</b>	<b>240</b>	<b>200</b>	<b>190</b>	<b>230</b>
Al µg/l	PVP1	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	8,6	<5,0
	PVP2	<5,0	17	40	23	<5,0	5,7
As µg/l	PVP1	<0,20	<0,20	0,25	<0,20	<0,20	<0,20
	PVP2	4,4	<b>6</b>	<b>8,2</b>	<b>5,7</b>	<b>7,8</b>	<b>9,8</b>
Co µg/l	PVP1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,1	<0,10
	PVP2	1,2	<b>2,7</b>	<b>2,3</b>	1,9	1,5	1,9
Cu µg/l	PVP1	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	PVP2	<0,50	0,51	1,2	0,64	<0,50	<0,50
Ni µg/l	PVP1	0,25	0,3	<0,20	<0,20	3,5	<0,20
	PVP2	2,8	6,5	8,8	6,2	3,1	<b>17</b>
Zn µg/l	PVP1	<1,0	<1,0	1,9	330	20	2,3
	PVP2	<b>1300</b>	<b>14000</b>	<b>9800</b>	<b>5700</b>	<b>5000</b>	<b>14000</b>

### 5.1.5 Hipunkulma, Tampere

Tampereella sijaitsevassa Hipunkulmassa tehtiin puistoalueella Hipunkujan ja Hipunraitin pilaristabilointia keväällä 2020. Hipunkulma sijaitsee Tampereella kuvan 5.11 osoittamassa sijainnissa.



**Kuva 5.11:** Tampere, Hipunkulman sijainti.

Hipunkulmassa tien ja kevyenliikenteen raitille rakennettiin pohjan vahvistus, joka tehtiin pilaristabiloimalla. Sideaineena käytettiin Ecolan Infrastabi80 sideainetta. (Tampereen kaupunki 2020). Ecolan Infrastabi80 pääraaka-aine on lentotuhka. Infrastabin seoksessa on myös käytetty kalkkia, kipsiä, rauta- ja terästeollisuuden kuonia, sekä fosforikemikaalien syntyvää jätettä ja lisäksi mineraalivillajätettä. Infrastabin valmistuksessa voidaan käyttää myös kaupallisia tuotteita kuten sementtiä, kalkkia, kipsiä ja masuunikuonaa. (Aluehallintavirasto 2021).

Alueen maanpeitteen ylin kerros koostuu kuivakuorisavesta, jonka paksuus vaihtelee alueella 0,5 ja 1,5 metrin paksuisena. Kuivakuoren ala on 3–7 metriä paksu savesta, liejuisesta savesta, siltistä, sekä hiekkaisesta siltistä koostuva kerros. Koheesiomaakerroksen alla on hiekkakerros, jonka paksuus on 2–4 metriä. Stabilointiin vaadittiin ympäristölupa ja pohjavedenseuranta. Pohjavedenseurantaa varten asennettiin kaksi pohjavesiputkea: PVP1 ja PVP2. Pohjavesiputket ovat muovisia (PEH 60 mm). Pohjavedestä mitattiin ja analysoitiin pohjavedenpinnankorkeus, lämpötila, pH, sähkönjohtavuus, sameus, väri, kloridi, sulfaatti ja raskasmetallit. (Tampereen kaupunki 2020)

Seurannasta ei ole valmistunut raporttia työn kirjoittamisen aikana.

## 5.2 Kansainväliset tutkimukset

### **Kosche 2004**

Kosche (2004) tutki laboratoriossa valmistettujen pilarinäytteiden ympärille muodostuvaa siirtymäaluetta (tranzition zone). Siirtymäalueessa pilarin sideaineen ionit reagoivat veden kanssa, ja kalsiumionit leviävät (leach) pilarista ympäröivään saveen. Tutkimuksessa tarkasteltiin seitsemää laboratoriossa tehtyä halkaisijaltaan 50 mm pilaria, joista neljä valmistettiin kuivamenetelmällä ja neljä märkämenetelmällä. Kuivamenetelmässä kuiva sideaine syötetään paineilmalla pilareihin ja märkämenetelmässä pumpataan sideaine+vesi-seos, eli slurry, pilareihin. Näytteille suoritettiin useita kokeita, joissa arviotiin pilarien mekaanista kestävyyttä, sekä ionikonsentraatiota pilarin ympäriltä. Tutkimustuloksena havaittiin pilarin sideaineiden leviävän enimmillään 30 mm stabiloidun alueen ulkoreunasta. (Kosche 2004; Larsson, S & Kosche 2005, s. 111–118).

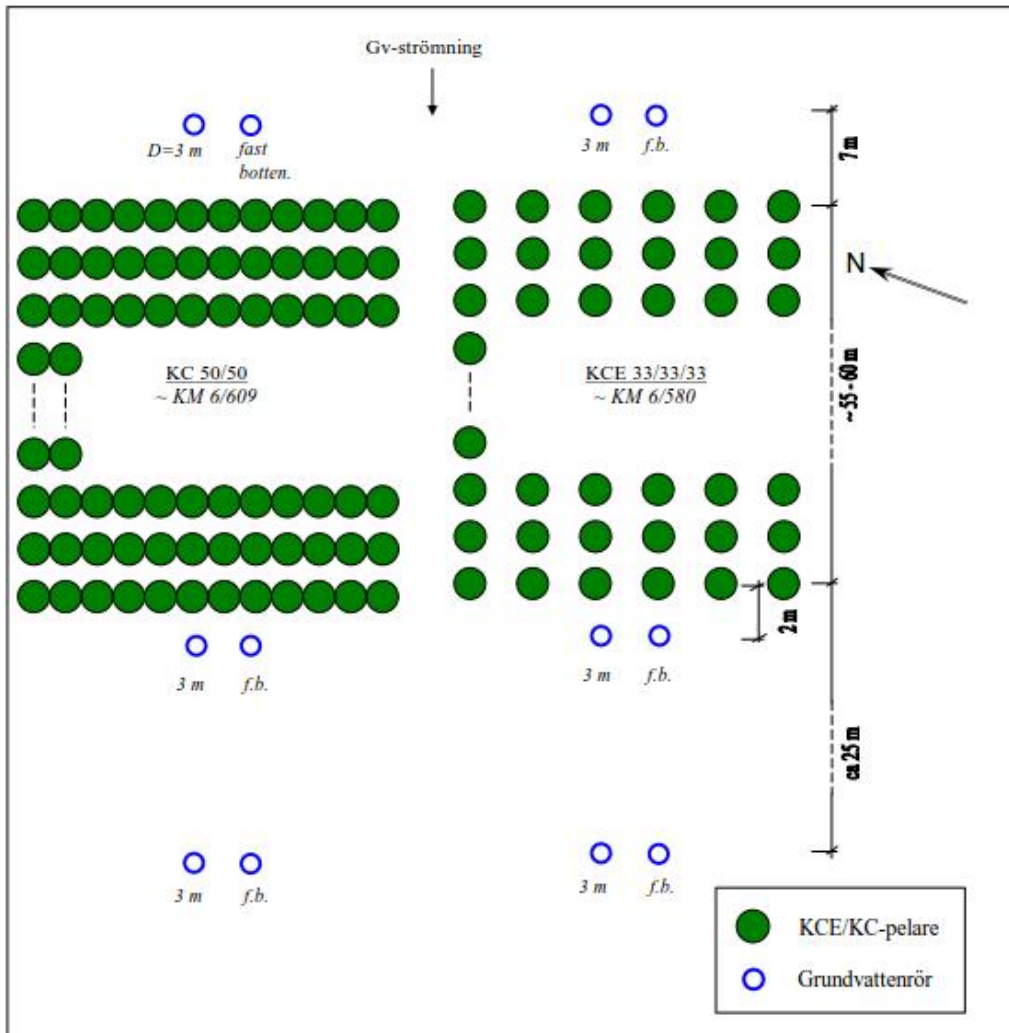
### **Löfroth 2005**

Ruotsin Kungsbackassa pitkäaikaisseurannassa tutkittiin kalkkisementtipilarien vaikutusta ympäröivään maa-ainekseen. Kungsbacka sijaitsee Ruotsin Länsirannikkolla. Maa-aines pilarien ympärillä on sensitiivistä pehmeä savea, jonka vesipitoisuus on noin 60 %. Kalkkisementtipilareiden (50/50) halkaisija oli 500 mm ja sideainemäärä 99 kg/m<sup>3</sup>. Ympäröivän maa-aineksen pH arvot ja kalsiumpitoisuus mitattiin. Mittausten perusteella kalsiumpitoisuus tasoittuu referenssipitoisuuteen noin 50 mm etäisyydellä pilarin ulkoreunasta. (Löfroth 2005, s. 119–126)

### **Åhnberg & Larsson 2012**

Åhnberg ja Larsson (2012) esittivät Ruotsin geoteknisen Instituutin julkaisussa vuonna 2012 pilaristabiloinnin ympäristötutkimuksen tuloksia pilaristabiloinnin vaikutuksesta pohjaveteen. Tutkimuksen kohteena oli Lounais-Ruotsissa sijaitseva koekenttä lähellä Ekgstin kaupunkia.

Alueella ylinnä on savikerros, jonka paksuus on 6–15 metriä vesipitoisuuden ollen 65–90 %. Veden mitattiin virtaavan muutaman senttimetrin vuodessa savikerroksessa, joka on noin 10<sup>-9</sup> m/s. Saven alla on karkearakeisempi maa-kerros. Koeasetelmassa pilareita stabiloitiin kahdella eri sideaineella ja asennettiin pohjavesiputkia yhteensä 12 kappaletta. Sideaineina käytettiin kalkkisementti- ja kalkkisementtituhka-seoksia. 80 kg/m<sup>3</sup>. Eri sideaineilla asennetut pilarit stabiloitiin yksittäispilareiksi tai toisiaan sivuavien pilareiden muodostamaksi lamelliksi. Pohjavesiputkia asennettiin pohjavedenvirtauksen ylävirtaan kaksi kappaletta molempia sideaineita varten seitsemän metrin päähän stabiloinnista. Alavirran puolelle asennettiin neljä putkea kumpaakin sideainetta varten kolmen ja seitsemän metrin etäisyydelle stabiloinnista. Koeasetelma on esitetty kuvassa 5.14.



**Kuva 5.12:** Stabilointikentän koeasetelma. (Åhnberg & Larsson, L. 2012).

Pohjavesinäytteitä otettiin kahdelta syvyydeltä, kolmen metrin syvyydestä savikerroksesta, sekä syvemmältä karkearakeisemmasta maakerroksesta, jonka syvyys vaihteli tutkimuspisteestä riippuen. Ajallisesti näytteitä kerättiin ennen stabilointia ja kuukausi, vuosi ja viisi vuotta stabiloinnin päättymisen jälkeen.

Pohjavedestä otetuista näytteistä havaittiin kuukauden ja vuoden jälkeen kohonneita magnesiumarvoja, jotka tasoittuivat viiden vuoden kohdalla otetuissa näytteistä lähemmäksi 0-vuoden arvoja. Näytteistä ainoastaan sinkin määrän todettiin kasvavan koko mittausajanjaksolla. Kuparin ja lyijyn arvojen todettiin pysyvän tasaisina ensimmäisissä näytteissä ja nousten selkeämmin viiden vuoden kohdalla otetuissa näytteissä. Muissa mitatuissa aineissa ei todettu pitoisuuksien kohonneen. Kohonneiden kuparin, lyijyn, sinkin ja raudan pitoisuudet on esitetty kahdessa taulukossa jaoteltuna käytetyn



sideaineen mukaan. Kalkkisementtipilareiden läheisyydessä olevien pohjavesiputkien tulokset on esitetty taulukossa 5.9 ja kalkkisementtituhkapilareiden läheisyydessä olevien pohjavesiputkien tulokset on esitetty taulukossa 5.10. Mitatut pitoisuudet ovat kokonaispitoisuuksia. Taulukoissa 5.9 ja 5.10 fb viittaa savikerroksen alapuolisesta kitkamaakerroksesta otettuun vesinäytteeseen

**Taulukko 5.9:** Kalkkisementtipilareiden viereisistä pohjavesiputkista otettujen näytteiden pH:n, kuparin, lyijyn, sinkin ja raudan muutos. Åhnberg & Larsson. 2012, muokattu).

aine	yksikkö	Itä 7 3 m Ylä	Itä 7m fb Ylä	Länsi 2 3 m Ala	Länsi 2 fb Ala	Länsi25 3 m Ala	Länsi 25 fb Ala	aika stabi- loinnista
pH	-	8,4	8,4	8,2	8,4	7,7	8,3	1 kk
	-	8,3	8,4	8,2	8,3	8,1	8,3	1 vuosi
	-	8,4	8,4	8,4	8,4	8,2	8,4	5 vuotta
Ca	mg/l	10,3	4,2	31,4	16,2	62,3	19,1	Referenssi
	mg/l	9,5	5,3	22,8	12,7	65,6	19,2	1 kk
	mg/l	11,0	2,7	22,5	14,0	68,5	20,0	1 vuosi
	mg/l	11,8	3,0	-	-	62,7	22,6	5 vuotta
Al	µg/l	271	1030	3,3	7,6	<2	8,1	Referenssi
	µg/l	124	10,3	101	4,5	43,1	89,2	1 kk
	µg/l	77,9	87,3	139	81,9	36,0	9,3	1 vuosi
	µg/l	163	43,9	-	-	49,1	5,7	5 vuotta
Cu	µg/l	26,5	9,52	16,1	4,87	45,4	11,3	Referenssi
	µg/l	7,36	1,18	13,4	4,21	3,4	97,5	1 kk
	µg/l	8,01	<1	6,86	8,66	22,7	3,49	1 vuosi
	µg/l	-	3,24	2000	15	90	200	5 vuotta
Pb	µg/l	5,42	4,86	2,85	1,11	10,5	2	Referenssi
	µg/l	3,04	0,931	6,2	1,54	2,42	13,7	1 kk
	µg/l	3,11	5,79	5,72	7,25	1,42	1,34	1 vuosi
	µg/l	10	11,4	90	8,07	150	5,54	5 vuotta
Zn	µg/l	170	210	1160	327	174	75	Referenssi
	µg/l	139	124	149	58,9	23,4	768	1 kk
	µg/l	118	570	5020	410	944	524	1 vuosi
	µg/l	16100	577	640	13900	1200	470	5 vuotta
Fe	mg/l	0,326	0,813	0,0958	0,0162	3,87	0,0107	Referenssi
	mg/l	0,299	0,004	2,46	0,0259	4,39	0,107	1 kk
	mg/l	0,148	0,0637	1,19	0,0749	2,1	0,0104	1 vuosi
	mg/l	0,162	2,25	5,02	0,088	0,1	0,27	5 vuotta

Taulukossa 5.9 esitetyistä kalkkisementillä stabiloitujen pilareiden vieressä olevista PV-putkista otetuissa pohjavesinäytteissä pH:n arvo ei juurikaan

vaihtelee ylävirran ja alavirran putkissa. Alavirran tuloksissa arvot ovat tasaisia muuten paitsi 25 metriä stabiloinnista olevassa putkessa kolmen metrin syvyydestä otetuissa näytteissä, joissa pH-nousi mittaussajanjakson aikana 7,7 -> 8,1 -> 8,2. Nousu ei ole muista arvoista poikkeava sillä muiden pisteiden pH-arvot ovat tasaisesti 8,3–8,4 välillä. Kyseisen putken pH-arvon nousu tasoitti lukeman muiden tarkkailupisteiden tasolle.

**Taulukko 5.10:** Kalkkisementtituhkapilarien viereisistä pohjavesiputkista otettujen näytteiden pH:n, kuparin, lyijyn, sinkin ja raudan muutos. Åhnberg & Larsson. 2012, muokattu).

		Itä 7	Itä 7m	Länsi 2	Länsi 2	Länsi25	Länsi 25	
		3m	fb	3m	fb	3m	fb	
pH	-	7	-	8	8	8,1	8,4	1kk
	-	8,3	8,3	8,4	8,5	8,2	8,4	1 vuosi
	-	-	-	8,6	-	8,4	-	5 vuotta
Ca	mg/l	51,4	4,9	27,1	7,0	40,0	12,2	Referenssi
	mg/l	-	51	41,2	41,2	27,7	9,2	1 kk
	mg/l	29,1	4,6	25,7	5,4	37,7	9,2	1 vuosi
	mg/l	29,9	3,6	-	-	38,4	11,4	5 vuotta
Al	µg/l	<2	1750	<2	4020	2,0	3320	Referenssi
	µg/l	-	21,1	58,1	284	31,3	195	1 kk
	µg/l	59,7	7540	11,2	182	60,9	49,1	1 vuosi
	µg/l	112,0	1710	-	-	66,0	72,3	5 vuotta
Cu	µg/l	8,47	74,6	5,72	11,7	15,6	19,4	Referenssi
	µg/l	49,8	-	77,7	16,5	8,06	11,7	1 kk
	µg/l	13,4	200	28,6	2,63	17,5	9,05	1 vuosi
	µg/l	91,1	40,7	8,83	17,1	56,9	12,4	5 vuotta
Pb	µg/l	0,735	9,9	1,55	3,05	0,56	2,19	Referenssi
	µg/l	5,07	-	47,4	2,34	3,11	5,86	1 kk
	µg/l	578	572	5,1	0,807	3,46	3,35	1 vuosi
	µg/l	39,6	-	9,69	79,2	5,49	4,03	5 vuotta
Zn	µg/l	262	327	110	137	15,3	243	Referenssi
	µg/l	638	-	3920	218	236	265	1 kk
	µg/l	415	6420	4680	35	2280	186	1 vuosi
	µg/l	13300	-	4820	-	20800	5440	5 vuotta
Fe	mg/l	0,0525	1,29	0,0621	2,58	0,795	1,98	Referenssi
	mg/l	0,223	-	1,49	0,334	0,537	0,533	1 kk
	mg/l	0,218	6,23	0,266	0,136	1,94	0,139	1 vuosi
	mg/l	2,3	-	0,29	-	0,517	-	5 vuotta

Taulukossa 5.10 on esitettyinä kalkkisementtituhkan stabiloitujen pilareiden vieressä olevista PV-putkista otettujen pohjavesinäytteiden analyysitulokset.

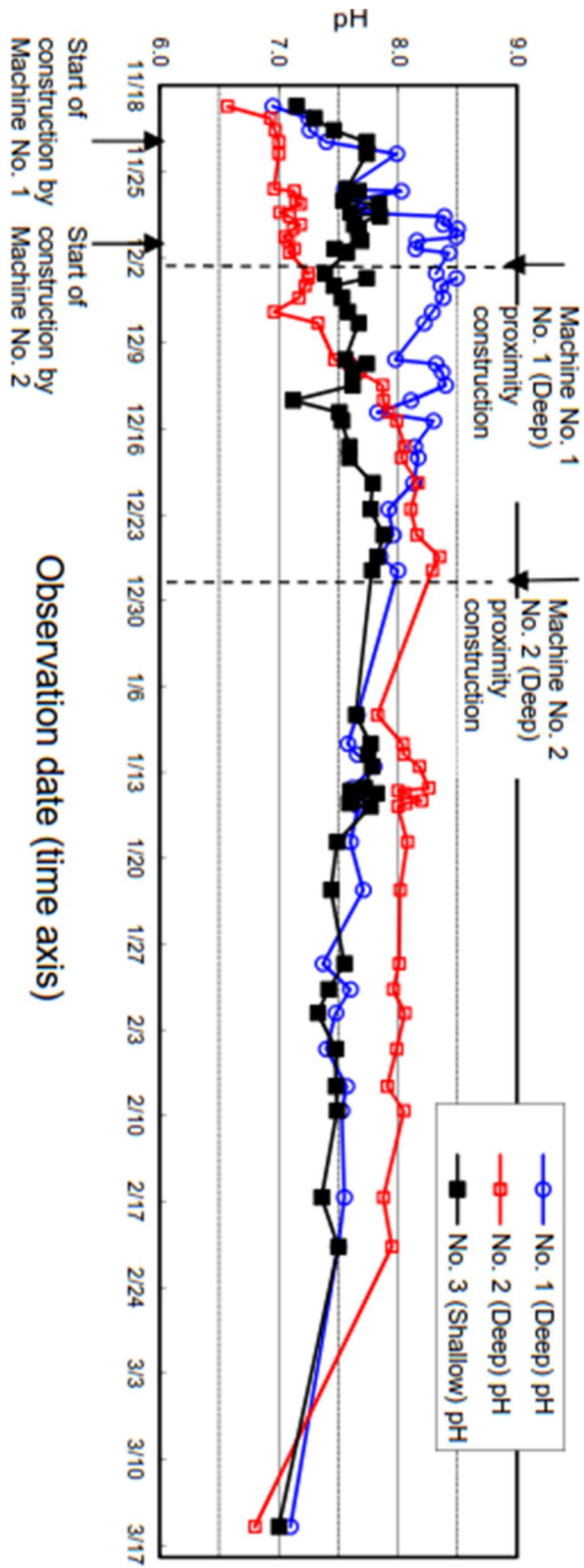
Tuloksissa pH-arvot olivat tasaiset, eikä muutosta ole havaittavissa. Kalsiumin mitatut pitoisuudet muuttuivat vain vähän. Raudan, alumiinin, kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet vaihtelivat suuresti. Pitoisuudet mitatuissa näytteissä eivät osoittaneet selkeää nousua mitatuille aineille. Ainepitoisuudet vaihtelivat yllä esitettyjen aineiden osalta. Ainepitoisuudet täyttivät yleiset talousvedelle laaditut laatuvaatimukset, joten stabiloinnilla ei nähty olevan merkittävää vaikutusta pohjaveden laatuun.

Kalsiumin mitatut pitoisuudet olivat mittausajanjaksolla trendiltään laskevaa, kun taas alavirran puolella pitoisuudet osoittivat pienesti nousevaa pitoisuutta. Kuparin, lyijyn, sinkin ja raudan osalta pitoisuudet vaihtelivat suuresti ja jotkut pitoisuudet olivat varsin korkeita.

### **Ono & Yamada 2021**

Ono ja Yamada (2021) tutkivat syvästabiloinnin vaikutusta alueen pohjaveeseen ja läheiseen jokeen. Tutkimuksessa mitattiin eri pohjavesiputkien pH-arvoja ennen syvästabiloinnin aloittamista, sen aikana ja stabiloinnin jälkeen. Tarkasteltavia alueita oli kaksi. Alueen A:n maaperä on vaihtelevaa sisältäen sekoittunutta maa-ainesta, pinnassa enemmän soraa ja syvemmällä maakerroksessa enemmän hiekkaa ja silttiä, savipitoisuuden vaihdellessa 4–37 % välillä riippuen näytteestä. Maanpeitteen paksuus alueella on noin 30 metriä. Alue sijaitsee joen varressa, joka on osa tulva-aluetta. Rankkasateet kerääntyvät virtauskanavina alueen läpi kohti merta. (Ono & Yamada 2021) Hyvin vettä johtavan alueen A mittausten perusteella pH-arvo nousivat rakentamisen alkaessa ja saavuttivat huippunsa syvästabilointikoneen ollessa lähimpänä pohjavesiputkea, minkä jälkeen arvot laskivat kuukauden seuranta aikana rakentamisen jälkeen lähes aiemmalle tasolle ollen, 7,1, 6,8, ja 7,0. Kohteen pH:n mittaustulokset on esitetty kuvassa 5.13.

Alueen B maanpeite sisältää pintamaan alapuolella kuusi metriä silttiä, kahden metrin orgaanisen silttikerroksen ja hiekkakerroksia. Maa-aineksen pH-arvon mitattiin olevan 5,5 eli heikosti hapanta. Syvästabiloinnin jälkeen pH-arvot mitattiin 0,8 ja 5,0 metrin päästä stabilointipilareita eri syvyyksiltä. Stabiloinnin lähellä pH-arvot vaihtelivat 6,1–6,9 välillä ja kauempana 4,5–6,5 välillä. Tutkimuksessa havaittiin väliaikaista pH-tason nousua, joka noin kuukaudessa nähtiin palaavan liki rakentamista edeltävään tilaan. Tutkimus käsitteli ainoastaan stabiloinnin vaikutusta pH-tasoihin ja siinä ei tutkittu stabiloinnin vaikutusta eri aineiden pitoisuuksiin (Ono & Yamada 2021).



**Kuva 5.13:** Pohjaveden pH arvojen vaihtelu stabiloinnin läheisyydessä. (Ono & Yamada 2021)

## 6 Havainnot stabiloinnin vaikutuksesta pohjave- teen, kysely

Tässä luvussa esitellään havaintoja ja näkemyksiä, joita eri alan toimijoilla ja asiantuntijoilla on stabiloinnin vaikutuksesta niin pohjaveden laatuun kuin sen virtaamiseen. Kommentit on kerätty lähettämällä sähköpostilla kysymykset. Kysely on suoritettu ajanjaksolla helmikuu 2022 – kesäkuu 2022. Kyselyt ovat olleet vapaamuotoisia ja kysymyksiä on osittain kohdennettu vastaajan mukaan. Peruskyselypohjat on esitetty tämän työn liitteessä 3. Kyselyjen vastauksissa stabiloinnin vaikutukset nähtiin olevan pohjaveen vähäisiä. Myös tutkitun tiedon vähäisyys ilmeni vastauksista, jonka vuoksi osa vastauksista perustui havaittujen ympäristövaikutusten puutteeseen. Vaikutusten tieteellinen tutkiminen ja varmentaminen nähtiin tärkeäksi. Kyselyjen vastauksia on referoitu taulukoihin 6.1–6.3.

**Taulukko 6.1:** Kansainvälisten asiantuntijoiden havainnot stabiloinnin vaikutuksesta pohjaveen.

Vastaaja	Havainnot
Steffan Larsson, KTH, Ruotsi	<p>Larsson (2022) toteaa ettei stabiloinnin vaikutuksia veteen ole tutkittu tarpeeksi, jotta asiasta voitaisiin sanoa tarkasti. Yleisesti Larsson näkee stabiloinnin ympäristövaikutusten olevan vähäistä.</p> <p>Larsson nosti esiin stabiloinnin mahdollisista vaikutuksista työnaikaisen pystyöjan ("keskireikä") muodostuminen, joka voi olla riski sideaineen leviämislle. Toisena kohtana Larsson kertoi mahdollisen ongelman olevan yläpinnan jäämisen kuivakuoren osalta pölyisäksi. Kuivakuoren alueella pilarin sideaine ei mahdollisesti saisi tarpeeksi vettä reagoidakseen, joka voi olla riski sideaineen leviämislle.</p>
Masaki Kitazume, Japani	<p>Kitazume kertoo, että stabilointia voidaan pitää ympäristöystävällisenä. Kitazume näki stabiloinnilla olevan vaikutuksena kalsiumin liukenemisen, joka on enimmillään n. 10 cm. pilarin ulkoreunasta. Vaikutusten laajuuden vuoksi Kitazume näkee, etteivät vaikutukset ole merkityksellisiä.</p> <p>Kitazumen tutkimusten perusteella vesi virtaa stabiloidussa maassa hitaammin kuin ei stabiloidussa maanainneksessa. (Kitazume 2022)</p>

**Taulukko 6.2:** Kuntien ja kaupunkien asiantuntijoiden havainnot stabiloinnin vaikutuksesta pohjaveteen.

Vastaaja	Havainnot
Espeen kaupunki Matti Kaurila & Jouni Rautiainen	Kaurila ja Rautiainen (2022) kertovat etteivät ei ole todenneet tapauksia, jossa stabiloinnilla olisi vaikutuksia pohjaveden laatuun
Helsingin kaupunki Mirva Koskinen	Koskinen (2022) kertoo stabiloinnin vaikutuksista veden todetuksi purojen samentumista, kun stabilointia on suoritettu näiden läheisyydessä. Sittemmin stabilointi on rajoitettu kauemmas puroista tai muilla keinoin estetty vesille kohdistuvia vaikutuksia. Stabiloinnin on havaittu kulkeutuvan pilaria pitkin. Veden ylös-virtaaminen on Koskisen mukaan harvinaista.
Lahden kaupunki Satu Virtanen	Virtanen (2022) kertoo, että stabiloinnin vaikutuksista pohjaveteen ei ole Lahdessa tietokantoihin kerätty tietoa. Jatkuva pohjaveden seuranta tehdään Lahdessa, mutta ei stabilointiin liittyen. (Virtanen 2022).
Porvoon kaupunki Enni Flykt	Stabiloinnin vaikutuksia pohjaveteen ei ole erillisesti aiemmin tutkittu Porvoossa. Pohjaveden seuranta toteutetaan muista syistä. Porvoon Länsirannassa on toteutettu pilaristabilointikohteessa PV-seuranta koestabiloinnin yhteydessä (Flykt 2022) Seurannasta on valmistumassa ympäristöraportti vuonna 2022. Seurannan luonnosraportin tulokset on esitetty luvussa 5.
Tampereen kaupunki Matti Pokkinen & Ville-Pekka Oldén	Tampereella on toteutettu ainoastaan kaksi kohdetta pilaristabiloinnilla. Toiseen edellytettiin PV-seuranta. Tehdyn PV-seurannan tulos luonnos on esitetty luvussa 5. (Pokkinen & Oldén 2022)
Turun kaupunki Anne Savola	Savola (2022) kertoo, että stabilointikohteista ei ole tehty erillistä pohjaveden seuranta. Pohjaveden seuranta toteutetaan yleisesti.
Tuusulan kunta Petri Juhola	Juhola (2022) näkee stabiloinnin ympäristövaikutusten olevan vähäistä. Tuusulassa on toteutettu stabiloinnin pohjaveden seurantaan Lahelanpellossa. Lahelanpellon raportti on esitetty luvussa 5.
Vantaan kaupunki Heikki Kangas	Kangas (2022) kertoo, että Vantaan alueella ei ole havaittuja tai tiedossa olevia havaintoja pilaristabiloinnin vaikutuksesta pohjaveden laatuun. Pilaristabiloinnilla ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta pohjaveden virtauksiin.

**Taulukko 6.3:** Stabilointialan asiantuntijoiden havainnot stabiloinnin vaikutuksesta pohjaveteen.

Vastaaja	Havainnot
Destia Mikko Smura	Smura (2022) toteaa, että stabiloinnin vaikutus ympäristölle on pieni saviympäristössä, saven hyvin pienen vedenläpäisevyyden vuoksi. Pilarin keskireiästä tapahtuvan veden virtaamista Smura kertoi olleen puhuttavan, mutta ei ole tietoinen asian olleen ongelma.
Skanska Niko Asikainen & Juha Tiensuu	Asikainen ja Tiensuu (2022) näkevät pintavedenlaadussa voivan esiintyä pientä paikallista vaihtelua, samentumisena. Tilapäisen samentumisen vaikutukset nähtiin olevan ympäristölle vähäiset. Asikainen ja Tiensuu kertovat, että havaintoja vedenvirtaamisesta pilarin keskireikää pitkin on, mutta havainnot ovat satunnaisia.
YIT Olli Ormio & Juho Kallio	Ormio & Kallio (2022) kertovat, että stabiloinnin vaikutuksia pohjaveteen on mitattu. Mittauksissa ei ole todettu stabiloinnilla olevan vaikutuksia. Veden virtaamista pilarin keskireikää pitkin on havaittu. Havaintojen yleisyydestä ei ole tarkempaa tietoa.

## 7 Tutkimuskohteet ja -menetelmät

Tässä luvussa esitellään työssä tehty pilaristabilointikohteiden pohjavesitutkimus. Ensimmäiseksi esitellään tutkimuskohteiden tutkimusasetelmat. Toiseksi esitellään ominaisuuksia, mitä pohjavedestä tutkitaan ja miten tuloksia voidaan tulkita. Lopuksi esitellään tutkitut kohteet. Kohteista esitetään niiden geologia, miten ja milloin alueella on pilaristabiloitu, sekä mistä kohtaa pohjavesinäytteitä on otettu.

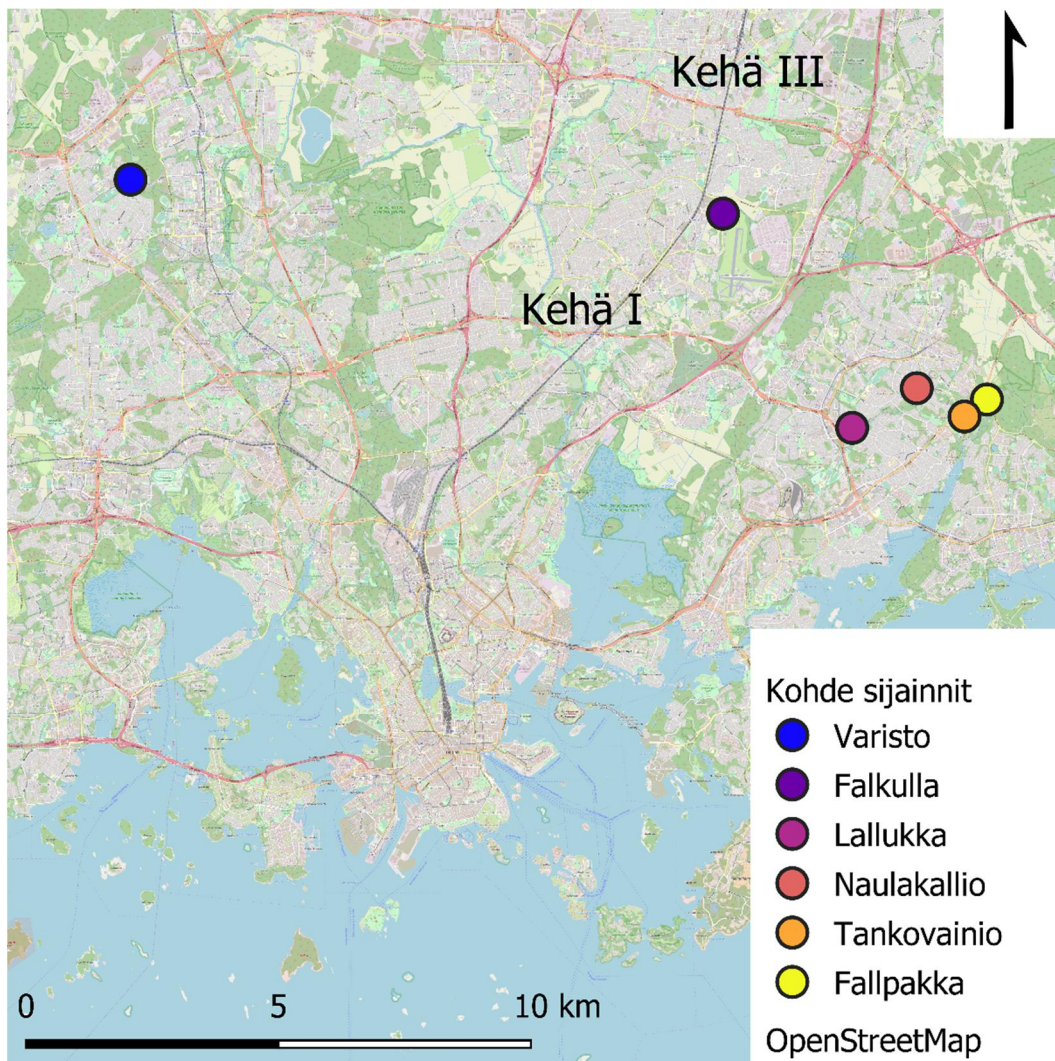
### 7.1 Tutkimuskohteiden instrumentointi

Tutkimuskohteet on valittu ohjausryhmän toimesta, johon on kuulunut kohteiden valinnan aikana:

Asko Aalto	Helsingin kaupunki
Heli Lehtinen	Helsingin kaupunki
Juha Korpi	Helsingin kaupunki
Mirva Koskinen	Helsingin kaupunki
Risto Niinimäki	Helsingin kaupunki
Harri Ruotsala	Helsingin kaupunki
Mikko Suominen	Helsingin kaupunki
Janika Tirinen	Helsingin kaupunki
Juha Forsman	Ramboll Finland
Jaana Itkonen	Ramboll Finland
Kimmo Järvinen	Ramboll Finland
Johanna Kaarlampi	Ramboll Finland
Riikka Mäyränpää	Ramboll Finland
Maija Jylhä-Ollilla	Ramboll Finland
Taavi Valjakka	Aalto yliopisto

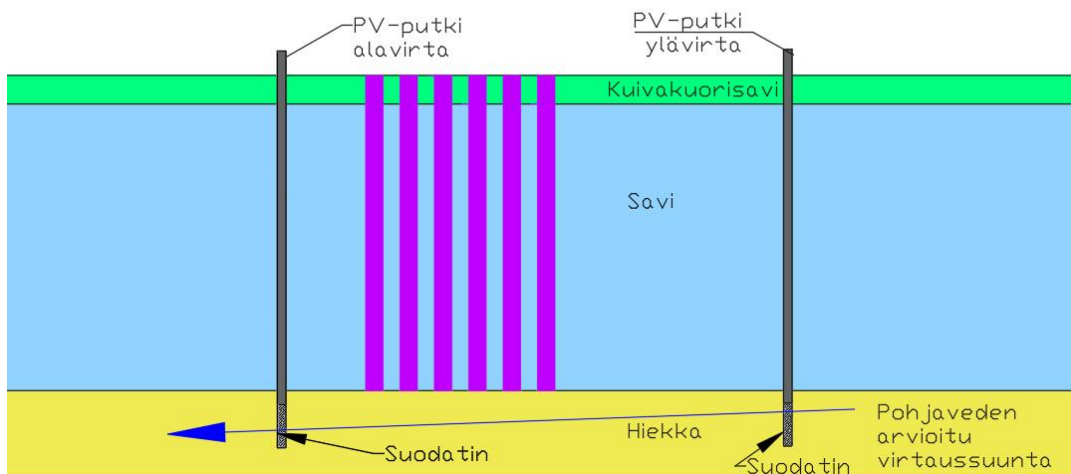
Tavoitteena oli valita kohteita, joissa pohjaveden virtaussuunnat pystytään tunnistamaan ja joissa pystytään asentamaan pohjavesiputket siten, että saadaan pohjavesinäytteitä pilaristabilointiin nähden pohjaveden ylä- ja alavirran puolelta. Pilaristabilointialueiden alueiden täytyy olla myös riittävän laajoja luotettavien tulosten saamiseksi. Myös olemassa olevat pohjavesiputket ja uusien pohjavesiputkien asentamisen toteutettavuus ja pitkäaikaisen säilymisen mahdollisuus otettiin huomioon kohteiden valinnassa. Näillä kriteereillä Helsingin kaupungin instrumentoitaviksi kohteiksi valikoituivat: Fal-kulla, Lallukka, Naulakallio, Tankovainio ja Fallpakka. Vantaan kaupungin kohteeksi valikoitui Luhtitie Varistossa. Tutkimuskohteiden sijainnit on esitetty kuvassa 7.1.





**Kuva 7.1:** Pohjavesiputkilla instrumentoitujen pilaristabilointikohteiden stabilointikohteiden sijainnit Helsingissä ja Vantaalla.

Kohteiden pohjavesiputket on asennettu niin, että putken suodatinosaa on saven alapuolisessa paremmin vettä johtavassa kerroksessa. Kuvassa 7.2 on esitetty mittausasetelman periaatekuva. Kuvassa 7.2 on esitetty violetilla värillä pilaristabilointi, sekä harmaalla pohjavesiputket. Kuva 7.2 on periaatekuva, joka ei perustu todelliseen kohteeseen.



**Kuva 7.2:** Esimerkkikuva tutkimusasetelmasta.

## 7.2 Tutkimuskohteiden vesinäytteiden laboratorioanalyysit

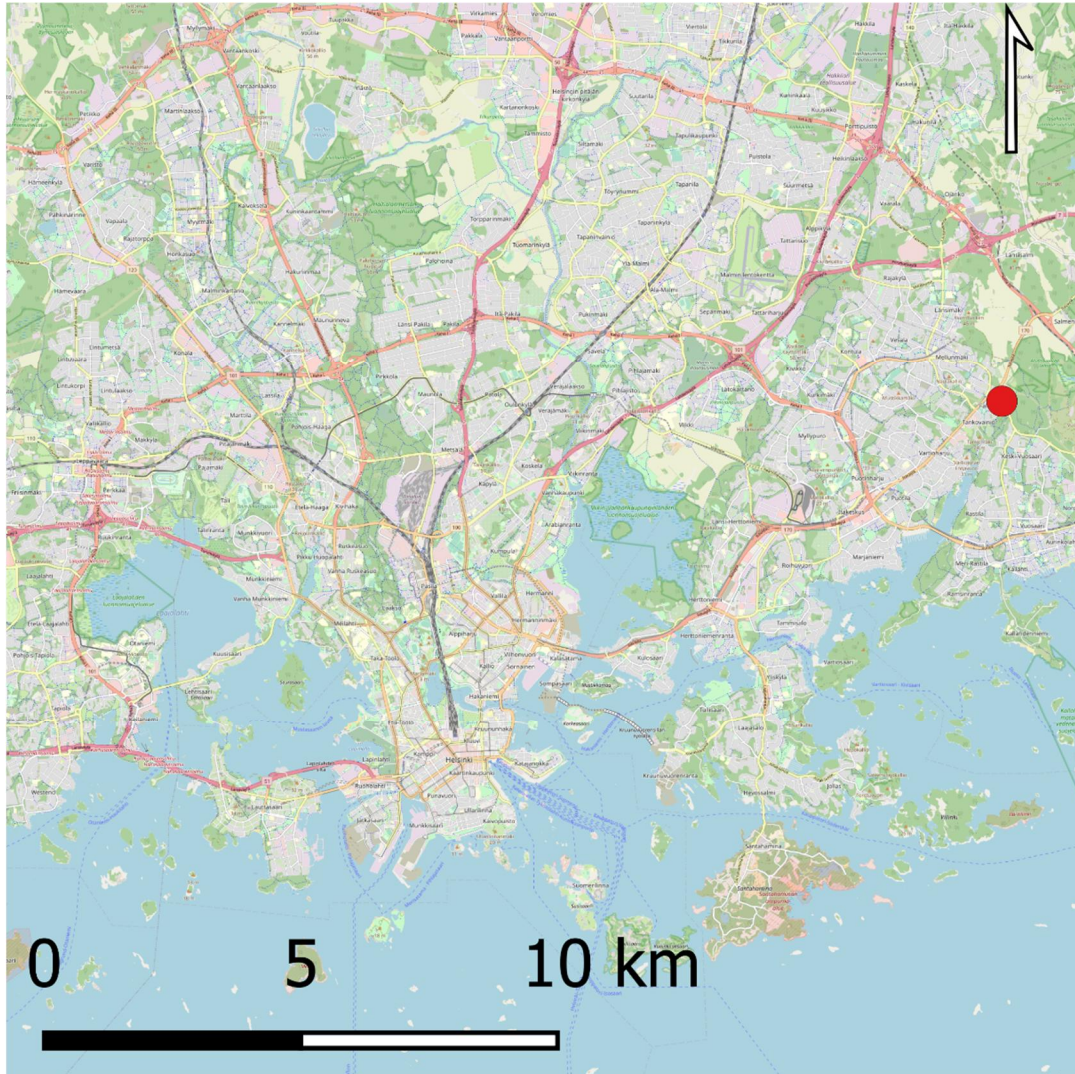
Pohjavesinäytteistä tutkittiin kentällä YSI-mittarilla pH, happipitoisuus, sähkönjohtavuus, redox-potentiaali, lämpötila. Pohjavesinäytteet tutkitaan myös laboratoriossa. Laboratoriossa suoritettuihin mittauksiin kuului seuraavat:

- happi
- redox
- pH
- sähkönjohtavuus
- sameus
- kemiallinen hapenkulutus  $COD_{Mn}$
- alkaliteetti
- kloridi
- sulfaatti
- ammonium
- nitraatti
- kokonaistyyppi
- PIMA-metallit sis. Hg, Al, Fe, Mn (kokonaispitoisuudet)
- PIMA-metallit sis. Hg, Al, Fe, Mn (liukoiset pitoisuudet)
- F, Ca, Mg, B, S, (kokonaispitoisuudet)
- PAH-yhdisteet
- haihtuva yhdisteet (VOC PIMA)
- PCB-yhdisteet

Kerätyt pohjavesinäytteet on analysoitu samassa laboratoriossa. Käytettyjen laboratorio menetelmien mittauserävarmuus vaihtelee 13 % – 42 %. Suurimman osan mittauserävarmuuden ollessa välillä 15 % – 25 %.

### 7.3 Fallpakka, Helsinki

Fallpakka sijaitsee Itä-Helsingissä kuvan 7.3 osoittamassa sijainnissa.



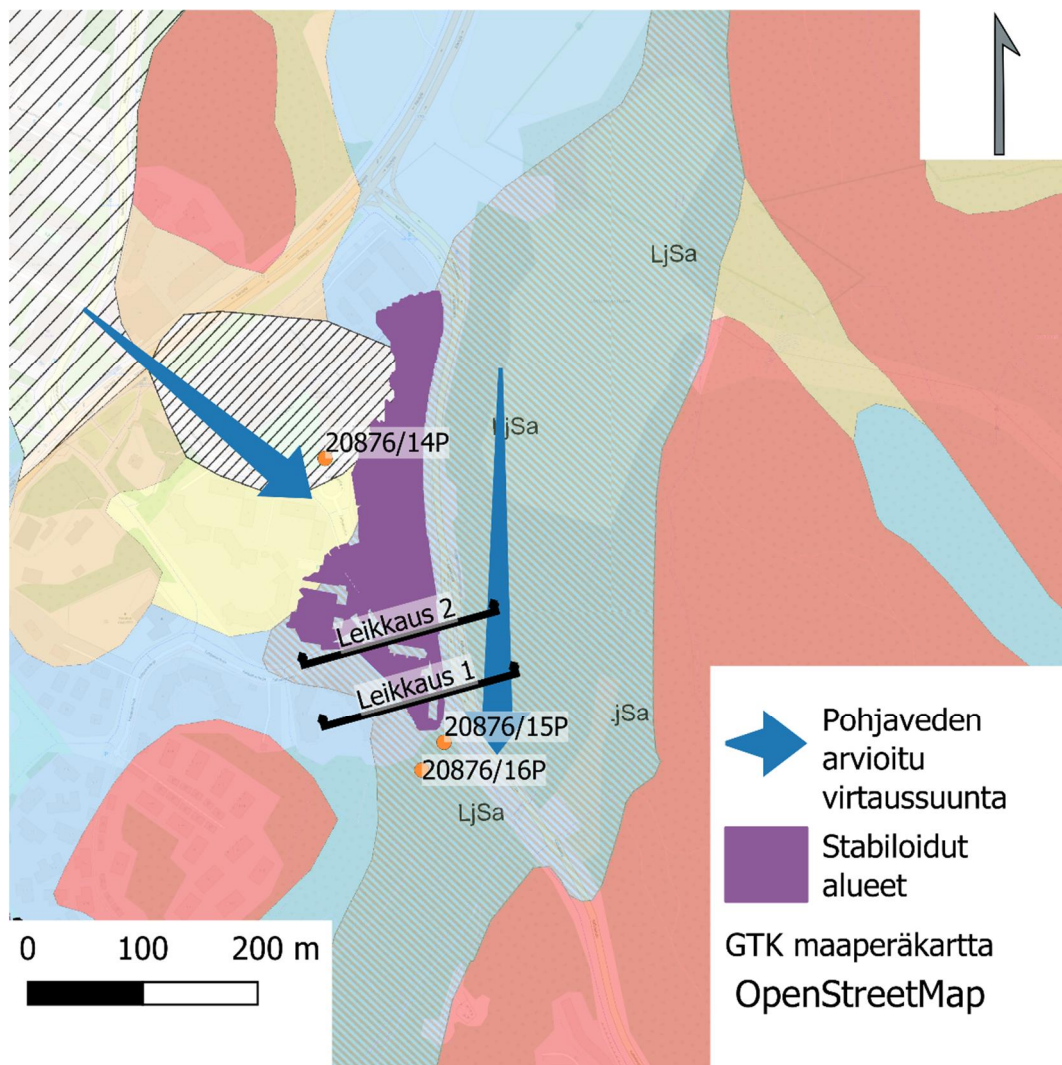
**Kuva 7.3:** Helsinki, Fallpakka sijainti. (Tausta: OpenStreetMap 2022)

Alueen maan pinnan taso vaihtelee tasovälillä +2...3. Alueen maaperä on pääosin savea, jonka alapinta vaihtelee tasojen -6 ja -9 välillä. Alueen itä- ja eteläpuolella sijaitsee humuspitoisempaa maa-ainesta. Alueen pohjavesi virtaa arviolta alueelle luoteesta päin ja muuttaa virtaus suuntaa enemmän pohjoisesta etelään suuntautuvaksi alueen kohdalla.

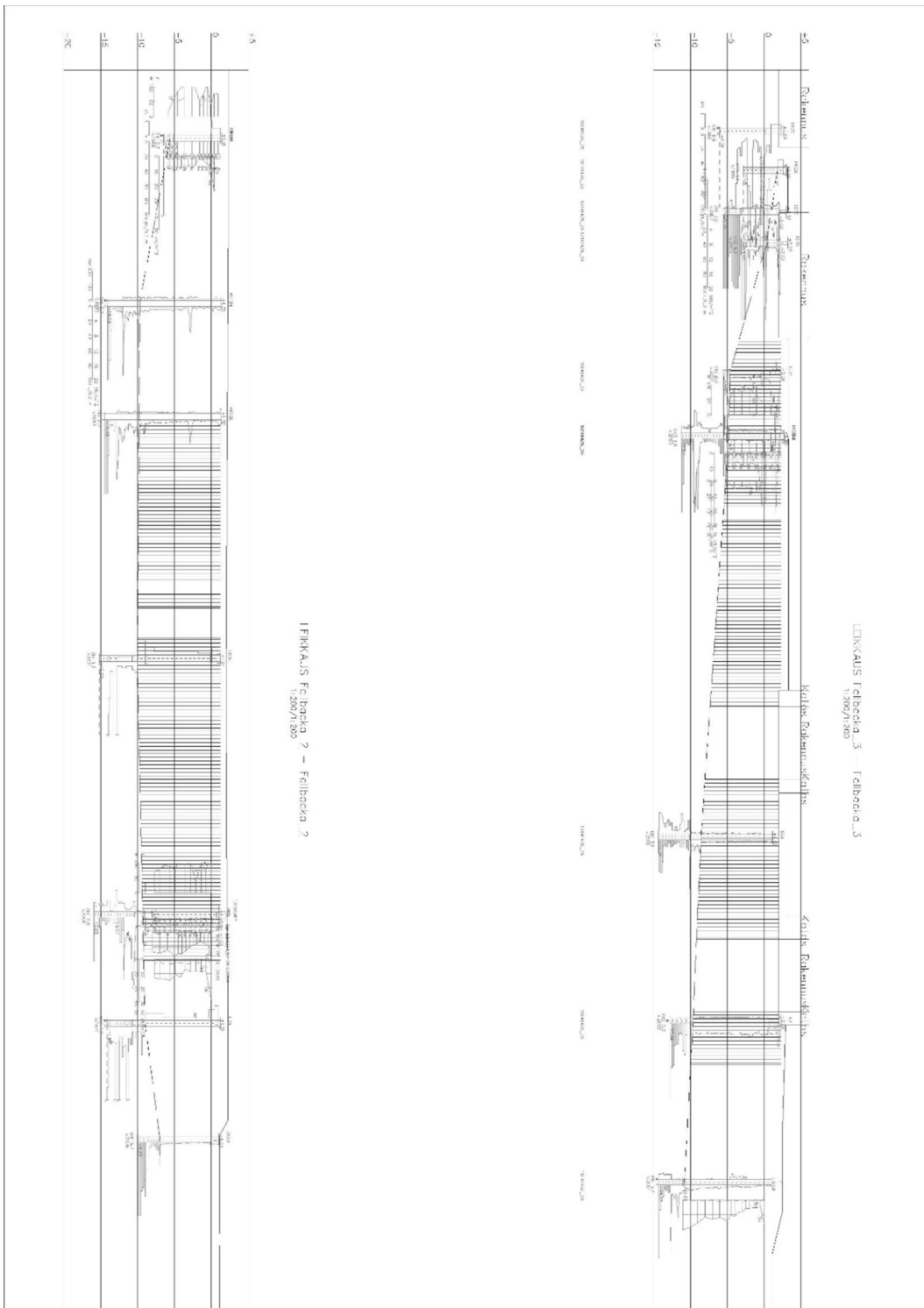
Fallpakka on asuinalue, jossa sijaitsee kaksikerroksisia rivitaloja, sekä alueen pohjoispuolella sijaitsee pienkerrostaloja. Vuonna 1998 Fallpakassa on poistettu alueen länsipuolella olevia humusmaita ja toteutettu kalkkipilaristabilointi. Pilarien halkaisijat ovat olleet 500 mm ja stabilointi on suoritettu saven alapintaan. Fallpakan muut alueet on esirakennettu ja pilaristabiloimalla vuosien 2007 ja 2008 aikana. Vuonna 2007 on käytetty halkaisijaltaan 600

ja 700 mm pilareita. Sideaineena on käytetty sideaineseosta, joka sisältäen sammutettua kalkkia, Finnsementtiä perussementti (CEM II/B-S 42,5 N), Finnstabi dihydraattikipsiä ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ja sammutettua kalkkia kalsiumhydroksidia ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (Helsingin kaupunki 2007)

Fallpakkaan asennettiin kolme pohjavesiputkea, joita käytetään tämän tutkimuksen pohjavedenlaadun tarkkailussa. Putki 20876/14P sijaitsee kohdealueeseen nähden siten, että putkea kutsutaan myöhemmin ylävirranputkeksi. Kohteen eteläpuolella sijaitsee kaksi pohjavedentarkkailuputkea: 20876/15P ja 20876/16P, joita kutsutaan myöhemmin alavirranputkiksi. Pohjavesiputkien sijainnit on esitetty kuvassa 7.4.



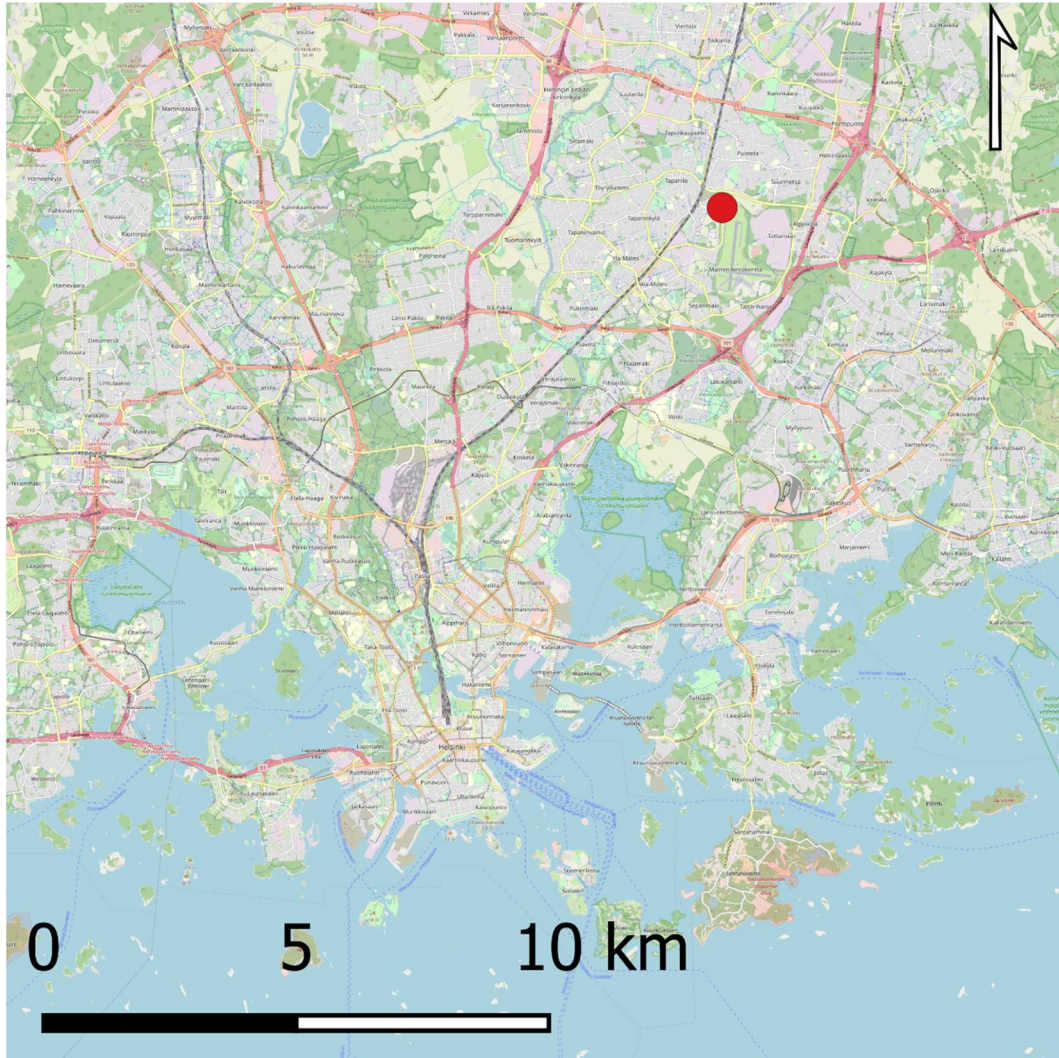
**Kuva 7.4:** Fallpakka stabilointialue, leikkausten ja pohjavesiputkien sijainnit kartalla



**Kuva 7.5:** Falpakka, pohjatutkimus leikkaukset 1 & 2.

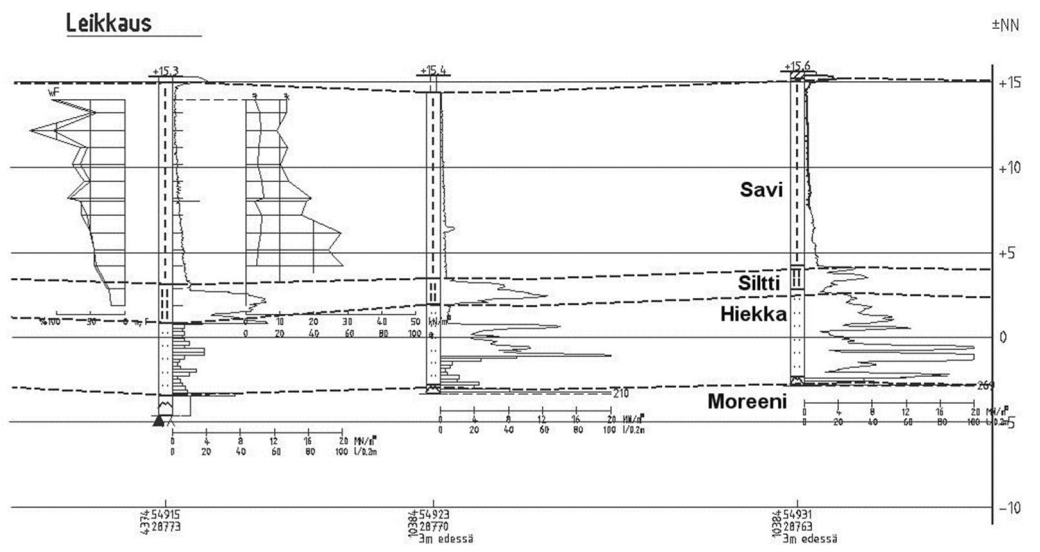
## 7.4 Falkulla, Helsinki

Falkullan stabilointikohde sijaitsee Koillis-Helsingissä, kuvan 7.6. osoittamassa sijainnissa.



**Kuva 7.6:** Helsinki Falkulla sijainti. (Tausta: OpenStreetMap 2022)

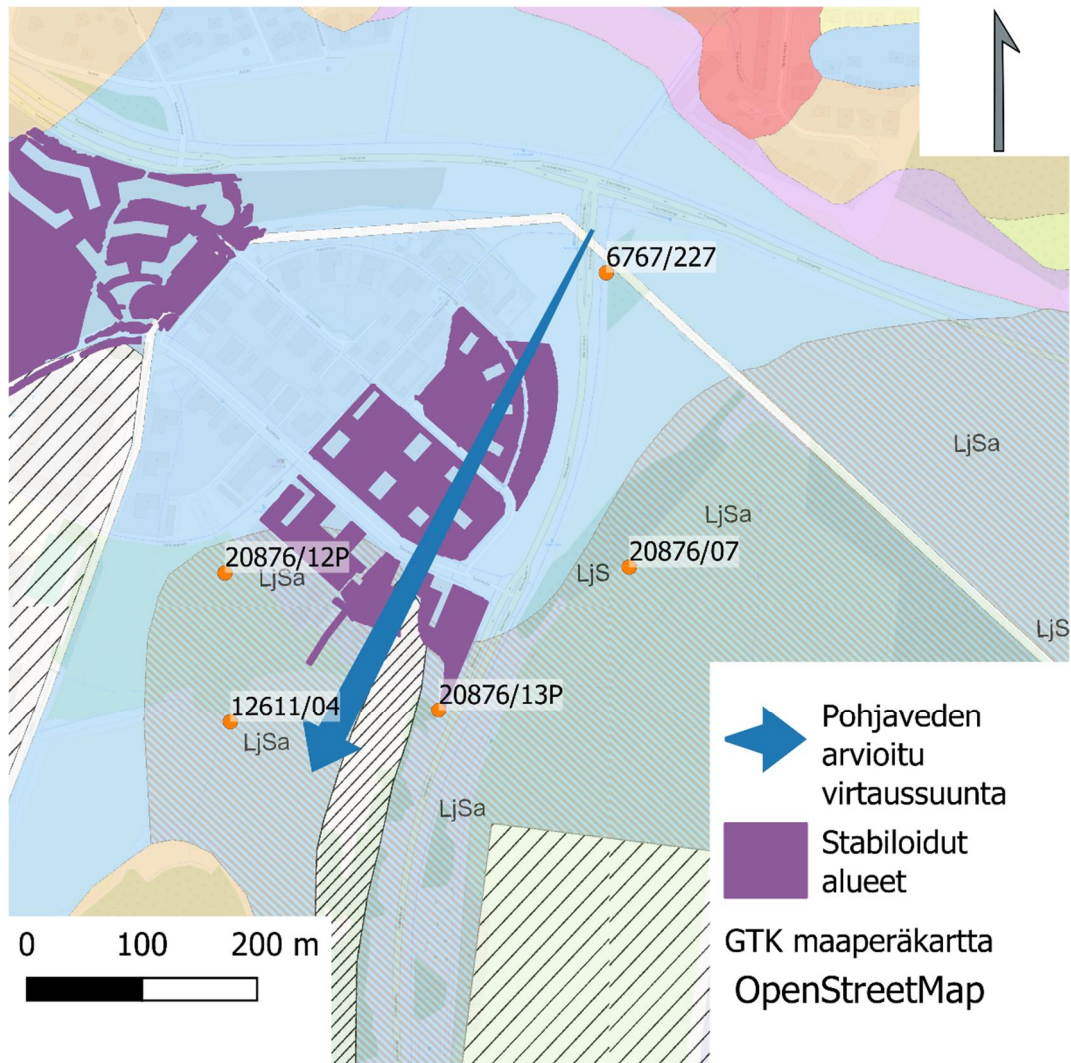
Falkullan kohteessa maanpinnataso vaihtelee + 15 ja +16 välillä. Alueen Etelä- ja Itäosissa sijaitsee humuspitoista maata noin metrin paksuudelta, jota on osittain esiintynyt alueen pintamaassa. Pintakerroksen alla sijaitsee savialueella, jonka paksuus vaihtelee 6–13 metrin välillä. Saven alapuolinen maakerros on silttiä ja hiekkaa. Alueella tehdyt kairaukset ovat päättyneet 16–23 metrin syvyyteen. Alueen pohjaveden pintatasot ovat suoritetujen mittausten perusteella ollut lähellä maanpintaa tasojen +14,1 ja +15,8 välillä. Kuvassa 7.7 on esitettyä alueen tyypillinen maanleikkaus.



**Kuva 7.7:** Falkullan tyypillinen pohjatutkimusleikkaus. (Paatsema & Kangas 2003).

Falkullan kohde on pientaloalue, jonka tontti ja katu alueita on stabiloitu vuoden 2001...2002 välillä. Stabiloinnissa on käytetty kalkkisementtiseosta, suhteella 50/50 %. Sementtinä käytettiin CEM II B 42,5 tyyppin sementtiä. Stabilointi toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa sideainemääränä on ollut 150 kg/m<sup>3</sup> ja toisessa vaiheessa sideainetta on käytetty 170 kg / m<sup>3</sup> stabiloinnin ensimmäisessä viidessä metrissä ja syvemmillä 120 kg/m<sup>3</sup>. Pilarihalkaisijat ovat 600 mm katualueilla ja tonttialueilla 500 mm. Pilarien kärkiväli on kaikkialla 1,0 m. Kohdealueen luoteispuolella sijaitsevan Falkullan kiilan rakentaminen on aloitettu 2019.

Falkullassa sijaitsee 29 pohjavedentason mittauspistettä, joiden perusteella pohjavedenvirtaus on pohjoisesta etelään kuvan 7.8 osoittamalla tavalla. Alueen pohjavedenpinnantaseroerot ovat pieniä, jonka takia arvioissa on epävarmuutta. Falkullassa sijaitsee viisi pohjavesiputkea, jota käytetään tämän tutkimuksen pohjavedenlaadun tarkkailussa. Putket 6767/227 ja 20876/07 sijaitsevat kohdealueeseen nähden niin, että ne stabiloinnin vaikutus voidaan olettaa olevan hyvin vähäisestä merkityksetön. Näitä putkia kutsutaan myöhemmin ylävirranputkiksi. Kohteen eteläpuolella sijaitsee kolme pohjavedentarkkailuputkea: 20876/12P, 12611/04 ja 20776/13P, joita kutsutaan myöhemmin alavirranputkiksi. Arvioidun pohjavedenvirtauksen perusteella luoteispuolella sijaitseva Falkullan kiila ei vaikuta tutkimuksen pohjavesiputkien mittauksiin. Kuvassa 7.8 on esitetty Falkullan alueen stabiloidut alueet, pohjamaa maalajeittain, pohjaveden arvioitu virtaussuunta sinisellä nuolella, sekä tutkimuksessa olevat pohjavesiputket.



**Kuva 7.8:** Falkulan stabilointialue, leikkausten ja pohjavesiputkien sijainnit kartalla.



## 7.5 Lallukka, Helsinki

Lallukan stabilointikohde sijaitsee Koillis-Helsingissä, kuvan 7.9. osoittamassa sijainnissa.



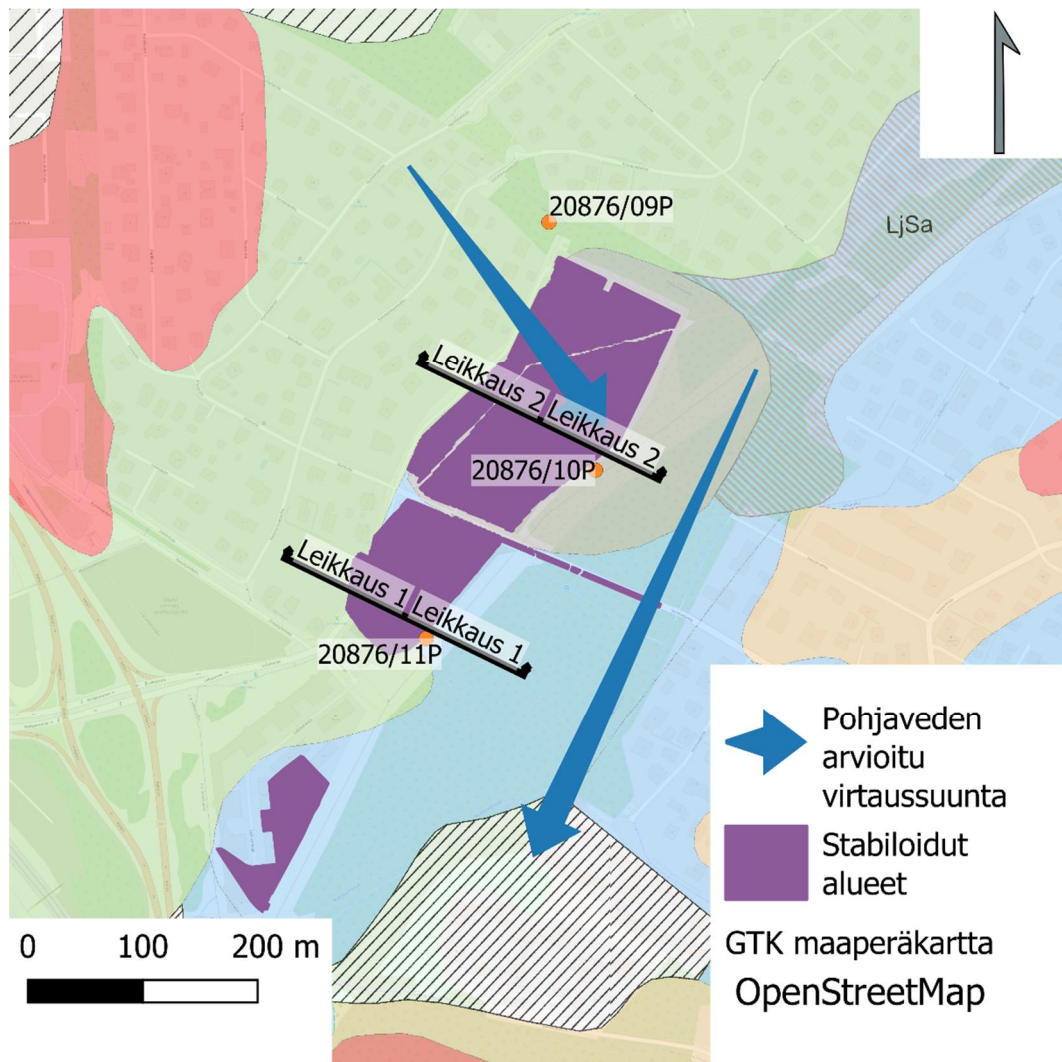
**Kuva 7.9:** Helsinki, Lallukan sijainti. (Tausta OpenStreetMap 2022).

Kohde sijaitsee savialueella. Alueen Etelä-osissa maanpinnassa on 1,5–2 metrin paksuinen turvekerros, jonka alla saven paksuus vaihtelee 3 ja 4 metrin välillä. Alueen Länsi- ja Pohjoispuolella maaperä on pääosin hiekkaa. (Helsingin kaupunki 2012a).

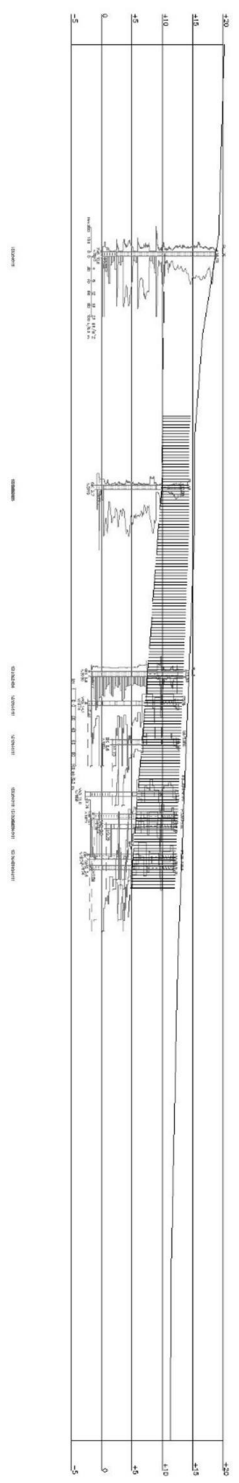
Lallukan kohde on pientaloalue, jonka tontti ja katu alueita on stabiloitu vuonna 2012. Stabiloinnissa on käytetty kalkki-sementtiä suhdeluvulla 50 / 50 %. Sideainemääränä stabiloinnissa on ollut 142 kg / m<sup>3</sup>. Pilarit on asennettu niin, että niiden yläpää on vaihdellut 0,3–2 metriä maanpinnasta ja alapäävät ovat arvioidun savenalapinnassa. Pilaripituudet vaihtelivat 2,9...6,6 metrin välillä keskiarvon ollen 4,2 metriä. Pilari halkaisijana alueella on 600

mm. Alueen pintamaan turve on myöhemmin massastabiloitu. (Ramboll 2012).

Lallukkassa sijaitsee kolme pohjavesiputkea, jota käytettiin tämän tutkimuksen pohjavedenlaadun tarkkailussa. Putki 20876/09P sijaitsi kohdealueeseen nähden niin, että stabiloinnin vaikutus voidaan olettaa olleen merkityksetön. Tätä putkea kutsutaan myöhemmin ylävirranputkeksi. Kohteen eteläpuolella sijaitsi kaksi pohjavedentarkkailuputkea: 20876/10P ja 20876/11P, joita kutsutaan myöhemmin alavirranputkiksi. Kuvassa 7.10 on esitetty Lallukan alueen stabiloidut alueet, pohjamaa maalajeittain, pohjaveden arvioitu virtaussuunta sinisellä nuolella, sekä tutkimuksessa olevat pohjavesiputket. Kuvassa 7.11 on esitettyä Lallukan maaleikkaukset 1 ja 2.



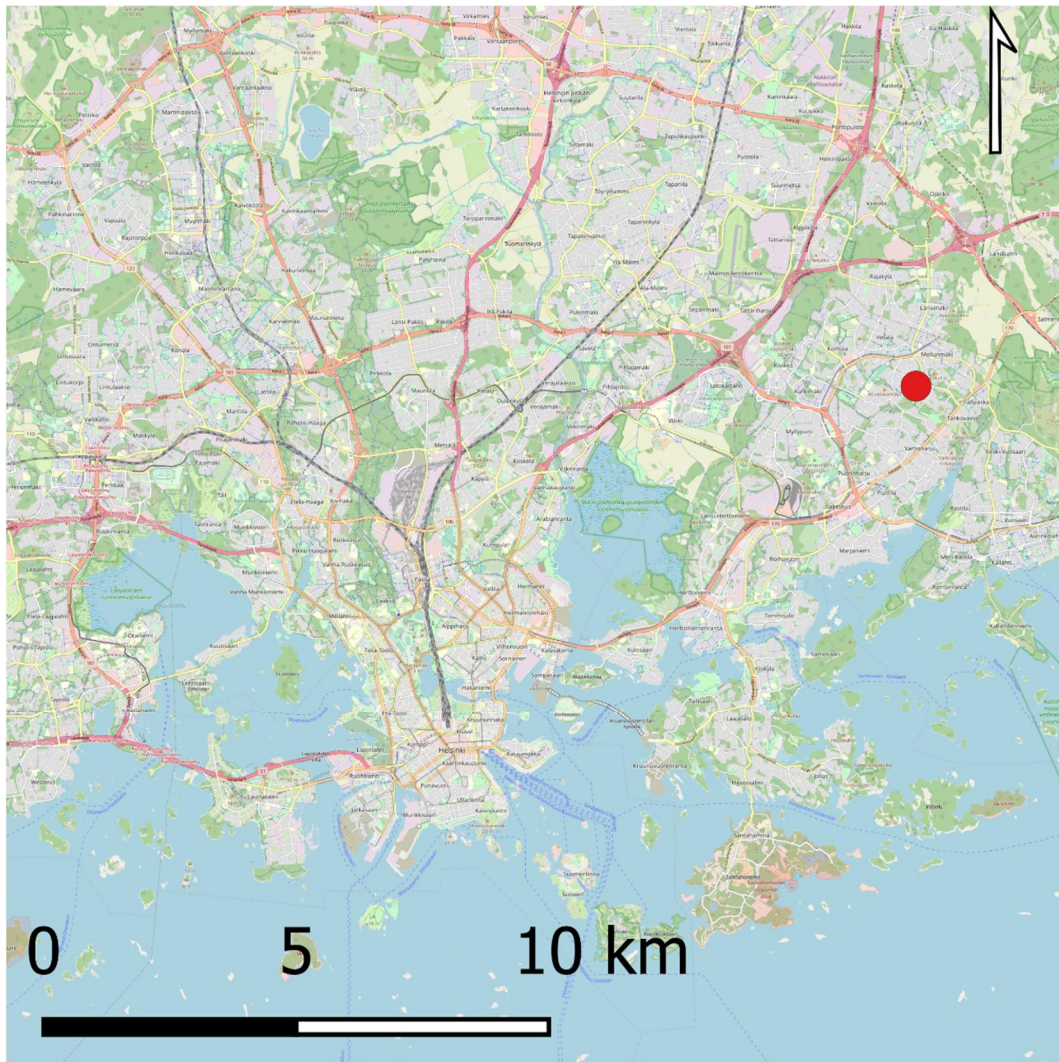
**Kuva 7.10:** Lallukan stabilointialue, leikkausten ja pohjavesiputkien sijainnit kartalla.



**Kuva 7.11:** Lallukka pohjatutkimusleikkaukset

## 7.6 Naulakallio, Helsinki

Naulakallion stabilointikohde sijaitsee Koillis-Helsingissä, kuvan 7.12. osoittamassa sijainnissa.

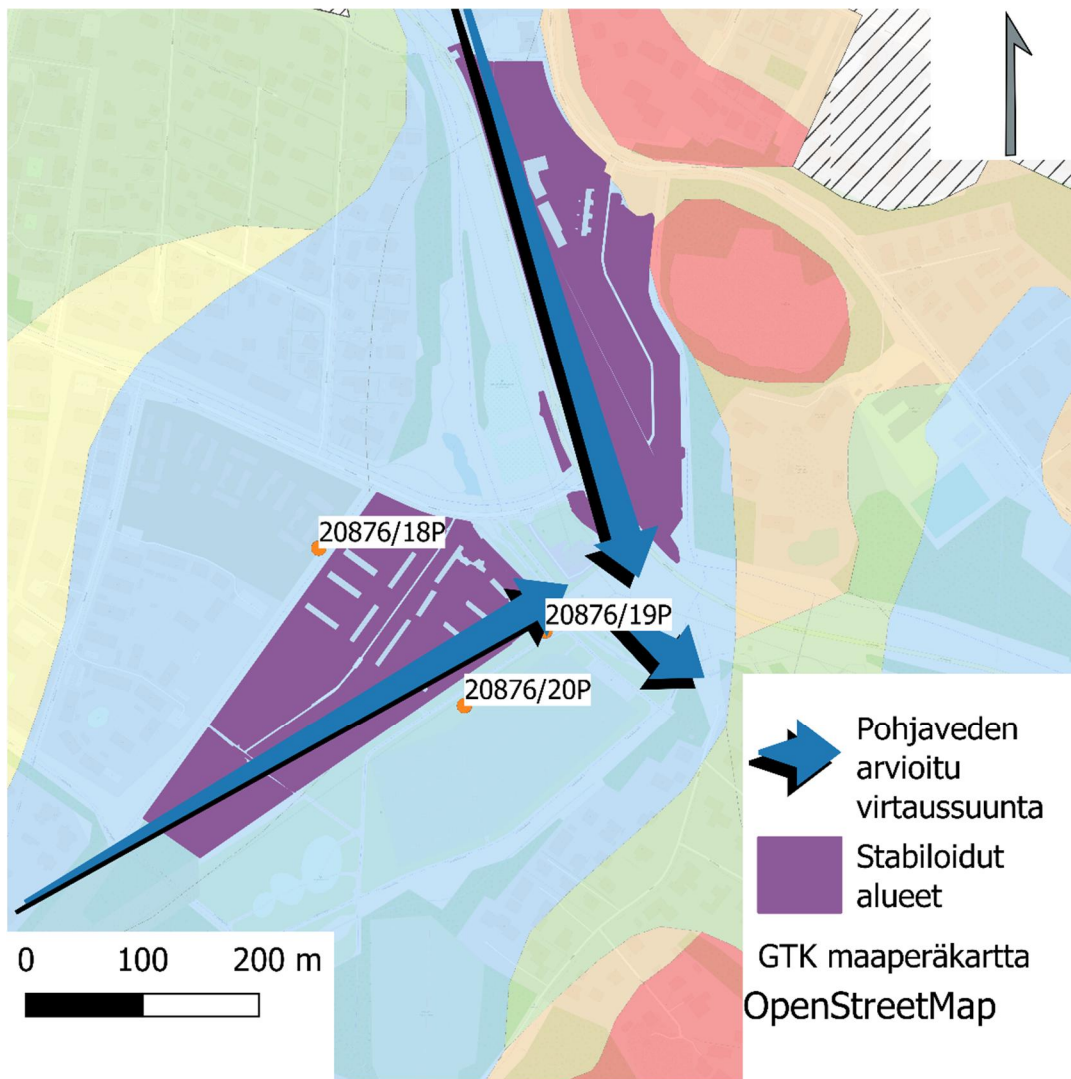


**Kuva 7.12:** Helsinki, Naulakallion sijainti. (Tausta: OpenStreetMap 2022)

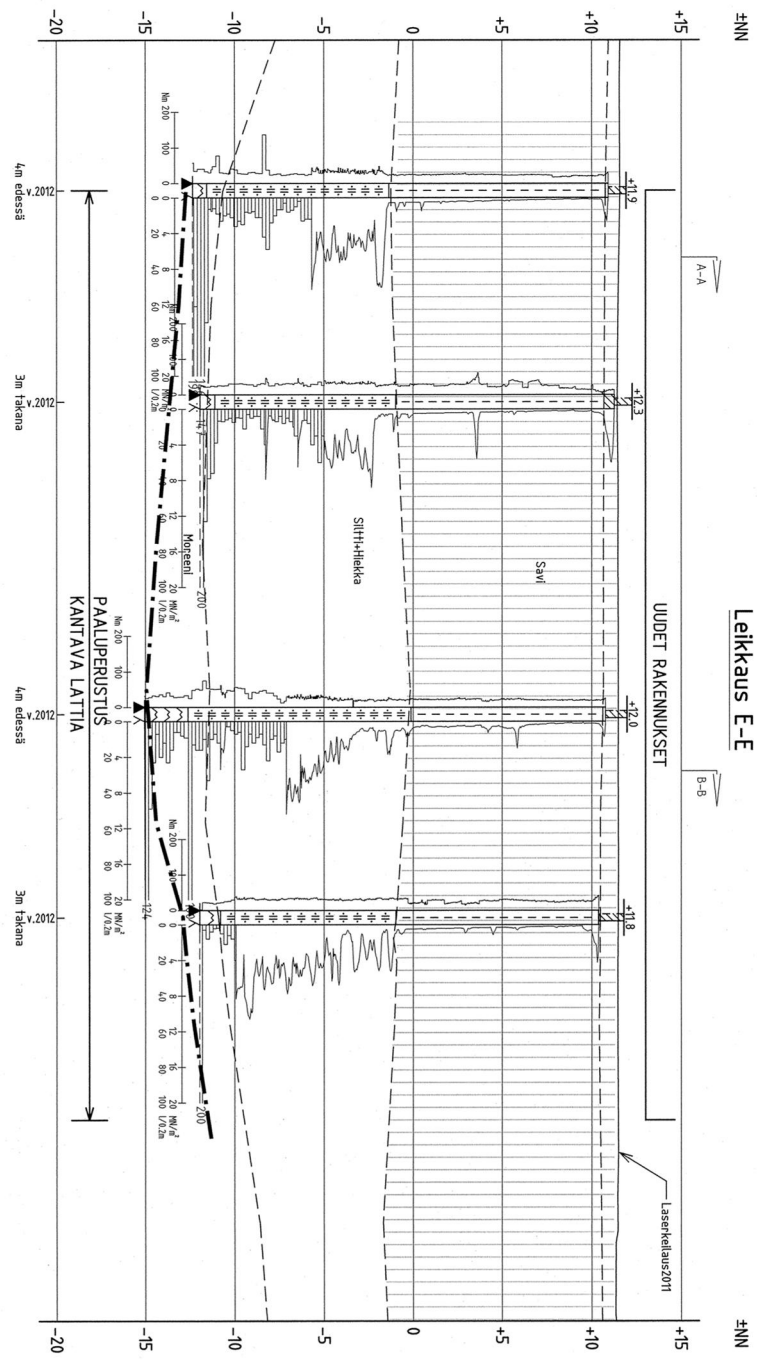
Naulakallion kohde on pientalo alue, joka on rakennettu vuonna 2012. Alueen maanpinnan taso vaihtelee välillä +11,3 ja +11,7 merenpinnasta. Rakentamisen yhteydessä luonnonmaanpinnalle on sijoitettu 0,4 metriä paksu hiekkakerros. Täyttöhiekkakerroksen alla sijaitsee kuivakuorikerros, jonka paksuus vaihtelee 0,5 ja 1,0 metrin välillä. Kuivakuoren alla sijaitsee savikerros, jonka paksuus vaihtelee tasojen +12 ja +15 metrin välillä. Savikerroksen vesipitoisuus vaihteli 35 ja 120 % välillä. Saven alla on hiekka kerros, jonka paksuutta ja kalliovarmistuksia ei rakennuttamisen yhteydessä selvitetty. Kairauksia suoritettiin vaihdellen 19 ja 27 metriin saakka saavuttamatta kalliota. (Helsingin kaupunki 2012b)

Naulakallion kohde on stabiloitu vuonna 2011. Keskialueen tontit on stabiloitu käyttäen sideaineena kalkkisementtiä. Pilarien halkaisijat ovat 0,6 metriä kärkien etäisyyden ollessa 1,3 metriä. Pilarit on ulotettu savikerroksen saven alapohjaan asti ja yläosa yletetty luonnollisenmaanpintaan asti, jonka päälle asetettu 0,4 metriä täyttöä (Helsingin kaupunki kiinteistövirasto 2012b)

Naulakalliossa sijaitsee kolme pohjavesiputkea, jota käytetään tämän tutkimuksen pohjavedenlaadun tarkkailussa. Putki 20876/18P sijaitsee kohdealueeseen nähden niin, että ne stabiloinnin vaikutus voidaan olettaa olevan hyvin vähäisestä merkityksetön. Tätä putkea kutsutaan myöhemmin ylävirranputkeksi. Kohteen eteläpuolella sijaitsee kaksi pohjavedentarkkailuputkea: 20876/19P ja 20876/20P, joita kutsutaan myöhemmin alavirranputkiksi. Kuvassa 7.13 on esitetty Naulakallion alueen stabiloidut alueet, pohjamaa maalajeittain, pohjaveden arvioitu virtaussuunta sinisellä nuolella, sekä tutkimuksessa olevat pohjavesiputket. Kuvassa 7.14 on esitetty Naulakallion maaleikkaus.



**Kuva 7.13:** Naulakallio stabilointialue ja pohjavesiputkien sijainnit kartalla.



**Kuva 7.14:** Naulakallion pohjatutkimusleikkaus. (Helsingin kaupunki 2012b).

## 7.7 Tankovainio, Helsinki

Tankovainion stabilointikohde sijaitsee Koillis-Helsingissä, kuvan 7.15. osoittamassa sijainnissa.

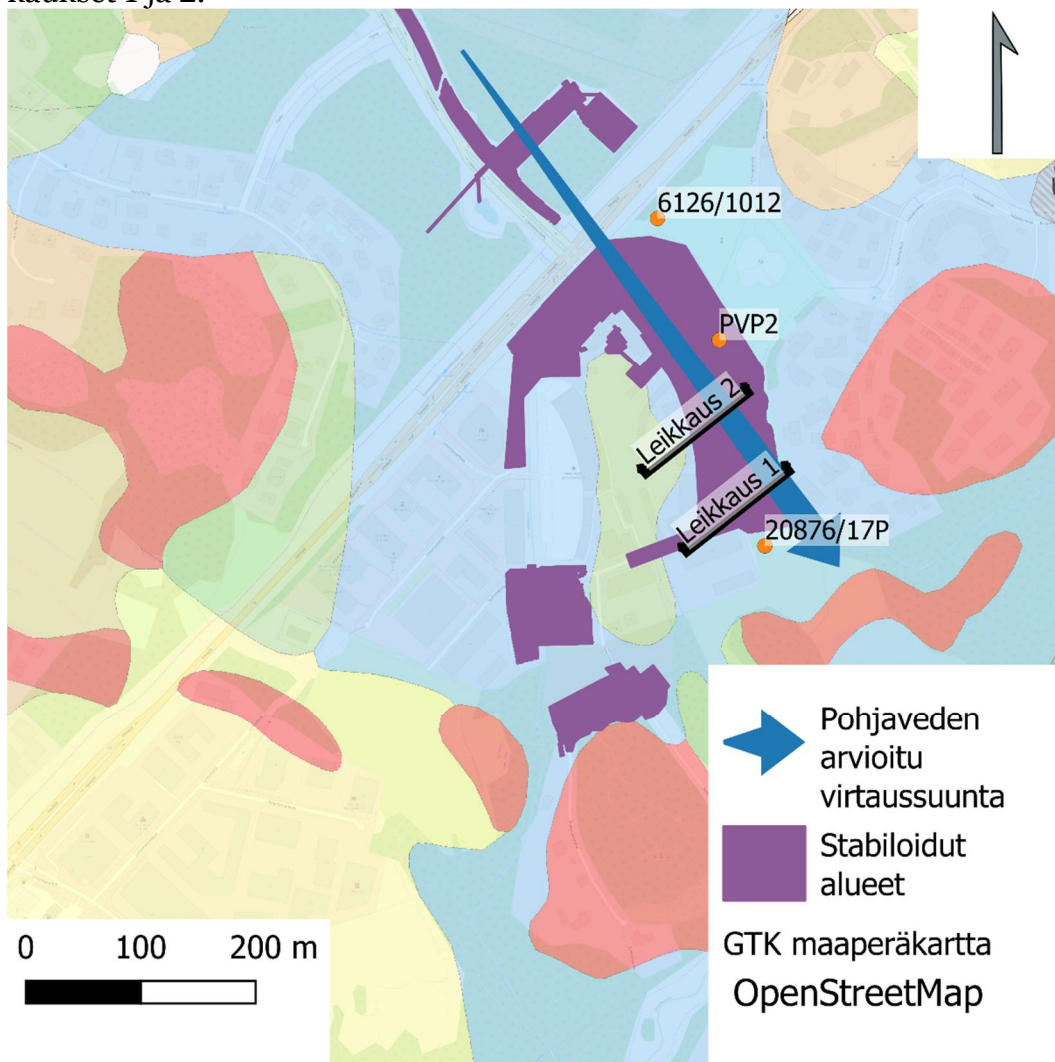


**Kuva 7.15:** Helsinki, Tankovainion sijainti. (Tausta: OpenStreetMap 2022)

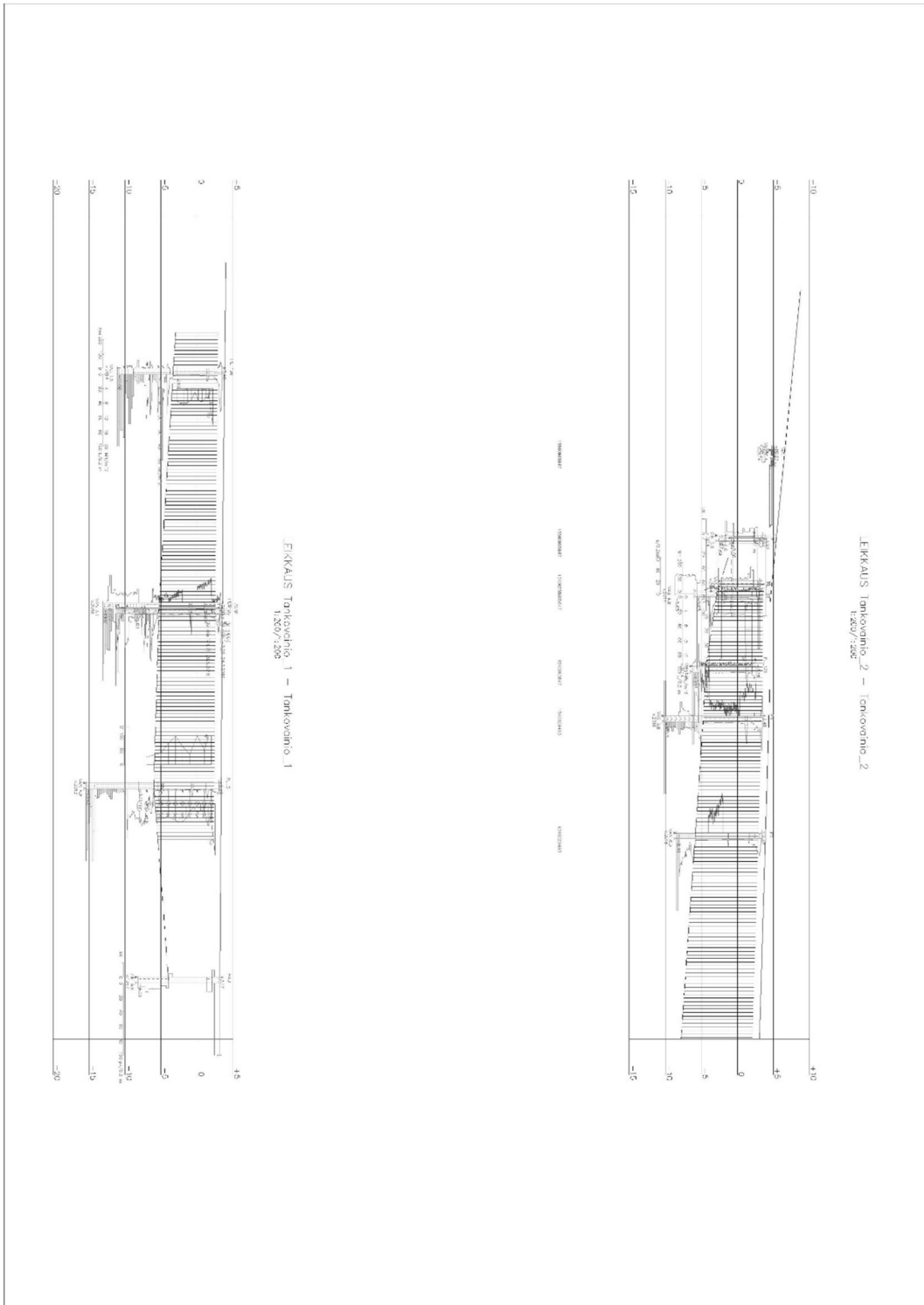
Tankovainio on maaperältään savea, jonka paksuus vaihtelee 10 ja 15 metrin välillä. Saven redusoimaton leikkauslujuus vaihtelee välillä 4–20 kPa. Savikerros sisältää useita siltti- ja hiekkakerroksia. Kohde on stabiloitu vuonna 2016 käyttäen kalkkisementtiseosta suhteena 30/70. Sementtinä on käytetty CEM II sementtiä. Sideainetta on käytetty  $150 \text{ kg/m}^3$ . Pilarit ovat 600 mm kärkivälin ollessa 1,0 metriä. Pilarit ovat asennettu savikerroksen alapintaan asti. (Helsingin kaupunki 2015).



Tankovainiossa sijaitsee kolme pohjavesiputkea, jota käytettiin tämän tutkimuksen pohjavedenlaadun tarkkailussa. Putki 6126/1012 sijaitsee kohdealueeseen nähden niin, että ne stabiloinnin vaikutus voidaan olettaa merkityksetöntä. Tätä putkea kutsutaan myöhemmin ylävirranputkeksi. Kohteen eteläpuolella sijaitsee kaksi pohjavedentarkkailuputkea: PVP2 ja 20876/17P, joita kutsutaan myöhemmin alavirranputkiksi. Kuvassa 7.16 on esitetty Tankovainion alueen stabiloidut alueet, pohjamaa maalajeittain, pohjaveden arvioitu virtaussuunta sinisellä nuolella, sekä tutkimuksessa olevat pohjavesiputket. Kuvassa 7.17 on esitetty Tankovainion maaleikkaukset 1 ja 2.



**Kuva 7.16:** Tankovainio stabilointialue, leikkausten ja pohjavesiputkien sijainnit kartalla.



**Kuva 7.17:** Tankovainio pohjatutkimusleikkaukset.

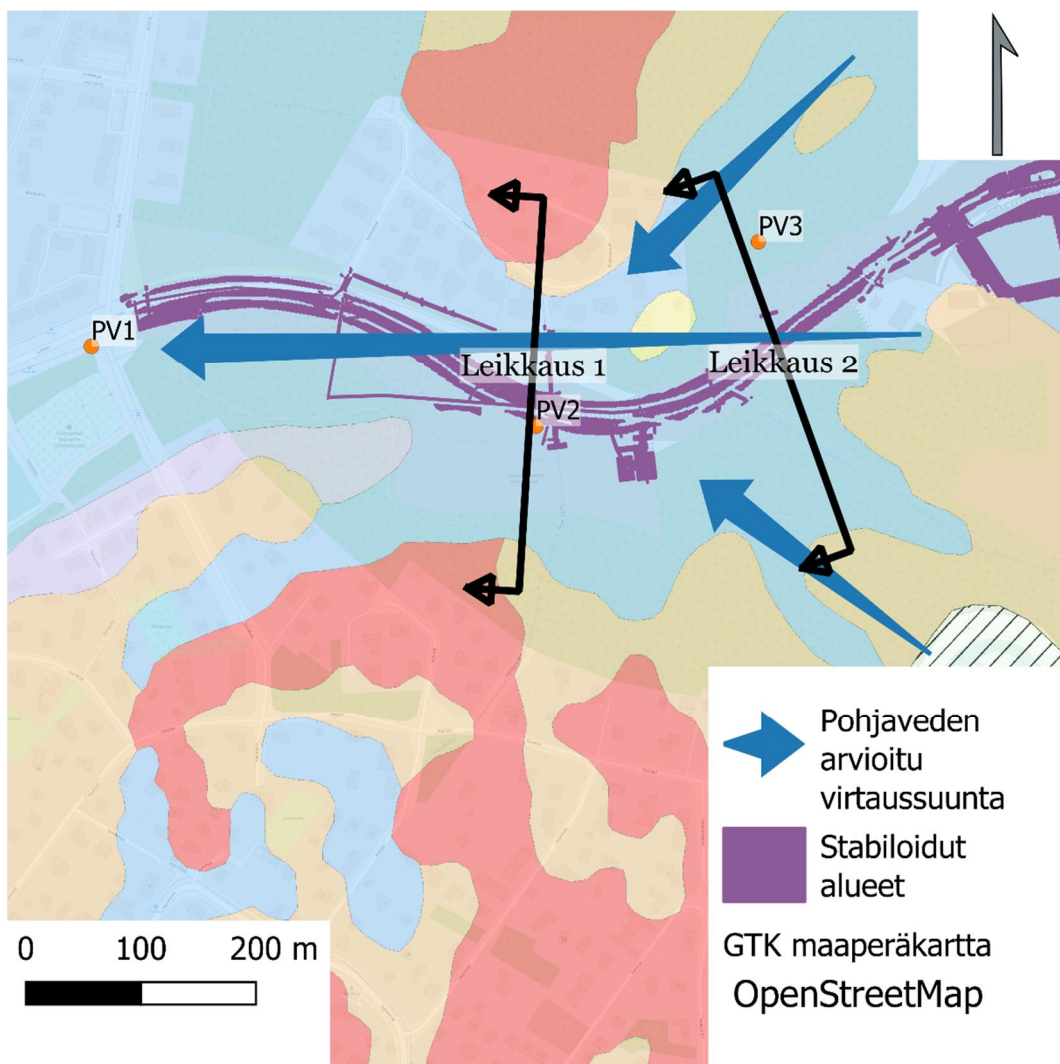
## 7.8 Varisto, Vantaa

Variston stabilointikohde sijaitsee Länsi-Vantalla Variston ja Myyrmäen kaupunginosissa, kuvan 7.18. osoittamassa sijainnissa. Kohde on katu, joka yhdistää Variston ja Myyrmäen kaupunginosat. Luhtitie jakautuu vanhaan katuosuuteen ja uuteen katuosuuteen. Uusi katuosuus perustettiin pilaristabiloinnilla, ja osittain lamellistabiloinnilla. Stabilointi on toteutettu 2021–2022. Alueella on myös koestabilointikenttä kadun eteläpuolella. Rakentaminen katualueella on kesken tämän työn kirjoittamisen ja tulosten keräämisen aikana. Katualueen aikataulun mukainen käyttöönotto on syksyllä 2022. Kohteessa maaperän ylin maakerros on kuivakuorisavi, jonka paksuus vaihtelee 1–2 metrin välillä. Kuivakuoren alla on pehmeä savikerros vaihdellen n. viisi metriä. Savikerroksen alla on silttinen hiekkakerros, jonka paksuus on n. 1–2 metriä. Alimpana maakerroksena on moreenikerros. (Ramboll 2022).

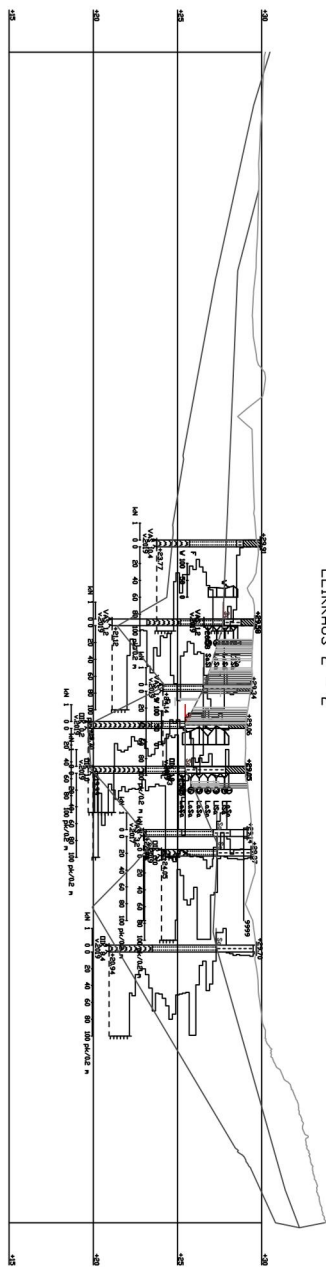


Kuva 7.18: Vantaa, Variston sijainti. (Tausta: OpenStreetMap 2022)

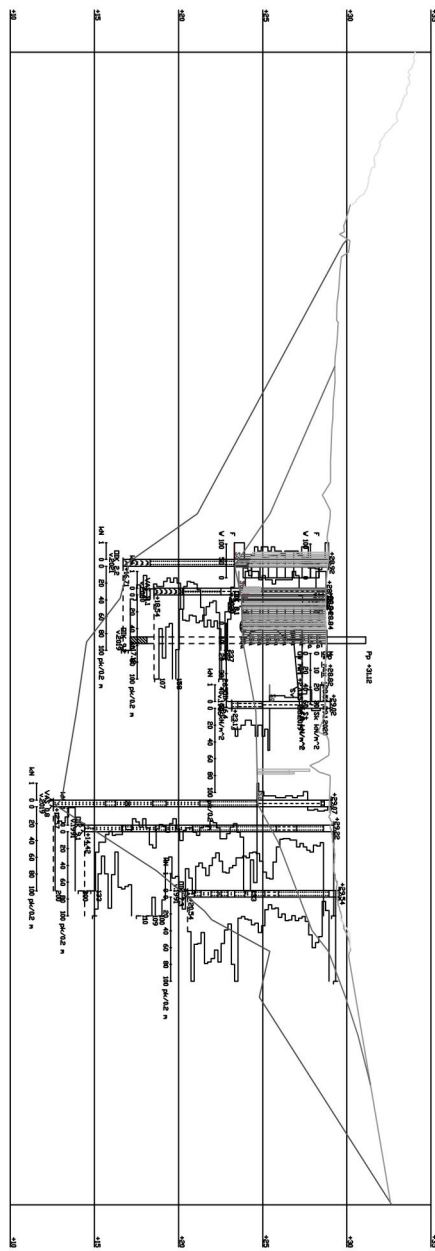
Varistossa sijaitsee kolme pohjavesiputkea, joita käytettiin tässä tutkimuksessa pohjavesinäytteenotossa. Putki PV3 sijaitsee kohdealueeseen nähden niin, että stabiloinnin vaikutus voidaan olettaa olevan merkityksetön. Tätä putkea kutsutaan myöhemmin ylävirranputkeksi. Kohteen eteläpuolella sijaitsee kaksi pohjaveden tarkkailuputkea: PV1 ja PV2, joita kutsutaan myöhemmin alavirranputkiksi. Pohjavesiputkien ja alueen kairausten kalliiovarmennusten perusteella arvioituna pohjavesi virtaa pohjoisesta ja etelästä kadun keskilinjaa kohti, jossa vedenvirtaus suuntautuu kohti länttä. Pohjavesiputkien sijainnit ja arvioitu pohjavedenvirtaus on esitetty kuvassa 7.19. Kaikki kolme putkea on asennettu tätä tutkimusta varten 04/2022.



**Kuva 7.19:** Vantaa, Varisto stabilointialue, leikkausten ja pohjavesiputkien sijainnit kartalla.



LEIKKAUS 2 - 2



LEIKKAUS 1 - 1

Kuva 7.20: Variston pohjatutkimusleikkaukset.

## 8 Tutkimustulokset

Tässä luvussa esitetään työn yhteydessä otettujen vesinäytteiden tutkimustulokset. Tulokset ovat kenttämittaustuloksia tai laboratoriokoetuloksia. Tulokset esitetään ensin kohdekohtaisesti ja tämän jälkeen tulokset esitetään jaoteltuna eri kriteerien mukaan.

Työssä hyödynnetyt pohjavesiputket on esitetty taulukossa 8.1. Taulukossa 8.1. on esitetty putkien asennusajankohta, sekä merkittynä ne putket, jotka on asennettu tätä työtä varten. Työtä varten asennetut pohjavesiputket on asennettu 12/2021–04/2022 välisenä aikana. Osassa näytteitä näytteet on otettu niin pian asentamisen jälkeen, että kaikki näytteet eivät ole välttämättä edustavia. Missään tutkituista kohteista ei ole otettu pohjavesinäytteitä ennen stabilointia alavirran puolelta, joten alavirran näytteiden vertailu on tehty ylävirran puolelta otettujen vesinäytteiden mittaustuloksiin.

Kohdekohtaisissa tuloksissa on esitetty tuloksia kolmessa taulukossa:

- Perustulokset
- Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet
- Haitallisten metallien ja kloridi pitoisuudet

Perustuloksilla tarkoitetaan tässä työssä tehtyjen kenttämittausten ja vedenlaadun perusanalyseista koottua kokonaisuutta. Perustuloksiin kuuluu kenttämitatut: vedentaso, redox-potentiaali, lämpötila, sekä mittajaan havainnot vedenantoisuudesta, veden ulkonäöstä ja hajusta. Kenttämittausten lisäksi perustuloksiin kuuluu vedenperusanalyseista redox-potentiaali, pH, sameus, sähkönjohtavuus, alkaliteetti, happipitoisuus, fluoridi ja kokonaisuus-typä.

Sideaineissa esiintyvillä keskeisillä yhdisteillä tarkoitetaan seuraavia yhdisteitä: kalsium, alumiini, rauta, magnesium, kalium, natrium, sulfaatti ja rikki. Edellä esitetyistä aineista kaikki eivät ole kohteessa käytetyn sideaineen pääraaka-aineita tai välttämättä sideaine sisällä mitattavia määriä esitettyä ainetta. Esitetty lista aineita on muodostettu kattamaan sideaineiden kannalta olennaiset aineet ja käyttämään samaa listaa aineita jokaisen kohdekohtalla.

Haitallisten metallit ja kloridi taulukon aineilla tarkoitetaan Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta (341/2009) mukaisen liitteessä 7 esitettyjä aineita, joiden pitoisuutta on tässä työssä mitattu. Näitä aineita on: kloridi, arseeni, kadmium, koboltti, kromi, kupari, elohopea, nikkeli, lyijy, antimoni ja sinkki. Taulukoissa on myös esitetty (341/2009) mukainen raja-arvo kyseisille aineille.

Kaikki tulokset on esitetty tämän työn liitteessä 4.

Taulukossa 8.1 on esitetty tämän työn tutkimuksessa käytetyt pohjavesiputket, maanpinnantaso, siiviläkärjentaso ja asennus ajankohta.

**Taulukko 8.1:** Pohjavesiputket, joista tehtyjä mittaustuloksia ja pohjavesinäytteitä käsitellään luvussa 8.

Kohde	Putken tunniste	mp.	Siiviläkärjen taso	Asennettu	Asennettu tutkimusta varten
Falkulla, ylä	6767/227	+15,40	+1,12	5/2016	
Falkulla, ylä	20876/07P	+15,29	+2,36	9/2021	
Falkulla, ala	20876/12P	+15,59	+0,05	12/2021	x
Falkulla, ala	12611/04	+15,50	-3,00	5/2017	
Falkulla, ala	20876/13P	+15,73	+1,33	12/2021	x
Lallukka, ylä	20876/09P	+16,24	+6,67	12/2021	x
Lallukka, ala	20876/10P	+11,88	-2,52	12/2021	x
Lallukka, ala	20876/11P	+12,26	-2,24	12/2021	x
Naulakallio, ylä	20876/18P	+11,65	-4,35	3/2022	x
Naulakallio, ala	20876/19P	+11,25	-13,95	3/2022	x
Naulakallio, ala	20876/20P	+11,53	-8,47	3/2022	x
Tankovainio, ylä	6126/1012P	+3,70	-15,20	6/2017	
Tankovainio, ala	PVP2	+3,92	-9,11	9/2017	
Tankovainio, ala	20876/17P	+3,59	-8,80	3/2022	x
Varisto, ala	P1	+28,31	16,91	4/2022	x
Varisto, ala	P2	+29,55	15,38	4/2022	x
Varisto, ylä	P3	+29,81	22,81	4/2022	x
Fallpakka, ylä	20876/14P	+6,84	-1,02	3/2022	x
Fallpakka, ala	20876/15P	+1,58	-21,02	3/2022	x
Fallpakka, ala	20876/16P	+1,12	-18,88	3/2022	x

## 8.1 Fallpakka, Helsinki

Fallpakassa suoritettiin yksi mittauskierros 27–28 huhtikuuta 2022. Pohjavedenpinnankorkeudet vahvistavat ennakkokäsitystä vedenvirtauksesta Pohjoisesta Etelään stabiloidun alueen alitse.

Ylävirran puoleisessa putkessa 20876/14P oli mittauksen aikana veden antoisuus selkeästi alavirran pisteitä heikompi, mikä voi näkyä suurempana kiintoainespitoisuutena. Erikoista tuloksissa on se, että ylävirran puolella pH-arvo on suurempi kuin alavirran – ylävirta 8,6 ja alavirta 7,0 ja 7,8. Alavirran putkessa 20876/16P vesinäyte oli selvästi sameampi kuin kahdessa muussa putkessa, mikä viittaa suurempaa kiintoainespitoisuuteen vedessä. Fallpakan pohjavesinäytteillä tehtyjä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 8.1.

**Taulukko 8.1:** Fallpakan perustulokset

	ylä	ala	ala
Piste	20876/14P	20876/15P	20876/16P
ajankohta	28.4.2022	27.4.2022	27.4.2022
Haju	Hajuton	Hajuton	Hajuton
Ulkonäkö	Harmahtava, hieman samea	Väritön, kirkas	Harmaa, erittäin samea
Antoisuus	Vesi loppuu, tyhjen. 27.4.	Hyvä	Hyvä
Vedentaso	+2,47	+1,072	+0,969
Redox-potentiaali [mV]	-	-53,3	-
pH [-]	8,6	7	7,8
Sameus [FNU]	56	16	3600
Sähkönjohtavuus [mS/m]	54,8	97	64,6
Alkaliteetti [mmol/l]	3,6	2,8	3
Happipitoisuus [mg/l]	1,6	<0,3	<0,3
Fluoridi [mg/l]	0,9	0,6	0,4
Kokonaistyyppi [mg/l]	0,61	0,36	0,41

Fallpakassa on stabiloitu käyttäen kalkkisementtikipsi sideainetta, jonka pääraaka-aineet on esitetty kohdassa 7.2. Edellä mainittujen pitoisuudet Fallpakan pohjavesinäytteistä on esitetty taulukossa 8.2. Sideaineen osista kalsiumin on alavirran puolella suurempi, sekä raudan kokonaisuuden. Sideaineessa rikki ei ole pääraaka-aine, mutta voi sisältää liittyen sideaineiden



valmistukseen. Rikin pitoisuudet mittausnäytteissä oli kaikissa pisteissä koholla.

**Taulukko 8.2:** Fallpakka, Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet

Piste	20876/14P		20876/15P		20876/16P	
	ylä		ala		ala	
	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais
Ca [mg/l]	24	27	57	59	58	140
Al [µg/l]	48	3000	<10	260	<10	140000
Fe [mg/l]	0,031	2	7,5	8,1	<0,01	170
Mg [mg/l]	11	14	13	13	15	63
K [mg/l]	18	21	6,6	6,6	5,8	50
Na [mg/l]	64	76	110	100	46	63
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> )	-	79	-	60	-	51
S [µg/l]	-	23260	-	18270	-	20310

Fallpakan mittauksessa ympäristölaatustandardien ylittäviä arvoja mitattiin arseenin ja kloridin osalta molemmista alavirran putkista. Arseenin osalta raja-arvo ylittyi niin liukoisen kuin kokonaismäärän osalta. Tämän lisäksi ympäristölaatustandardin mukainen arvo ylittyi kokonaismäärältään kadmiumin, koboltin, kromin, kuparin, raudan ja sinkin osalta alavirran putkessa 20876/16P. Liukoisen osuuden on kuitenkin kaikissa edellä mainituissa alle laboratorion määrittäjärajan. Haitalliset met-tulokset Fallpakasta on esitetty taulukossa 8.3.

Fallpakan mittauksessa ympäristölaatustandardien ylittäviä arvoja mitattiin arseenin ja kloridin osalta molemmista alavirranputkista. Arseenin osalta raja-arvo ylittyi niin liukoisen kuin kokonaismäärän osalta. Tämän lisäksi ympäristölaatustandardi ylittyi kokonaismäärältään kadmiumin, koboltin, kromin, kuparin, raudan ja sinkin osalta alavirran putkessa 20876/16P. Huomattavaa pitoisuuksissa on nähdäkseni liukoisen osuuden olevan kaikissa edellä mainituissa alle laboratorion määrittäjärajan. Koholla oleva kiintoaineksen määrä näkyy vesinäytteen sameutena. Haitallisten metallien ja kloridi pitoisuudet Fallpakasta on esitetty taulukossa 8.3.

**Taulukko 8.3:** Fallpakka, Haitallisten metallien ja kloridi pitoisuudet.

Piste	ylä 20876/14P		ala 20876/15P		ala 20876/16P		raja- arvo
	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl [mg/l]	-	17	-	<b>210</b>	-	<b>94</b>	25
As [µg/l]	4,5	3,9	<b>7,4</b>	<b>7,2</b>	<b>16</b>	<b>83</b>	5
Cd [µg/l]	0,074	0,1	<0,024	<0,1	<0,024	<b>1,2</b>	0,4
Co [µg/l]	0,19	0,9	0,21	<0,3	<0,15	<b>64</b>	2
Cr [µg/l]	<0,20	4,9	<0,20	<0,1	<0,20	<b>260</b>	10
Cu [µg/l]	1,3	6,3	<1	1,5	<1	<b>230</b>	20
Hg [µg/l]	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
Ni [µg/l]	3,5	6,4	0,67	<3	1,3	<b>150</b>	10
Pb [µg/l]	<0,15	0,7	<0,15	<0,5	<0,15	57	5
Sb [µg/l]	0,4	<1,0	<0,1	<1	0,7	1,1	2,5
Zn [µg/l]	<5,0	<5	<5	<5	<5	<b>520</b>	60

## 8.2 Falkulla, Helsinki

Falkullassa suoritettiin kaksi näytteenottokierrosta, joista ensimmäinen helmikuussa 2022 ja toinen 04/2022. Kohde on pohjavedenvirtaukseltaan hankalasti tulkittava. Ylävirran putket ovat vedenpinnan tasoiltaan ainoastaan 10 cm korkeammalla verrattuna alavirran idänpuolella oleviin putkiin 12611/04 ja 20876/13P. Alueen lounaiskulmalla sijaitseva 20876/12P on selkeämmin matalammalla vedenpinnan tasoltaan. Pohjavesinäytteissä veden sameus oli selkeästi koholla pisteissä 20876/07P, 20876/12P ja 20876/13P. Tulokset on esitetty taulukossa 7.4.

**Taulukko 8.4:** Falkullan perustulokset näytteenotto helmikuu 2022

	Ylä	Ylä	Ala	Ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
ajankohta	23.2.22	23.2.22	23.2.22	23.2.22	23.2.22
Haju	Hajuton	Hajuton	Hajuton	Hajuton	Hajuton
Ulkonäkö	Ruskea, sameahko	Harmaa, erittäin samea	Harmaa, samea	Ruskea, hieman samea	Harmaa, erittäin samea
Antoisuus	Ok	Hyvä	Ok	Ok	Heikko
Vedentaso	+15,36	+15,24	+14,9	+15,08	+15,14
Redox-potentiaali [mV]	-36,2	-	-18,3	-50,4	49,4
pH [-]	6,8	8,2	6,8	7,8	7,7
Sameus [FNU]	150	4200	4600	94	>10000
Sähkönjohtavuus [mS/m]	36,2	33,7	54,2	48,8	49,5
Alkaliteetti [mmol/l]	2,5	1,8	2,4	3,4	3,3
Happipitoisuus [mg/l]	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3
Fluoridi [mg/l]	0,6	0,7	0,5	0,5	0,7
Kokonaisytyppi [mg/l]	0,13	0,38	1,1	0,35	1,2

Falkullassa on pilaristabiloitu käyttäen kalkkisementtiä (sementti CEM II). Seoksessa on suuri osa kalsiumia, piitä, sekä pienemmät osuudet alumiinia, rautaa, sekä magnesiumia. Edellä mainittujen pitoisuudet Falkullan helmikuun pohjavesinäytteissä on esitetty taulukossa 7.5.

Taulukosta 7.5. on kalsiumin pitoisuudet ovat suurelta osin saman suuruusluokkaa. Alavirran pisteessä 20876/13P on pisteenä suurempi kokonaisuus kalsiumia. Muilta osilta merkittäviä eroja ylä- ja alavirran mittaustenvälillä ei nähdäkseen ole.

**Taulukko 8.5:** Falkulla, Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet, helmikuu 2022

	6767/227		20876/07P		20876/12P		12611/04		20876/13P	
	ylä		ylä		ala		ala		ala	
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais
Ca [mg/l]	32	38	26,53	51,69	58,75	80,45	49,06	46,42	34,26	250,6
Al [µg/l]	<10	5,7	18	85410	<10	104600	<10	4138	24	664600
Fe [mg/l]	8	15	0,011	121,8	7,8	205,7	0,013	4,23	0,016	1030
Mg [mg/l]	10	12	5,14	38,62	15,74	54,33	12,97	12,28	7,64	337,6
K [mg/l]	3,8	5,1	3,7	29,0	8,2	41,2	6,3	6,4	4,5	206,5
Na [mg/l]	22	22	38,97	45,28	42,99	47,59	45,03	43,28	64,85	106,8
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> ) [mg/l]	-	44	-	39	-	120	-	51	-	34
S [µg/l]	-	13190	-	12080	-	36350	-	15420	-	19640

Falkullan helmikuun näytteen otossa raja-arvoja ylittäviä liukoisia pitoisuuksia esiintyi pisteessä 20876/13P arseenilla. Pisteessä 20876/12P koboltin liukoinen ja kokonaispitoisuus ylittyi. Kokonaispitoisuuksia ylittyi ylävirralla pisteessä 20876/07P, sekä alavirralla pisteissä 12611/04 ja 20876/13P seuraavista aineista: arseni, kadmium, kromi, kupari, nikkeli, lyijy, sinkki ja kloridi. Edellä mainituista ylityksistä selkeästi suurin osa pitoisuuksista esiintyi ei liukoisessa muodossa. Falkullan helmikuun ympäristölaaturaja-arvoja sisältävät aineiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.6.

**Taulukko 8.6:** Falkulla, Haitallisten metallien ja kloridin pitoisuudet helmikuu 2022.

	6767/227		20876/07P		20876/12P		12611/04		20876/13P		raja-arvo
	ylä		ylä		ala		ala		ala		
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl- mg/l	-	13	-	24	-	<b>30</b>	-	24	-	<b>46</b>	25
As µg/l	2,6	4,1	2,7	<b>24</b>	0,9	<b>30</b>	5	<b>6,3</b>	<b>17</b>	<b>210</b>	5
Cd µg/l	<0,02 4	<0,1	<0,02 4	<b>0,9</b>	<0,02 4	<b>1</b>	<0,02 4	<0,1	0,037	<b>7,9</b>	0,4
Co µg/l	<0,15	1,9	<0,15	<b>48</b>	<b>2,7</b>	<b>58</b>	0,22	1,6	0,32	<b>330</b>	2
Cr µg/l	<0,20	8,4	<0,20	<b>230</b>	0,21	<b>270</b>	<0,20	6,5	<0,20	<b>1500</b>	10
Cu µg/l	<1,0	14	<1,0	<b>160</b>	<1,0	<b>240</b>	<1,0	5,6	1	<b>870</b>	20
Hg µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,06	0,06
Ni µg/l	0,96	5,3	<0,60	<b>120</b>	8,2	<b>140</b>	0,65	3,8	4,2	<b>760</b>	10
Pb µg/l	<0,15	2,2	<0,15	<b>53</b>	<0,15	<b>62</b>	<0,15	1,4	0,21	<b>480</b>	5
Sb µg/l	<0,1	<1,0	<0,1	<1,0	0,1	1,3	<0,1	<1,0	0,4	1,9	2,5
Zn µg/l	<5,0	13	<5,0	<b>330</b>	15	<b>470</b>	34	<b>92</b>	<5,0	<b>2700</b>	60

Falkullan huhtikuun näytteenotossa pohjaveden pinnat olivat likimain samalla tasolla kuin helmikuussa ylävirranputkien ollessa vain hiukan ylempällä tasolla verrattuna alavirran pisteisiin 12611/04 ja 208786/13P verrattuna. Lounaiskulmalla sijaitsevan pisteen 20876/12P vedentason oli selkeästi muita alempana. Verrattuna helmikuun näytteenottoon pH-arvo pisteessä 20876/13P laski merkittävästi eli 1,6 yksikköä. Muissa mittauspisteissä pH-arvon muutos helmikuulta oli suurimmillaan 0,2 yksikköä. Helmikuussa koholla ollut sameus laski merkittävästi mittauskertojen välissä.

**Taulukko 8.7:** Falkullan perustulokset näytteenotto huhtikuu 2022.

	Ylä	Ylä	Ala	Ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
ajankohta	26.4.2022	26.4.2022	25.4.2022	26.4.2022	26.4.2022
Haju	Hajuton	Hajuton	Hajuton	Hajuton	Hajuton
Ulkonäkö	Harmah-tava, hie-man samea	Harmaa, samea	Harmaa, samea	Harmah-tava, sameahko	Harmaa, samea
Antoisuus	Ok	Hyvä	Ok	Ok	Ok
Vedentaso	+15,1	+15,1	+14,3	+15,0	+15,0
Redox-potentiaali [mV]	7,4	-131,7	-73	-32,5	-64,6
pH [-]	7	8	7	8	6
Sameus [FNU]	63,7	187	365	124	422
Sähkönjohtavuus [mS/m]	37,9	32,4	47,1	46,9	42,5
Alkaliteetti [mmol/l]	2,58	1,68	2,3	3,27	2,36
Happipitoisuus [mg/l]	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3
Fluoridi [mg/l]	0,4	0,5	0,4	0,3	0,6
Kokonaistyyppi [mg/l]	0,115	0,175	0,305	0,267	0,325

Falkullan huhtikuun näytteenotossa sideaineen ainesosista kalsiumin määrässä ei havaittu merkittäviä eroja helmikuun näytteenottoon nähden. Ylä- ja alavirran osalta on huhtikuussa nähtävissä lievästi korkeampia pitoisuuksia alavirran puolella. Helmikuussa selkeästi koholla olleet alumiini, rauta ja magnesiumin kokonaispitoisuudet laskivat merkittävästi huhtikuun näytteenottoon nähden ja kaliumin ja natriumin kokonaispitoisuudet laskivat maltillisemmin. Sulfaatti ja rikki on määrässä ei mitattu merkittäviä

muutoksia helmikuuhun nähden. Sulfaattia on pienessä määrin käytetyssä sideaineen käytetyssä sementissä, ja rikkiä ei ole merkittynä sideaineeseen, vaikka pitoisuuksia yleisesti on. Falkullan sideaineiden huhtikuun mittaus-tulokset on esitetty taulukossa 7.8.

**Taulukko 8.8:** Falkulla, Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet, huhtikuu 2022.

Piste	6767/227		20876/07P		20876/12P		12611/04		20876/13P	
	ylä		ylä		ala		ala		ala	
pitoi-suus	liukoi-nen	koko-nais	liukoi-nen	koko-nais	liukoi-nen	koko-nais	liukoi-nen	koko-nais	liukoi-nen	koko-nais
Ca [mg/l]	3,693	33,52	26,239	80,484	44,935	54,907	45,774	58,39	27,757	52,419
Al [µg/l]	<10	567	<10	37623	<10	18116	<10	4689	<10	39502
Fe [mg/l]	8,1	8,691	<0,001	48,66	5,357	25,088	0,035	4,711	<0,001	45,502
Mg [mg/l]	9,55	9,846	4,9	24,027	10,19	15,639	11,97	15,38	5,89	20,578
K [mg/l]	3,693	3,787	3,475	16,52	5,105	11,373	5,844	8,304	3,539	15,259
Na [mg/l]	20,47	20,713	28,4	27,293	28	31,005	28,05	33,913	48,28	51,213
Sul-faatti (SO <sub>4</sub> ) [mg/l]	-	46,1	-	42,3	-	75,3	-	55,9	-	40,7
S [µg/l]	-	12910	-	15670	-	21220	-	14230	-	13530

Falkullan huhtikuun näytteenotossa liukoisen arseenin pitoisuus pysyi raja-arvon ylittävänä pitoisuutena ja hiukan kasvoi, mutta mittausepävarmuuksien sisällä. Muita liukoisia aineita ei todettu raja-arvoja ylittäviä määriä. Ylävirranputkessa 20876/07P, sekä alavirran putkissa 20876/12P ja 20876/13P esiintyi kokonaismäärinä raja-arvoja ylittäviä määriä arsenia, kobolttia, kromia, kuparia, nikkeliä, lyijyä, kloridia ja sinkkiä. Tämän lisäksi ylävirranpisteessä 20876/07P esiintyi raja-arvon ylittävä kalium pitoisuus. Falkullan huhtikuun tulokset on esitetty taulukossa 7.9.

**Taulukko 8.9:** Falkulla, Haitallisten metallien ja kloridi pitoisuudet huhtikuu 2022.

Piste	6767/227		20876/07P		20876/12P		12611/04		20876/13P		raja-arvo
	ylä		ylä		ala		ala		ala		
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	<b>kokonais</b>	
Cl- mg/l	-	13,9	-	21,6	-	<b>34,8</b>	-	17,3	-	<b>38,7</b>	25
As µg/l	2,7	2,5	2,8	17	2,2	<b>5,3</b>	4,5	<b>6,4</b>	<b>19,8</b>	<b>33,9</b>	5
Cd µg/l	<0,024	<0,1	<0,024	0,4	<0,024	0,1	<0,024	<0,1	<0,024	0,4	0,4
Co µg/l	<0,15	0,3	<0,15	<b>17,3</b>	<0,15	<b>5,9</b>	<0,15	1,7	<0,15	<b>17,7</b>	2
Cr µg/l	<0,20	1	<0,20	<b>75</b>	<0,20	30	<0,20	7	<0,20	<b>74</b>	10
Cu µg/l	<1,0	3	<1,0	<b>48</b>	<1,0	<b>33</b>	<1,0	16	<1,0	<b>57</b>	20
Hg µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,06	0,06
Ni µg/l	0,9	<3	<0,60	42	<0,60	<b>15</b>	<0,60	4	0,6	<b>42</b>	10
Pb µg/l	<0,15	<0,5	<0,15	<b>23</b>	<0,15	<b>9,6</b>	<0,15	1,7	<0,15	<b>24,5</b>	5
Sb µg/l	0,4	<1,0	0,2	<1,0	0,2	<1,0	0,2	<1,0	0,3	<1,0	2,5
Zn µg/l	<5,0	13	20	<b>137</b>	<5,0	54	7	76	<5,0	<b>123</b>	60

Falkullassa todettiin pisteessä HP4/21–20876/12P halogenoituja alifaatti hiilivetyjä. Yhdisteet eivät ole stabiloinnissa esiintyviä aineita eivätkä näin ole stabiloinnin seurauksesta johtuvia.



### 8.3 Lallukka, Helsinki

Lallukassa suoritettiin kaksi näytteenottokierrosta, joista ensimmäinen helmikuussa 2022 ja toinen huhtikuussa 2022. Pohjaveden virtaussuunnan arvioinnin osalta Lallukan kohde on selkeä ylävirran putken vesipinnan ollessa lähes kolme metriä korkeammalla verrattuna alavirran vesipinnan tasoihin. Lallukan helmikuussa mitattujen pH-arvoissa ei ole nähtävissä merkittävää eroa ylävirran ollessa 0,1 ja 0,2 yksikköä suurempi alavirtaan verrattuna.

**Taulukko 8.10:** Lallukan perustulokset näytteenotto helmikuu 2022.

Piste	Ylä	Ala	Ala
	20876/09P	20876/10P	20876/11P
ajankohta	24.2.2022	24.2.2022	24.2.2022
Haju	Hajuton	Hajuton	Hajuton
Ulkonäkö	Ruskea, hieman samea	Ruskea, hieman samea	Ruskea, hieman samea
Antoisuus	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Vedentaso	+13,41	+10,85	+10,74
Redox-potentiaali [mV]	15,00	73,30	58,8
pH [-]	6,5	6,3	6,4
Sameus [FNU]	120,00	280,00	160
Sähkönjohtavuus [mS/m]	45,00	38,30	61
Alkaliteetti [mmol/l]	0,88	1,40	1,5
Happipitoisuus [mg/l]	<0,3	0,40	0,9
Fluoridi [mg/l]	<0,2	<0,2	<0,2
Kokonaistyyppi [mg/l]	0,37	4,3	3,3

Lallukassa on pilaristabiloitu kalkkisementillä seossuhteella 50/50. Seoksessa on suuri osa kalsiumia, piitä, sekä pienemmät osuudet alumiinia, rautaa, sekä magnesiumia. Sideaineissa esiintyvistä yhdistesistä on alavirran pisteissä mitattu ylävirtaa suurempia pitoisuuksia kalsiumia, mikä voi viitata stabilointipilareista liukenevaan kalsiumin näkymiseen pohjavedessä. Esiintynyt kalsium on valtaosin liukoisessa muodossa, joka on kiintoainesta mobiilimpaa. Alumiinia esiintyi koholla oleva määrä kokonaismäärissä mitattuna ala- ja ylävirran pisteissä. Liukoisen alumiinin ollessa vain pieni osa kokonaispitoisuutta. Rauta-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet ovat lievästi suuremmat alavirran pisteessä 20876/10P. Alavirran pisteessä 20876/11P pitoisuudet ovat hiukan koholla magnesiumin ja natriumin osalta muiden tutkittujen aineiden ollessa lähellä ylävirran vertailuarvoa. Pitoisuudet Lallukan sideaineiden komponenttien osalta eivät ole nähdäkseen heikentäneet pohjaveden laatua.

**Taulukko 8.11:** Lallukan Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet, helmikuu 2022.

	20876/09P		20876/10P		20876/11P	
	ylä		ala		ala	
pitoisuus	liukoi- nen	koko- nais	liukoi- nen	koko- nais	liukoi- nen	koko- nais
Ca [mg/l]	22,00	25,00	36,00	47,00	43	47
Al [µg/l]	260,00	8800	120,00	23000	<10	5200
Fe [mg/l]	6,10	12,00	0,60	20,00	3,5	12
Mg [mg/l]	4,40	6,40	6,30	12,00	10	12
K [mg/l]	5,00	7,70	5,30	11,00	5,5	7,3
Na [mg/l]	33,00	35,00	24,00	29,00	54	57
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> ) [mg/l]	-	24,00	-	33,00	-	44
S [µg/l]	-	7242	-	9723	-	13450

Lallukan helmikuun näytteenotossa kloridin jokainen mitattu arvo ylitti raja-arvon 25 mg/l. Ympäristölaatustandardin liukoisista ylitti alavirran pisteissä 20873/10P ja 20786/11P koboltti. Kokonaismäärältään raja-arvon ylityksiä esiintyi arseenissa, koboltissa, kromissa, kuparissa, nikkelissä ja lyijyssä.

**Taulukko 8.12:** Lallukan Haitallisten metallien ja kloridi pitoisuudet helmikuu 2022.

Piste	20876/09P		20876/10P		20876/11P		raja- arvo
	ylä		ala		ala		
pitoi- suus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl- mg/l	-	<b>65,00</b>	-	<b>41,00</b>	-	<b>110</b>	25
As µg/l	4,50	<b>5,40</b>	0,30	<b>18,00</b>	1,7	<b>11</b>	5
Cd µg/l	<0,024	<0,1	0,12	0,20	0,093	0,1	0,4
Co µg/l	0,73	3,00	<b>4,50</b>	13,00	<b>6</b>	8,3	2
Cr µg/l	1,80	17,00	<0,20	37,00	<0,20	11	10
Cu µg/l	<1,0	14,00	<1,0	34,00	4,3	27	20
Hg µg/l	<0,2	<0,02	<0,2	<0,02	<0,2	<0,02	0,06
Ni µg/l	1,20	8,70	6,10	28,00	3,5	9,2	10
Pb µg/l	<0,15	4,60	<0,15	12,00	<0,15	3,6	5
Sb µg/l	<0,1	<1,0	<0,1	<1,0	<0,1	<1,0	2,5
Zn µg/l	<5,0	14,00	5,60	36,00	12	21	60

Lallukan huhtikuun näytteenotossa pH-arvot laskivat helmikuulta jokaisessa pisteessä. Ylävirran osalta 0,4 yksikköä ja alavirran osalta 0,1 yksikköä. Mitatut pH-arvot alittavat talousveden laatusuosituksen ala-arvon 6,5. Stabi-loinnin vaikutus pohjaveteen on nähdäkseni lievästi kasvattava tai neutraali emäksisten sideaineiden käytön johdosta. Veden alhainen pH-arvo ei näin vaikuta olevan stabiloinnista johtuvaa muutosta.

**Taulukko 8.13:** Lallukka perustulokset näytteenotto huhtikuu 2022.

	Ylä	Ala	Ala
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P
ajankohta	25.4.2022	25.4.2022	25.4.2022
Haju	Hajuton	Hajuton	Hajuton
Ulkonäkö	Ruskea, hieman samea	Ruskea, sameahko	Ruskea, sameahko
Antoisuus	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Vedentaso	+13,41	+11,24	+11,32
Redox- potentiaali [mV]	44,00	93,30	35,40
pH [-]	6,10	6,20	6,3
Sameus [FNU]	110,00	310,00	91
Sähkönjohtavuus [mS/m]	34,60	37,60	58,4
Alkaliteetti [mmol/l]	0,61	1,40	2
Happipitoisuus [mg/l]	0,30	0,40	0,4
Fluoridi [mg/l]	<0,2	<0,2	<0,2
Kokonaistyyppi [mg/l]	0,27	4,7	3,8

Lallukan huhtikuun näytteenotoissa kalsiumin pitoisuudet pysyivät helmi-kuuhun nähden hyvin tasaisina siten, että alavirrassa on suurempi kalsium-  
pitoisuus. Alumiinin määrä mittaustuloksissa pieneni merkittävästi alavir-  
ran pisteessä 20876/10P. Alumiinin pitoisuudet huhtikuussa olivat helmi-  
kuun tapaan pääsääntöisesti ei liukoisessa muodossa. Rautapitoisuudet las-  
kivat huhtikuussa ylävirranpisteessä 20876/09P ja alavirran pisteessä

20876/10P helmikuun näytteenotosta. Alavirran pisteessä 2087611P pitoisuus lähes kaksinkertaistui. Magnesium-, kalium-, natrium-, sulfaatti- ja rikki-pitoisuuksissa ei ollut merkittäviä muutoksia helmikuun näytteenottoon nähden.

**Taulukko 8.14:** Lallukka, Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet, huhtikuu 2022.

Piste	20876/09P		20876/10P		20876/11P	
	ylä		ala		ala	
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais
Ca [mg/l]	20	22	38	41	42	46
Al [µg/l]	120	5200	<10	2600	<10	5500
Fe [mg/l]	0,99	4,5	0,0082	2,2	9,9	18
Mg [mg/l]	4,6	5,5	6,3	6,8	10	11
K [mg/l]	4,3	5,4	5,3	5,9	5,3	6,2
Na [mg/l]	34	34	24	24	48	47
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> ) [mg/l]	-	25,00	-	34,00	-	37
S [µg/l]	-	7132	-	9577	-	11240

Lallukan huhtikuun mittauksissa kloridin määrä pysyi tasaisena helmikuuhun nähden raja-arvon ylittävänä pitoisuutena. Koboltti-, kromi-, nikkeli-, sinkki-, lyijy-, kuparipitoisuuksissa mitattiin laskevaa pitoisuutta etenkin kokonaismäärissä. Arseenin kokonaispitoisuudet laskivat pisteessä 20876/10P ja kasvoivat pisteessä 20876/11P. Edellä mainitut pisteet sijaitsevat pohjavedenarvioituun virtauksen nähden peräkkäin, joka voi nähdäkseni viitata arseenin pitoisuuden kulkeutuneen pisteiden kautta. Elohopea, kadmium ja antimoniin pitoisuuksissa ei mitattu helmikuulta muutosta ja pitoisuudet ovat pääsääntöisesti alle määrittämissä.

**Taulukko 8.15:** Lallukka, Haitallisten metallien ja kloridi pitoisuudet huhtikuu 2022.

	20876/09P		20876/10P		20876/11P		raja-arvo
	ylä		ala		ala		
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl <sup>-</sup> mg/l	-	<b>66</b>	-	<b>42</b>	-	<b>97</b>	25
As µg/l	4,8	<b>6,9</b>	0,1	2,5	<b>13</b>	<b>30</b>	5
Cd µg/l	<0,024	<0,024	0,12	0,12	0,067	0,067	0,4
Co µg/l	0,37	1,9	<b>2,8</b>	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>5,2</b>	2
Cr µg/l	0,99	<b>11</b>	<0,20	4,9	0,28	10	10
Cu µg/l	1,5	7,6	1,3	5,6	2,2	15	20
Hg µg/l	<0,2	<0,02	<0,2	<0,02	<0,2	<0,02	0,06
Ni µg/l	1,4	6,1	3,4	6	2	6,1	10
Pb µg/l	<0,15	2,5	<0,15	1,3	<0,15	2,6	5
Sb µg/l	0,2	<1,0	<0,1	<1,0	<0,1	<1,0	2,5
Zn µg/l	9	9,2	<5,0	5,2	14	15	60

#### 8.4 Naulakallio, Helsinki

Taulukossa 8.16 on esitettyinä naulakallion perustulokset. Naulakalliossa pH-arvot vaihtelivat alavirran osalta nähdäkseni suuresti. Pisteet ovat toisistaan nähden 95 metrin etäisyydellä toisistaan ja pH-arvon ero on yksi yksikkö. Pisteiden välillä on myös merkittävä ero sameudessa.

Naulakallio on stabiloitu kalkkisementillä. Kalsiumin pitoisuudet ovat Naulakalliossa alavirran mittauspisteissä samaa suuruus luokkaa. Ylävirrassa kalsium on korkeampana pitoisuutena. Kalsiumin pitoisuudet ovat kaikissa pisteissä matalat. Kokonaispitoisuudet olivat merkittävästi koholla ylävirran pisteessä 20876/18P ja alavirran pisteessä 20876/20P, mikä näkyi taulukossa 7.17 pohjavesinäytteiden sameutena.

**Taulukko 8.16:** Naulakallion perustulokset

Piste	Ylä	Ala	Ala
	20876/18P	20876/19P	20876/20P
ajankohta	27.4.2022	28.4.2022	28.4.2022
Haju	Hajuton	Hajuton	Hajuton
Ulkonäkö	Harmaa, samaa	Väritön, kirakas	Harmaa, erittäin samaa
Antoisuus	Ok	Hyvä	Hyvä
Vedentaso	+10,33	+9,49	+9,43
Redox-potentiaali [mV]	-31,8	38,2	-
pH [-]	7	6,5	8,0
Sameus [FNU]	1100	10	2700,00
Sähkönjohtavuus [mS/m]	43,2	49,7	29,50
Alkaliteetti [mmol/l]	1,8	1,4	1,60
Happipitoisuus [mg/l]	<0,3	<0,3	<0,3
Fluoridi [mg/l]	0,5	0,3	0,60
Kokonaistyyppi [mg/l]	0,18	0,11	0,17

**Taulukko 8.17:** Naulakallio, Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet

Piste	20876/18P		20876/19P		20876/20P	
	ylä		ala		ala	
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais
Ca mg/l	41	64	29	31	27	40
Al µg/l	<10	57000	<10	400	23	29000
Fe mg/l	2,6	59	3,6	5,1	<0,010	29
Mg mg/l	10	28	7,7	9,7	5,7	15
K mg/l	4,9	25	4,7	5,7	2,8	13
Na mg/l	26	36	47	57	18	27
SO <sub>4</sub> mg/l	-	52,0	-	48,0	-	26,0
S µg/l		15700		14020		8317

Naulakalliossa raja-arvoja ylittäviä liukoisia pitoisuuksia mitattiin ainoastaan alavirran putkessa 20876/20P arseenista. Kokonaispitoisuuksista mitattiin raja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia ylävirran putkessa 20876/18P ja alavirran putkessa 20876/20P arseenista, koboltista, kromista, kuparista, nikkelistä, lyijystä ja sinkistä. Naulakallion kloridi määrät ylittävät raja-arvon jokaisessa mittauspisteessä.

**Taulukko 8.18:** Naulakallio, Haitallisten metallien ja kloridin pitoisuudet

Piste	20876/18P		20876/19P		20876/20P		raja-arvo
	ylä		ala		ala		
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl <sup>-</sup> mg/l	-	<b>51</b>	-	<b>88</b>	-	<b>31</b>	25
As µg/l	1,9	<b>22</b>	0,7	0,8	<b>13</b>	<b>24</b>	5
Cd µg/l	<0,024	<b>1,3</b>	0,054	<0,1	<0,024	0,3	0,4
Co µg/l	<0,15	<b>21</b>	1,1	1,6	<0,15	<b>12</b>	2
Cr µg/l	<0,20	<b>93</b>	<0,20	<1,0	<0,20	<b>48</b>	10
Cu µg/l	<1	<b>67</b>	<1,0	1,3	<1,0	<b>61</b>	20
Hg µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
Ni µg/l	<0,6	<b>51</b>	4,4	6	<0,60	<b>31</b>	10
Pb µg/l	<0,15	<b>18</b>	<0,15	<0,5	<0,15	<b>13</b>	5
Sb µg/l	0,4	<1	0,4	<1,0	1	<1,0	2,5
Zn µg/l	<5	<b>180</b>	<5,0	<5	<5,0	<b>120</b>	60

## 8.5 Tankovainio, Helsinki

Tankovainiossa pH:n arvot ovat ylä- ja alavirran pisteessä 20876/17P hyvin lähellä toisiaan. Pisteessä PVP2, joka sijaitsee stabilointialueella, pH-arvo on 0,3 yksikköä suurempi. Ero muihin pisteisiin ei ole merkittävä.

Tankovainiossa on stabiloitu kalkkisementillä (sementti CEM II). Kalsium on mittauksissa lähes kokonaan liukoisessa muodossa ja eroa ylä- ja alavirran välillä ei juurikaan ole. Sideaineissa käytetyistä aineista Tankovainiossa esiintyy kohonnutta alumiinin kokonaispitoisuutta ylä- ja alavirran puolella.

**Taulukko 8.19:** Tankovainion perustulokset

	ylä	ala	ala
Piste	6126/1012P	PVP2	HP9-22 -- 20876/17P
ajankohta	28.4.2022	28.4.2022	27.4.2022
Haju	Hajuton	Lievä	Hajuton
Ulkonäkö	Väritön, kir- kas	Väritön, kir- kas	Väritön, kirkas
Antoisuus	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Vedentaso	+3,74	+3,14	+2,38
Redox- potentiaali [mV]	-2,7	-77,8	18
pH [-]	6,9	7,2	6,8
Sameus [FNU]	16	19	21
Sähkönjohtavuus [mS/m]	51,4	45,4	50,9
Alkaliteetti [mmol/l]	2,2	2,2	2
Happipitoisuus [mg/l]	<0,3	<0,3	<0,3
Fluoridi [mg/l]	0,5	0,4	0,4
Kokonaistyyppi [mg/l]	0,19	0,63	0,19

Tankovainiossa raja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia esiintyi kloridin osalta jokaisessa pisteessä. Metalleista esiintyi ainoastaan koboltilla ylitys alavirranputkessa 20876/17P. Mitatut arvot muiden osalta ovat raja-arvot alittavia. Arseenilla ja koboltilla alavirrassa mitattiin ylävirtaa korkeampia pitoisuuksia kokonaisuudessaan.



**Taulukko 8.20:** Tankovainio, Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet

Piste	20876/18P		20876/19P		20876/20P	
	ylä		ala		ala	
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais
Ca mg/l	36	38	40	45	35	38
Al µg/l	<10	1100	<10	260	<10	840
Fe mg/l	3,5	3,2	1,9	4,1	3,2	5,3
Mg mg/l	11	13	11	13	12	15
K mg/l	12,0	13,0	4,2	4,7	8,8	11,0
Na mg/l	38,0	45,0	28,0	32,0	36,0	46,0
SO <sub>4</sub> mg/l		47		43		51
S µg/l		13790		13150		15310

**Taulukko 8.21:** Tankovainio, Haitallisten metallien ja kloridin pitoisuudet

Piste	20876/18P		20876/19P		20876/20P		raja- arvo
	ylä		ala		ala		
	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl <sup>-</sup> mg/l	-	<b>51</b>	-	<b>88</b>	-	<b>31,00</b>	25
As µg/l	1,9	1,8	3,4	3,6	3,6	3,4	5
Cd µg/l	<0,024	<0,1	<0,024	<0,1	<0,024	<0,1	0,4
Co µg/l	<0,15	0,4	<0,15	<0,3	1,4	<b>2,3</b>	2
Cr µg/l	<0,20	2,0	<0,20	<1,0	<0,20	1,2	10
Cu µg/l	<1	1,4	<1,0	1,4	<1,0	1,9	20
Hg µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
Ni µg/l	0,6	<0,3	<0,6	<3,0	5,7	9,6	10
Pb µg/l	<0,15	<0,15	<0,15	<0,5	<0,15	<0,15	5
Sb µg/l	0,5	<1	0,4	<1,0	0,4	<1,0	2,5
Zn µg/l	<5	<b>&lt;5</b>	<5	9,2	<5	<b>&lt;5</b>	60

## 8.6 Varisto, Vantaa

Variston kohteessa mittaukset on suoritettu huhtikuun lopulla, kun stabilointityö on vielä kesken. Stabilointityö on aloitettu 2022, jonka vuoksi pisteistä ei välttämättä ole havaittavissa kaikkia mahdollisia muutoksia pohjaveden laadussa. Variston pohjavedentasoista on hankala tulkita pohjaveden virtausta. Kuvan 7.20 leikkauskuvassa nähdään, että kallio ja maanpeite muodostavat kourumaisen muodon, jonka alin kohta kulkee noin. tienkeskilinjan läheisyydessä. Putki P3, joka on merkittynä ylävirran pisteeksi, sijaitsee selkeästi tiestä kauempana alavirran pisteisiin nähden. Urasta johtuen on perusteltua osoittaa, että putki P3 ei kohdennu stabiloinnin mahdollisille vaikutuksille. Alavirran pisteen P1 ja P2 ovat lähempänä stabilointialuetta ja arviolta pohjavesivirtaa stabilointialueen läpi koepisteisiin. Varistossa mittauksissa ei ole havaittavissa pH-tasossa eroa ylä- ja alavirran osalta. Taulukossa 8.23 esitetyistä lukemista eroavia pitoisuuksia esiintyy happipitoisuudessa. Alavirran vesinäytteet ovat hapettomia, kun ylävirran vesinäytteessä esiintyy happea.

**Taulukko 8.22:** Variston perustulokset

Piste	ylä	ala	ala
	P3	P1	P2
ajankohta	27.4.2022	28.4.2022	27.4.2022
Haju	Hajuton	Lievä mädäntynyt	Hajuton
Ulkonäkö	Kirkas, väritön	Kirkas, väritön	Kirkas, väritön
Antoisuus	hyvä	hyvä	hyvä
Vedentaso	+27,57	+28,09	+27,8
Redox-potentiaali [mV]	-	-	-
pH [-]	6,6	7,0	6,4
Sameus [FNU]	1,8	24	5,9
Sähkönjohtavuus [mS/m]	18,9	42,7	7,03
Alkaliteetti [mmol/l]	1,7	3,3	1,5
Happipitoisuus [mg/l]	3,98	0	0
Fluoridi [mg/l]	<0,2	0,6	0,5
Kokonaistyyppi [mg/l]	0,34	0,087	0,067

Variston sideaineen pääraaka-aineiden pitoisuuksissa kaikki ovat alavirran mittaustenäytteissä suurempina pitoisuuksina ylävirran pitoisuuksiin nähden. Variston sideaineiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 8.24. Varistossa Ympäristöraja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia esiintyi pisteessä P2 kobolttin liuoksesta ja kokonaisuuksissa. Variston ympäristöraja-arvot sisältävien aineiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.25.

**Taulukko 8.23:** Varisto, Sideaineissa esiintyvät keskeiset yhdisteet.

Piste	P3		P1		P2	
	ylä		ala		ala	
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais
Ca mg/l	-	22	-	47	-	26
Al µg/l	<1,0	<50	<1,0	720	16	160
Fe mg/l	<0,01	0,15	1,9	3,4	2,6	3,1
Mg mg/l	-	6,8	-	10	-	7,3
K mg/l	-	-	-	-	-	-
Na mg/l	-	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> mg/l	-	12	-	40	-	29
S µg/l	-	3606	-	11320	-	8332

**Taulukko 8.24:** Varisto, Haitallisten metallien ja kloridin pitoisuudet.

Piste	P3		P1		P2		raja-arvo
	ylä		ala		ala		
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl <sup>-</sup> mg/l	-	3,1	-	12	-	16	25
As µg/l	<0,1	<0,5	2,4	2,4	0,5	0,8	5
Cd µg/l	<0,024	<0,1	<0,024	<0,1	<0,024	<0,1	0,4
Co µg/l	<0,15	<0,3	<0,15	<0,3	<b>3,2</b>	<b>3,4</b>	2
Cr µg/l	0,3	<1,0	0,26	1,9	0,3	<1,0	10
Cu µg/l	<1,0	7,1	<1,0	16	<1,0	1,2	20
Hg µg/l	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	0,06
Ni µg/l	<0,6	<3,0	<0,6	<3,0	4,8	5,2	10
Pb µg/l	<0,15	<0,5	<0,15	<0,5	<0,15	<0,5	5
Sb µg/l	<0,1	<1,0	<0,1	<1,0	0,5	<1,0	2,5
Zn µg/l	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	16	18	60

## 8.7 Tilastollisesti merkittävästi muuttuneet arvot

Metalleista ja perusmitattuista mitatuista tarpeista tehtiin tilastollinen tarastelu. Tarkastelu tehdään Excel-ohjelmistolla niin, että ylä- ja alavirran mittaustulokset ovat merkitty omiksi listoiksi ja listoja verrataan toisiinsa t.testi funktion avulla. T.testi funktio antaa tulokseksi p-arvon eli luotettavuusarvon. Luotettavuusarvo ilmaisee tilastollista merkitsevyyttä vastaten, onko ylä- ja alavirran mittauspisteiden välillä eroa. Merkitseväksi lukemaksi määritellään 0,05 eli 5 %. Merkitsevä ero ei ilmaise kumpi joukkioista on suurempi. T.testin voidaan määrittää näyttämään testin 'suunta' ja 'laji'. Suunnalla tarkoitetaan, onko tulosten jakauma symmetrinen vai epäsymmetrinen jakauma. Laji 2 oletetaan, että joukkioiden varianssi on sama. Laji 3 olettaa, että varianssi on erisuuri. Tämän tutkimuksen kannalta näkisin tilastollisesti merkittävämmäksi kaksisuuntaisen tarkastelun, joka olettaa varianssien olevan erisuuri joukkioiden välillä. Nähdäkseni voidaan olettaa, että keskiarvoisesti mitatut pitoisuudet muodostavat symmetrisen normaalijakauman mallin, jossa keskiarvoisesti tuloksia esiintyy tasaisesti keskiarvon molemmalta puolelta. Tutkimuksessa tarkastellaan stabiloinnin vaikutusta pohjaveteen, jolloin mahdollisesti vaikutukset näkyisivät alavirran puolella. Mahdollisesti muuttuvat arvot eivät kuitenkaan veden virtauksen mukaisesti näkyisi tasaisesti alavirran mittauspisteissä kasvattaen varianssia tuloksissa.

Taulukossa 8.25 on esitetty kaikki ne mittaustulokset, jotka ovat tilastollisesti merkitseviä, ainakin yhden t.testi laskutavan mukaan.

**Taulukko 8.25:** T-testien merkitsevät tulokset.

Suunta	1	1	2	2
Laji	2	3	2	3
Sähkönjohtavuus	5,3 %	<b>3,2 %</b>	10,6 %	6,3 %
Happipitoisuus	<b>3,1 %</b>	15,8 %	6,1 %	31,7 %
Kloridi	7,6 %	<b>4,7 %</b>	15,2 %	9,4 %
Kokonaistyyppi	<b>3,5 %</b>	<b>1,0 %</b>	7,0 %	<b>2,1 %</b>
Arseeni liukoinen	9,1 %	<b>3,5 %</b>	18,2 %	7,0 %
Barium liukoinen	5,3 %	<b>3,1 %</b>	10,5 %	6,2 %
Kalsium liukoinen	<b>0,1 %</b>	<b>0,1 %</b>	<b>0,1 %</b>	<b>0,2 %</b>
Koboltti liukoinen	5,7 %	<b>0,4 %</b>	11,3 %	<b>0,8 %</b>
Kromi liukoinen	<b>4,4 %</b>	10,9 %	8,8 %	21,9 %
Magnesium liukoinen	5,1 %	<b>4,8 %</b>	10,1 %	9,7 %
Mangaani liukoinen	<b>2,0 %</b>	<b>0,9 %</b>	<b>3,9 %</b>	<b>1,7 %</b>
Nikkeli liukoinen	<b>3,0 %</b>	<b>0,9 %</b>	6,0 %	<b>1,8 %</b>
Uraani liukoinen	8,5 %	<b>4,4 %</b>	17,0 %	8,8 %

Jatkossa p-arvoa esittäessä on esitettyinä kaksisuuntaisen ja oletuksena varianssin olevan erisuuri laskentatavan p-arvot.

Liukoisen kalsiumin muutos mittauksissa on tilastollisesti merkitsevin p-arvon ollessa 0,2 % / 0,002. Kalsiumin keskiarvoinen määrä ylä- ja alavirran välillä on 62 % ja keskihajonta kasvaa 28 %. Kalsium on tutkimuksessa esitettyjen sideaineseosten pääaine ja on nähdäkseni oletettavaa, että liukoisen kalsiumin kasvu on sideaine peräistä. Kalsiumia on myös luontaisesti maaperässä, joka voi selittää osan vaihtelusta. Suurin osatekijänä on kuitenkin nähdäkseni sideaineesta liukeneva kalsium ja mahdollisesti ei reagoanut sideaine. Kalsiumille ei ole määritetty pohjavettä pilaavaksi ja sillä ei ole muita ympäristölaatonormeja. Näin kalsiumin nousu ei ole nähdäkseni vedenlaatua merkittävästi heikentävä tekijä.

Liukoisen kobolttin muutos mittauksissa on tilastollisesti merkitsevää p-arvon ollessa 0,8 % / 0,008. Kobolttin keskiarvoinen määrä ylä- ja alavirran välillä on 500 % ja keskihajonta kasvaa 850 %. Koboltti on määritetty olevan pohjavettä pilaava ja tälle on asetettu ympäristön laatuarvo, joka on 2 µg/l. Tämä raja-arvo ylittyy 25 % mittauspisteessä liukoisen kobolttin osalta. Pisteet sijaitsevat Lallukan, Falkullan ja Variston kohteissa. Kokonaisuutena kobolttin raja-arvon ylittäviä pisteitä on 67 % mittauspisteistä ja jokaisesta kohteesta. Koboltti ei ole sideaineissa pääasiallisena aineena oleva aine.

Liukoisen mangaanin muutos mittauksissa on tilastollisesti merkitsevää p-arvon ollessa 0,017. Mangaanin keskiarvoinen määrä ylä- ja alavirran välillä on 116 % ja keskihajonta kasvaa 65 %. Valtaosa mitatusta mangaanista esiintyy ei liukoisessa muodossa, joka on mangaanin kulkeutumisen kannalta kulkeutumista ehkäisevä tekijä. Mangaani ei ole luokiteltu pohjavettä pilaavaksi aineeksi. Mangaanille on asetettu talousveden laatusuositus, joka on 50 µg/l.

Liukoisen nikkelin muutos mittauksissa on tilastollisesti merkitsevää p-arvon ollessa 1,8 % / 0,018. Mangaanin keskiarvoinen määrä ylä- ja alavirran välillä on 150 % ja keskihajonta kasvaa 136 %. Nikkelille on määritetty ympäristölaatustandardin raja-arvo 10 µg/l. Nikkelin pitoisuudet ovat kaikissa liukoisissa näytteissä ympäristölaatustandardin alittavia. Standardien ylittäviä pitoisuuksia on monessa kokonaisuudessa mittauksessa. Näistä ylittävistä mittauksista Falkullan helmikuun näytteenotossa esiintyi suurimmat pitoisuudet. Pitoisuudet kuitenkin laskivat merkittävästi huhtikuun näytteenottoon, joka viittaa nähdäkseni vesinäytteessä olevaan kiintoainekseen, eikä välttämättä veden liialliseen pitoisuuteen.

Taulukossa 8.36 on esitetty keskiarvo ja keskihajonta ylä- ja alavirran osalta. Kaikki metallien pitoisuudet ovat liukoisia pitoisuuksia. Laskennassa alle määrittämissä olevat pitoisuudet on laskettu keskiarvoon ja keskihajontaan lukemalla 0. Pitoisuus todellisuudessa voi olla nollaa suurempi, mutta alle määrittämissä, joka tuottaa virhettä.

**Taulukko 8.26:** Tilastollisesti merkitsevien mittausten keskiarvot ja -hajonta

	keskiarvo		keskihajonta		p-arvo
	ylä	ala	ylä	ala	
Kalsium liukoinen mg/l	25,7	41,6	13	16,6	0,2 %
Koboltti liukoinen µg/l	0,4	2,4	0,2	1,9	0,8 %
Mangaani liukoinen µg/l	197,1	424,9	174,6	287,4	1,7 %
Nikkeli liukoinen µg/l	1,4	3,5	1,1	2,6	1,8 %
Kokonaistyyppi mg/l	0,3	1,2	0,2	1,6	2,1 %
Barium liukoinen µg/l	31,8	43,4	14,2	22,6	6,2 %
Sähkönjohtavuus mS/m	38,8	49,1	10,3	17,6	6,3 %
Arseeni liukoinen µg/l	3,2	6,2	1,5	6,5	7,0 %
Uraani liukoinen µg/l	1	5,5	1,4	8,8	8,8 %
Kloridi mg/l	34,6	58,8	25,8	47,9	9,4 %
Magnesium liukoinen mg/l	7,8	10,1	3,7	4,5	9,7 %
Kromi liukoinen µg/l	1	0,3	0,6	0,1	21,9 %
Happipitoisuus mg/l	2	0,5	1,3	0,4	31,7 %

## 9 Tutkimustulosten tarkastelu

Stabiloinnin vaikutuksia veteen on tutkittu suorittamalla laboratoriossa tehtäviä liukoisuustestejä, jotka simuloivat pitkällä aikavälillä tapahtuvaa liukenemistä. Liukoisuustestien perusteella sideaine ja stabiloitava maa-aines vaikuttavat liukeneviin aineisiin. Sideaineista on kuitenkin nähtävissä suhteellisia eroja, kuten kipsin lisäävän sulfaatin liukoisuutta, sekä sementin lisäävän nikkelin liukoisuutta suhteessa muihin tyypillisiin sideaineisiin (Kohonen ym. 2012). Liukoisuustesteissä ei ole havaittu suuria liukoisuuksia, jotka heikentäisivät vedenlaatua.

Pilaristabiloinnin ei yleisesti nähdä vaikuttavan ympäristöön kielteisesti. Yleisesti pilaristabiloinnilla ympäristövaikutuksena on nähty olevan lähinnä sideaineen sisältämän kalsiumin liukenemistä. Tämä liukeneminen on todettu aiempien tutkimusten, sekä kalsiumin pitkäaikaisen käytön ja todettujen haittojen puutteen vuoksi vaikutuksiltaan vähäiseksi. Kalsiumin lisäksi on stabiloinnin esitetty mahdollisesti nostavan myös mangaanin (Åhnberg & Larsson 2012), sulfaatin, bariumin, kromin ja sinkin (Kivimäki 2020) pitoisuuksia hetkellisesti.

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat tätä käsitystä kalsiumin liukenemisestä pilaristabiloinnista. Tämän tutkimuksen vesinäytteissä kalsiumin pitoisuudet ovat suurelta osin liukoisessa muodossa. Ylä- ja alavirran välillä mitattiin Lallukassa ja Fallpakassa jopa kaksinkertaisia pitoisuuksia. Liukoisen kalsiumin maksimipitoisuus tässä tutkimuksessa on 58,8 mg/l. Kalsiumille ei ole määritetty Suomessa laatuvaatimuksia tai laatusuosituksia, eikä sen ole määritetty olevan pohjavettä pilaava aine.

Tämän tutkimuksen mittauksissa todettiin kalsiumin lisäksi viitteitä liukoisen koboltin, mangaanin, kromin ja nikkelin pitoisuuksien nousseen ylä- ja alavirran mittauspisteiden välillä. Mangaani ei itsessään ole sideaineissa oleva ainesosa ja on yleisesti maassa esiintyvä aine. Sideaineet voivat sisältää pieniä pitoisuuksia magnesiumia, koboltia ja nikkeliä, jotka voivat olla sideaineperäistä. Edellä mainituista aineista ympäristön laatustandardin ylittäviä pitoisuuksia todettiin arseenilla ja koboltilla. Kokonaispitoisuuksista valtaosa mitattiin ei liukoisessa muodossa. Kokonaispitoisuuksista noin kaksi kolmesta oli ympäristönlaatustandardin ylittävänä pitoisuutena, kun taas liukoisten osalta ylitti noin viidennes mittauksista. Ympäristönlaatustandardit eivät ota huomioon esiintykö aine liukoisessa vai kiinteässä muodossa.

Tilastollisesti merkittävistä nousuista ja laskuista metallien osalta jokainen on liukoisessa olomuodossa. Tämä ainoastaan liukoisten aineiden osalta todettu tilastollisesti merkittävä muutos on linjassa teorian kanssa. Liukoisen

aineen ollessa mobiilimpi on sen muutoksessa todennäköisempää nähdä muutosta. Kiinteän aineen ollessa vähemmän kulkeutuva, se saostuu, pelkistyy tai pidättäytyy maaperässä.

Tämän työn tutkimuksessa vesinäytteet on otettu muutaman kuukauden ajanjaksolla ja näytteet on otettu pilaristabiloinnin jälkeen ja Variston kohteessa stabiloinnin aikana. Onkin mahdollista, että mittauspisteiden välillä on pohjavedessä suurta luonnollista pitoisuuden vaihtelua, mikä vaikuttaa tutkimustuloksiin. Todetut ympäristölaatustandardin ylittävät pitoisuudet voivat näin olla alueella jo ennen stabiloinnin vaikutusta, olla normaalia luonnossa esiintyvää vaihtelua tai johtua muista lähteistä. Lisäksi on syytä huomioida se, että osa näytteistä on otettu varsin pian pohjavesiputkien asentamisen jälkeen, mikäli osaltaan voi lisätä aineiden määrää tutkimustuloksissa. Kaikissa kohteissa on mahdollista, että pohjaveden pääasiallinen virtauskanava ei ole mittauspisteiden kohdalla. Stabiloidut alueet ovat toisaalta laajoja, jonka vuoksi virtauskanavia on useita, ja stabiloinnista mahdollisesti liukenevat aineet näkyvät mittausnäytteissä. Falkulassa ja Varistossa pohjaveden virtaus ei ollut yksiselitteistä pohjavedenpinnantasojen ollessa hyvin lähellä toisiaan kaikissa putkissa.



## 10 Johtopäätökset

Tässä työn tavoitteena oli selvittää vaikuttaako pilaristabilointi maaperässä olevan veden laatuun. Sekä, muodostaa kuvaa stabiloinnissa käytettävien aineiden vaikutukseen eri haitallisten aineiden pitoisuuksiin pinta- ja pohjavesissä. Ja, kerätä tapoja, joilla voidaan estää tai rajoittaa mahdollisten haitallisten aineiden leviämistä.

Stabiloiduista pilareista liukenee vettä hyvin johtavan kerroksen pohjaveteen liukoista kalsiumia, joka ei heikennä pohjaveden laatua, mutta nostaa pH:ta. Pilareista voi myös liueta muita sideaineen ainesosia, kuten nikkeliä arseenia ja kromia. Lisäksi maaperässä sitoutuneet aineet, kuten mangaani voivat liueta ja kulkeutua veden mukana pilaristabiloinnin johdosta. Sideaineen syöttäminen hyvin vettä johtavaan maa-ainekseen voi johtaa sideaineen leviämiseen haluttua laajemmalle alueelle. Aiempien tutkimusten ja tämän työn perusteella stabiloinnin ympäristövaikutukset veteen näyttävät olevan vähäisiä

Stabiloinnin sideaineista peräisin olevien aineiden mahdolliseen kulkeutumiseen vaikuttavat useat tekijät, joiden perusteella aineiden mahdollinen leviämialue vaihtelee suuresti. Tässä työssä esitetyn kirjallisuuden perusteella merkittävimmät tekijät ovat aineen liukoisuus luonnontilaisessa ympäristössä sekä maaperä, johon aine on syötetty. Aineen ollessa pääosin liukoisessa muodossa, aineella on suurempi mahdollisuus kulkeutua ympäristössä. Leviämispotentiaalia rajoittaa merkittävästi maa-aineksen vedenjohtavuus. Vedenjohtavuuden ollessa vähäistä on kulkeutumisen pääosin diffuusiota, vaikutus jää paikalliseksi muutaman senttimetrin alueelle. Mahdollisen leviämisen laajuutta ei tässä työssä tarkemmin määritetty. Tulosten perusteella stabiloinnista noin 40 metrin etäisyydeltä otetuissa pohjavesinäytteissä oli viitteitä kohonneista kalsiumpitoisuuksista.

Kohteissa, jotka sijaitsevat tärkeän pohjavesialueen lähellä tai muusta syystä ovat herkkiä pohjavedenlaadun vaihtelulle voi olla perustelua tarkentaa toimintamenetelmiä sideaineen leviämisen ehkäisemiseksi siten, että pilareiden alapäätt päättyvät savikerrokseen, jolloin pilareiden alapäiden ja vettä johtavan kerroksen väliin jää huonosti vettä johtava savikerros (esim. 0,5–1 m). Tämä menettelytapa on tarkoituksenmukainen myös silloin, kun pohjavesi on voimakkaasti paineellinen vettä johtavassa kerroksessa ja savikerroksen paksuus on pieni. Näin voidaan vähentää riskiä siihen, että paineellinen pohjavesi voisi virrata pilaria pitkin maan pinnalle.

## 11 Jatkotutkimussuositukset

Stabiloinnin vaikutuksista pohjaveteen tulisi tutkia lisää. Alla on esitettyjä tutkimusaiheita ja näkökulmia jatkotutkimukselle.

- Ideaalitapauksessa seuranta aloitettaisiin ennen stabiloinnin alkamista alueella esimerkiksi kahdesti, jatkuen stabilointityön aikana ja päättyessä kerran, sekä kahdesti vuodessa tämän jälkeen. Ennen stabiloinnin alkamista otetuilla pohjavesinäytteillä voidaan todeta paremmin alueen referenssipitoisuudet. Mittauksista ensimmäisen voisi ottaa laajemmalla analytiikalla. Mikäli ensimmäisten mittauskertojen perusteella ei nähtäisi tarvetta jatkaa laajoja analyyskejä, voitaisiin jatkossa mitata vedestä perusanalysointien, kuten pH-arvon ja veden pinnantason lisäksi sideaineiden pääkomponenttien pitoisuudet, sekä pohjavettä pilaavien aineiden pitoisuudet.
- Tässä tutkimuksessa tutkituissa kohteissa näytteitä otettiin rajalliset 1–2 näytettä mittauspistettä kohden. Pitoisuuksien varmentamiseksi on syytä seurata pitoisuuksien vaihtelua pidemmällä ajanjaksolla. Näytteenotto voisi olla esimerkiksi kahdesti vuodessa keväällä ja syksyllä. Näytteenotossa voitaisiin ottaa suppeampi analyysikonaisuus kuin tässä työssä keskittyen liukoisiin pitoisuuksiin.
- Pohjaveden laadunseurantaan olisi syytä lisätä uusia kohteita. Uusissa seurantakohteissa tulisi pohjaveden seuranta aloittaa ennen stabiloinnin aloittamista. Referenssinäytteitä tulisi ottaa taustapitoisuuden varmennuksessa kaksi näytettä.
- Liukoisuustutkimuksia olisi syytä lisätä, käyttäen yleisesti käytössä olevia sideaineseoksia.
- Jatkotutkimuksissa on syytä tutkia laajemmin tilastollisen analyysin keinoin. Tilastolliseen analyysiin olisi syytä sisällyttää stabiloinnissa käytetty sideaine, sekä stabiloitavan maanäytteen sijainti.

## Lähdeluettelo

Aluehallintovirasto. 2021. Päätös Nro 96/2021 Dnro 1) LSSAVI/16844/2019  
2) LSSAVI/11624/2020. Länsi- ja Sisä-Suomi. 30.4.2021.

Asikainen, N. & Tiensuu, J. Haastattelu. 3.3.2022. Skanska Oy.

Baker, S. 2006. Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay. Swedish Deep Stabilization Research Centre. Rapport 7. Linköping 2000. ISBN 91-7197-950-6

Betonitieto. 2022. Sementti. [verkkoaineisto]. [Viitattu: 14.06.2022]. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet/sementti.html>

Domenico, A & Schwartz, F. 1997. Physical and Chemical Hydrogeology Second edition. John Wiley & Sons, Inc. New York Chichester Weinheim Brisbane Toronto Singapore. ISBN 0-471-59762-7.

Eskola, P & Mroueh, U-M. 1998. Kivihiilivoimalan sivutuotteiden maarakennuskäytön elinkaariarviointi. [Environmental impact of the use of fly ash and FGD residues in earthworks]. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1898. 82 s. + liitt. 11 s.

Finnsementti. 2022. [verkkoaineisto]. [Viitattu: 20.05.2022]. Saatavissa: <https://finnsementti.fi/>.

Flykt, E. 2022. Haastattelu. 7.2.2022. Porvoon kaupunki.

Geotek Oy. 2018. Haitta-ainetutkimus EKE rakennus Oy Kortteli 42213, Magneetikatu Espoo. työ: 462-003. 7.2.2018.

Hallitusohjelma (2011). Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. URL: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Haettu 25.4.2022)

Harju, I. 2017. Uusiomateriaalit päällystettyjen teiden kantavan kerroksen stabiloinnissa. Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta. Diplomityö. s. 94, 8 liitettä.

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 2000. ISBN: 951-690-767-9. ISSN: 0781-4240.

Helenelund, K V. 1979. Maarakennusmekaniikka 137. Espoo Suomi: Otakustantamo. Kuudes painos. ISBN 951-671-060-3.

Helsingin kaupunki 2007. Fallpakka pilaristabilointipöytäkirjat.

Helsingin kaupunki. 2012a. Lallukantie korttelit 47196 ja 47293 Esirakentaminen hankekohtainen työselostus. Helsingin kaupunki rakennusvirasto Katu- ja puisto-osasto.

Helsingin kaupunki. 2012b. Kiinteistövirasto / Tonttiosasto Linnanpellon pientalotontit K47233 T2-10 ja T12-23 Rakennettavuusselvitys. Helsingin kaupunki rakennusvirasto Katu- ja puisto-ostasto.

Helsingin kaupunki. 2015. Tankomäenkatu välillä Tankomäenkuja-Itäväylä, Linnanpajantie välillä Linnanpajankuja-Tankomäenkatu, Linnanpajankuja Työselostus. Helsingin kaupunki Rakennusvirasto Katu- ja puisto-osasto

Helsingin kaupunki. 2017. Pasilan ratapiha, Helsinki – Eteläinen alue, Veturitalli – Vedenjohtavuusmittaukset 30. — 31.5.2017.

Horpibulsuk, S; Rachan, R & Raksachon, Y. 2009. Role of fly ash on strength and microstructure development in blended cement stabilized silty clay. Soils and foundations vol.49. No.1, 85-98. Helmikuu 2009. Japanese Geotechnical Society. <https://doi.org/10.3208/sandf.49.85>

Håkansson, K; Åhnberg, H & Johansson, S.-E. 2005. Environmental effects of deep mixing – laboratory analyses. Deep mixing '05. s.347-351  
Janz, M. & Johansson, S-E. 2002. The Function of Different Binding Agents in Deep Stabilization. Swedish Deep Stabilization Research Centre. Report 9. Linköping, Ruotsi. 47 s. ISSN 1402-2036

Juhola, P. 2022. Haastattelu. 4.2.2022. Tuusulan kunta.

Kangas, H. 2022. Haastattelu. 29.6.2022. Vantaan kaupunki

Kauranne, L K; Gardemeister, R; Korpela, K & Mälkki, E. (1972). Rakennusgeologia II, toinen korjattu painos. Espoo, Suomi: Otakustantamo. 443 s. ISBN: 951-671-017-4

Kaurila, M & Rautiainen, J. 2022. Haastattelu. 2.2.2022. Espoon kaupunki.

Kiinteistövirasto 2012. / Tonttiosasto Linnapellon pientalotontit K47233 T2-10 ja T12-23 Rakennettavuusselvitys GEO 12162 4.6.2012 Maria Mannisto

Kitazume, M. 2022. Haastattelu. 7.3.2022.

Kivimäki, A-L. 2020. Lahelanpelto II stabilointivaiheen aikainen pohjavesivaikutusten tarkkailu Yhteenvetoraportti. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. raportti 11/2020.

Kiviniemi, O; Sikiö, J; Jyrävä, H; Ollilla, S; Autiola, M; Ronkainen, M; Lindroos, N; Lahtinen, P & Forsman, J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja – Energiatuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. Ramboll Finland Oy. [Verkkoaineisto]. Viitattu 31.05.2022. Saatavilla: [https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf)

Kohonen, J; Reinikainen, S-P; Huittinen, J; Sirén, H; Autiola, M; Lahtinen, P; Lindroos, N; Marjamäki, T & Lampinen, T. 2012. Sustainable Management of Contaminated Sediments. Lappeenranta teknillinen yliopisto Teknillinen tiedekunta. LUT Kemia julkaisu 191. ISBN 978-952-265-304-8, 978-952-265-305-5 (PDF). ISSN 1798-0844.

Korkiala-Tanttu, L., Eskola, P., Häkkinen, T., Hiltunen, M. R., Tuominen, A. (2006). Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit; ehdotus arviointijärjestelmäksi. Tiehallinnon selvityksiä 22/2006. ISBN 951-803-712-4.

Kosche, M. 2004. A Laboratory model study on the transition zone and the boundary layer. Division of Soil and Rock Mechanics Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm. MSc Thesis.

Koskinen, M. 2022. Haastattelu. 4.7.2022. Helsingin kaupunki.

Kuusela-Lahtinen, A & Vahanne, P. 2005. Maaperän heterogeenisuuden vaikutus haitta-aineiden kulkeutumiseen pilaantuneiden maiden riskinarvioinnissa [The effect of soil heterogeneity on transport contaminants in risk assessment of polluted areas]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita - Research Notes 2296. 55 s. + liitt. 15 s.

Kuusela-Lahtinen, A; Mrouerh, U-M; Vahanne, P; Klingm T; Kapanen, A; Priha, M; Laine, E & Rossi, E. 2010. Ympäristö- ja terveysriskien arviointimenetelmien vertailu [Comparison of environmental and health risk assessment models]. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2551. 130 s + liitt. 52 s.

- Kuusipuro, K. 2020. Stabiloinnin sideaineet ja tilastomäärät 1985–2020 PVP 2021 19.9.2021. Esitysmateriaali. [Verkkoaineisto]. Saatavilla: [https://sgy.fi/wp-content/uploads/2021/08/6-stabiloinnin\\_sideaineet\\_kuusipuro.pdf](https://sgy.fi/wp-content/uploads/2021/08/6-stabiloinnin_sideaineet_kuusipuro.pdf)
- L'Hopital, E. Lothenbach, B. Le Saout, B. Kulik, D. Scrivener, K. 2015. Incorporation of aluminium in calcium-silicate-hydrates. *Cement and Concrete Research*. Volume 75 September 2015. s. 91-103. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.04.007>
- Larsson, S. 2021. ”The Nordic dry deep mixing method: Best practice and lessons learned”, esitetty tilaisuudessa Deep Mixing - An Online Conference, 2021, s. 30 p.
- Larsson, S. 2022. Haastattelu. 4.4.2022. KTH Royal Institute of Technology.
- Larsson, S; Kosche, M. 2005. A laboratory study on the transition zone surrounding lime-cement columns. *Deep mixing '05*. s. 111-118
- Liikennevirasto. 2018. Liikenneviraston ohjeita 17/2018. Syvästabiloinnin suunnittelu. Liikennevirasto. Helsinki. 128 s. ISBN 978-952-317-588-4.
- Löfroth, H. 2005. Properties of 10-year-old lime-cement columns. *Deep mixing '05*. s. 119–127
- Martio, J. 2011. Pohjavesitilanteen tarkastelu alikulkusiltapaikoilla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2011. verkkojulkaisu. ISBN: 978-952-255-635-6.
- Mertens, G. R. Snellings, K. Van Balen, B. Bicer-Simsir, P. Verlooy, J. Elsen. 2009. Pozzolanic reactions of common natural zeolites with lime and parameters affecting their reactivity. *Cement and Concrete Research*, Volume 39, Issue 3, 2009, Pages 233-240, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.008>.
- Mäkikyrö, M. 1996. Tien rakennekerrosmateriaalin stabilointi masunikuonatuotteilla. Tielaitos, Tielaitoksen selvityksiä 29/1996. Oulu.
- Nguyen, T. 2021. Uusiosideaineet pilaristabiloinnissa, Kuninkaantammen koestabilointi. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööri-tieteiden korkeakoulu. Espoo. 84 + 68.
- Nguyen, V D. 2019. Experimental Water Quality Analysis from the Use of High Sulfuric Fly Ash as Base Course Material for Road Building. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. Vol. 9, No. 5, 2019, 4627-4630

- Nordkalk. 2019. Käyttöturvallisuustiedote Norkalk Terra GTC. s. 15.
- Ono, K. Yamada, T. 2021. Impact of construction using the fry jet mixing method on the surrounding aquatic environment. Deep Foundations Institute. s. 502-511
- Ormio, O & Kallio, J. 2022. Haastattelu. 3.3.2022. YIT Oy
- Paatonen, E. 1995. Huokoskaasu maaperän ja pohjaveden saastuneisuuden kuvaajana. Helsingin kaupunki Ympäristökeskuksen julkaisuja 2/95.
- Paatsema, M & Kangas, H. 2003. Syvästabiloinnin pitkäaikaiset seurantatutkimukset. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto. Helsinki 2003. ISBN 952-473-195-9.
- Perkiö, K. 2000. Syvästabiloinnin tuotantotekniikka ja sekoituskärjen muodon vaikutus sekoitustyön laatuun. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 166
- Pokinen, M & Oldén, V-P. 2022. Haastattelu. 3.2.2022. Tampereen kaupunki.
- Ramboll. 2022. Luhtitie työselostus. Ramboll Finland Oy 2022. Espoo.
- Reijonen I. 2021. Kuninkaantammi Yhteenvedo koestabiloinnin ympäristötutkimuksista. Tutkimusraportti. Ramboll.
- Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristökeskus 2/2012. ISBN 978-952-11-3975-8 (PDF).
- Savola, A. 2022. Haastattelu. 4.2.2022. Turun kaupunki.
- SFS-EN ISO 14688-2. (2018). Geotechnical investigation and testing. Identification and classification of soil. Osa 2: Principles for a classification. 2.painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 18 s.
- SGY. 2008. Ympäristögeotekniikan perusteet. [verkkoaineisto]. [Viitattu: 27.06.2022]. Saatavissa: <https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/ympaeristoegeotekniikan-perusteet.pdf>
- Shi, C. & Day, R. 2000. Pozzolan reaction in the presence of chemical activators: Part I. Reaction kinetics. Cement and Concrete Research. Volume 30. Issue 1. January 2000. s. 51-58. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00205-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00205-7).
- Smura, M. 2022. Haastattelu. 3.3.2022. Destia Oy.

SYKE. 2022. Rakentamisen päästötietokanta. [verkkoaineisto]. [Viitattu: 21.02.2022]. Saatavissa: CO2data.fi.

Tampereen kaupunki. 2020. Tampereen kaupunki, Linnainmaan kaupunginosa, Hipunkatu ja Hipunraitti. Ympäristönsuojelulain (527/2014) 119 §:n mukainen ilmoitus koeluonteisesta toiminnasta, jossa maaperäolosuhteita vahvistetaan pilaristabiloinnilla, korvaamalla perinteisesti käytetyt sideaineet uusiosideaineella.

Tengvall, J. Pirilä, M. & Lindroos, N. 2018. Saunalahti, Tontit 42213/3 ja 6 – Salaojavesien sakkaantumisen selvitys. Ramboll Finland Oy.

Turtiainen, H & Kivimäki, A-L. 2022. Pääkaupunkiseudun pohjavesiyhteistarkkailu Vuosiraportti 2021. Vantaajoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Raportti 6/2022.

van der Kamp, G; Luba, L; Cherry, J A & Maathuis, H. 1994. Field study of a long and very narrow contaminant plume. *Ground Water*, vol. 32, no. 6, s. 1008-1016. ISSN 0017467X

Virola, H & Raivio. P 2000. Portlandsementin hydrataatio. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes, no. 2041, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2041.pdf>>

Virtanen, S. 2022. Haastattelu. 22.4.2022. Lahden kaupunki.

Ympäristönsuojelulaki 2014/527. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: finlex.fi

Yong-Feng, D. Zhang, T-W. Zhao, Y. Liu, Q-W & Wang, Q. 2017. Mechanical behaviour and microstructure of steel slag-based composite and its application for soft clay stabilization. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. DOI: 10.1080/19648189.2017.1357787

Åhnberg H, Larsson L. 2012. Uppföljning av KCE- och KC-stabiliserad jord i fält – Miljö- och hållfasthetsundersökning Resultat av undersökningar upp till fem år efter stabilisering. Statens Geotekniska Institut. Swedish Geotechnical Institute. SGI Varia, ISSN 1100-6692; 631.

Åhnberg,H & Johansson, S.E. 2005. Increase in strength with time in soils stabilized with different types of binder in relation to the type and amount of reaction products. International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances., Deep Mixing, May 23-25, Stockholm, Sweden, 195-202.



## Liitteluettelo

- Liite 1 Pohjavettä pilaavat aineet
- Liite 2 GTK maaperäkartan selite
- Liite 3 Haastattelu kysymykset
- Liite 4 Tutkimustulokset kokonaisuudessa

## Liitteet

### Liite 1 Pohjaveden laatu standardit









341/2009 Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta. Liite 7. A) Pohjavettä pilaavat aineet ja niiden ympäristölaatu normi

	Aine	Pohjaveden ympäristölaatu normi	Yksikkö
1.	Nitraatit	50	mg/l
2.	Torjunta-aineiden vaikuttavat aineet ja niiden (merkitykselliset) aineenvaihdunta-, hajoamis- tai reaktiotuotteet	0,1	µg/l
		0,5 yhteensä <sup>2</sup>	µg/l
3.	Bentseeni	0.5	µg/l
4.	Tolueeni	12	µg/l
5.	Etyylibentseeni	1	µg/l
6.	Ksyleenit (Σorto-, meta- ja paraksyleeni)	10	µg/l
7.	Antraseeni	60	µg/l
8.	Naftaleeni	1.3	µg/l
9.	Bentso(a)pyreeni	0.005	µg/l
10.	ΣBentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni ja indeno-(1,2,3-cd)-pyreeni	0.05	µg/l
11.	PCB-yhdisteet (Σ kongeneerit 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180)	0.015	µg/l
12.	ΣTriklloorieteeni ja tetrakloorieteeni	5	µg/l
13.	1,2-dikloorieteeni	25	µg/l
14.	1,2-dikloorietaani	1.5	µg/l
15.	Dikloorimetaani (metyleenikloridi)	10	µg/l
16.	Vinyylikloridi (kloorieteeni)	0.15	µg/l
17.	Hiilitetrakloridi	2	µg/l
18.	Kloroformi (trikloorimetaani)	100	µg/l
19.	Klooribentseeni	3	µg/l
20.	1,2-diklooribentseeni	0.3	µg/l

	Aine	Pohjaveden Ympäristön- laatu­normi	Yksikkö
21.	1,4-diklooribentseeni	0.1	µg/l
22.	Triklooribentseeni (Σ1,2,3-, 1,2,4- ja 1,3,5-triklooribentseeni)	2.5	µg/l
23.	Pentaklooribentseeni	1.2	µg/l
24.	Heksaklooribentseeni	0.024	µg/l
25.	Monokloorifenolit	0.05	µg/l
26.	Dikloorifenolit	2.7	µg/l
27.	ΣTri-, tetra- ja pentakloorifenoli	5	µg/l
28.	MTBE (metyyli-tert-butyylieetteri)	7.5	µg/l
29.	TAME (tert-amyyylimetyylieetteri)	60	µg/l
30.	Öljyjakeet (C10-40)	50	µg/l
31.	Elohopea	0.06	µg/l
32.	Kadmium	0.4	µg/l
33.	Koboltti	2	µg/l
34.	Kromi	10	µg/l
35.	Kupari	20	µg/l
36.	Lyijy	5	µg/l
37.	Nikkeli	10	µg/l
38.	Sinkki	60	µg/l
39.	Antimoni	2.5	µg/l
40.	Arseeni	5	µg/l
41.	Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.25 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l
	tai Ammoniumtyppi NH <sub>4</sub> N	0.20 (NH <sub>4</sub> N)	mg/l
42.	Kloridi	25	mg/l
43.	Sulfaatti	150	mg/l

## Liite 2 GTK maaperäkartan selite (GTK 2022)

### Maaperä 1:20 000 (34)

-  Kalliomaata, maanpeite enintään 1 m (yleensä moreenia) (Ka)
-  Rapakallio (RpKa)
-  Rakka (RaKa)
-  Lohkareita (Lo)
-  Kiviä (Ki)
-  Hiekkamoreeni (Mr), Soramoreeni (SrMr)
-  Hienoainemoreeni (HMr)
-  Sora (Sr)
-  Hiekka (Hk)
-  liejuinen Hiekka, humuspitoisuus 2-6 % (LjHk)
-  karkea Hieta (KHT)
-  liejuinen Hieta (karkea), humuspitoisuus 2-6 % (LjHT)
-  hieno Hieta (HHT)
-  liejuinen hieno Hieta, humuspitoisuus 2-6 % (LjHHT)
-  Hiesu (Hs)
-  Liejuhiesu, humuspitoisuus 2-6 % (LjHs)
-  Savi (Sa)
-  Liejusavi, humuspitoisuus 2-6 % (LjSa)
-  Lieju, humuspitoisuus yli 6 % (Lj)
-  Rahkaturve (St)
-  Saraturve (Ct)
-  Turvetuotantoalue (Tu)
-  Täytemaa (Ta)
-  Kartoittamaton (0)
-  Vesi (Ve)

### **Liite 3 – Haastattelu kysymykset**

- Onko teillä tietoa havainnoista, pilaristabiloinnin vaikutuksesta pohjaveteen tai yleisemmin stabiloinnin vaikutuksesta veden laatuun?
- Onko teillä havaintoja pilarin vaikutuksesta vedenvirtaamiseen pilaria pitkin tai stabiloinnin vaikutuksesta pohjaveden virtaamiseen?  
ja  
Onko teillä tietoa havainnoista, joissa pilaristabiloinnin yhteydessä vesi virtaisi pilaria pitkin ylös paineistetun pohjaveden seurauksesta?
- Voinko viitata vastaukseenne osana työtäni?

## **Liite 4 - Tutkimustulokset kokonaisuudessa**

Pohjavesinäytteiden  
tutkimustulokset

Piste	Ajankohta	Koordinaatit			
		Koordinaattijärjestelmä: Korkeusjärjestelmä:		ETRS-TI N2000	
		X	Y	Zputki	syv.[m]
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	6678233,868	394071,95	17,2	3,8
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	6678233,868	394071,95	17,2	3,2
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	6678016,907	394106,155	12,9	2
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	6678016,907	394106,155	12,9	1,6
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	6677875,119	393954,738	13,3	2,5
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	6677875,119	393954,738	13,3	1,9
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	6682284,907	391348,235	16,6	1,7
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	6682284,907	391348,235	16,6	2,3
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	6682160,097	391530,23	16,7	1,6
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	6682160,097	391530,23	16,7	1,7
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	6682155	391349	16,5	1,4
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	6682155	391349	16,5	1,5
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	6682279.54	391699.341	16,4	1,1
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	6682279.54	391699.341	16,4	1,3
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	6682536.162	391687.118	16,1	0,8
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	6682536.162	391687.118	16,1	1,1
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	6678549.145	396533.5088	6,84	4,4
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	6678299.047	396629.9578	1,58	0,5
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	6678275.534	396609.9314	1,12	0,2
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	6678084.591	396234.8836	3,59	1,2
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	6678804.146	395173.2065	11,7	1,3
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	6678727.977	395365.4352	11,2	1,8
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	6678666.054	395294.3448	11,5	2,1
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	6678372.0811	396149.5798	4,5	0,8
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	6678169.9405	396223.597	4,89	1,8
Varisto, P1	18.5.2022	6683979,957	25490338,02	29,3	1,2
Varisto, P2	18.5.2022	6683909,097	25490724,35	30,4	2,6
Varisto, P3	18.5.2022	6684069,174	25490918,08	30,8	3,2

Piste	Ajankohta	M35FIN Zvesi	Haju aistinvarainen
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	13,41	Hajuton
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	13,41	Hajuton
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	10,85	Hajuton
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	11,24	Hajuton
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	10,74	Hajuton
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	11,32	Hajuton
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	14,9	Hajuton
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	14,33	Hajuton
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	15,14	Hajuton
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	15,02	Hajuton
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	15,08	Hajuton
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	15,04	Hajuton
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	15,24	Hajuton
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	15,1	Hajuton
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	15,36	Hajuton
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	15,06	Hajuton
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	2,47	Hajuton
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	1,072	Hajuton
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	0,969	Hajuton
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	2,378	Hajuton
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	10,33	Hajuton
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	9,487	Hajuton
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	9,426	Hajuton
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	3,74	Hajuton
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	3,14	Lievä
Varisto, P1	18.5.2022	28,09	Lievä mädäntynyt
Varisto, P2	18.5.2022	27,8	Hajuton
Varisto, P3	18.5.2022	27,57	Hajuton



Kenttähavainnot			
Piste	Ajankohta	Ulkonäkö	Ekstra (esim. näytteen- ottotapa)
		aistinvarainen	
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	Ruskea, hieman samea	Pumppu
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	Ruskea, hieman samea	Pumppu
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	Ruskea, hieman samea	Pumppu
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	Ruskea, sameahko	Pumppu
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	Ruskea, hieman samea	Pumppu
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	Ruskea, sameahko	Pumppu
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	Harmaa, samea	Pumppu
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	Harmaa, samea	Pumppu
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	Harmaa, erittäin samea	Pumppu
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	Harmaa, samea	Pumppu
Falkula, 12611/04	23.2.2022	Ruskea, hieman samea	Pumppu
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	Harmahtava, sameahko	Pumppu
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	Harmaa, erittäin samea	Pumppu
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	Harmaa, samea	Pumppu
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	Ruskea, sameahko	Pumppu
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	Harmahtava, hieman samea	Pumppu
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	Harmahtava, hieman samea	Vesi loppuu
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	Väritön, kirkas	Pumppu
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	Harmaa, erittäin samea	Pumppu
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	Väritön, kirkas	Pumppu
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	Harmaa, samea	Pumppu
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	Väritön, kirkas	Pumppu
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	Harmaa, erittäin samea	Pumppu
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	Väritön, kirkas	Pumppu
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	Väritön, kirkas	Pumppu
Varisto, P1	18.5.2022	Kirkas, väritön	twister
Varisto, P2	18.5.2022	Kirkas, väritön	twister
Varisto, P3	18.5.2022	Kirkas, väritön	twister

Piste	Ajankohta	Ekstra (esim. antoisuus)	Pohja	Lämpötila	Kenttämittauk
					Happipitoisuus (DO mg/l)
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	Hyvä	10	7,4	0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	Hyvä	10	7,8	0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	Hyvä	14	7,9	0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	Hyvä	14	8,3	0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	Hyvä	15	7,5	1,28
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	Hyvä	15	8,2	1,58
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	Ok	16	6,4	0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	Ok	16	7,7	0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	Heikko	14	6,3	0,34
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	Ok	15	7,7	0
Falkula, 12611/04	23.2.2022	Ok	19	6,7	0
Falkula, 12611/04	26.4.2022	Ok	19	7,4	0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	Hyvä	14	6,1	Liikaa ki
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	Hyvä	14	7	0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	Ok	15	6,6	0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	Ok	15	7,3	0,02
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	tyhjen. 27.4.	9	6,8	Vesi e
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	Hyvä	24	7,2	0
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	Hyvä	19	6,8	Liikaa ki
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	Hyvä	13	7,9	0
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	Ok	16	7,7	0
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	Hyvä	26	7,7	0
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	Hyvä	20	7,6	Liikaa ki
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	Hyvä	20	7,6	0
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	Hyvä	14	9	0
Varisto, P1	18.5.2022	hyvä	8	0	42,7
Varisto, P2	18.5.2022	hyvä	7	0	25,3
Varisto, P3	18.5.2022	hyvä	6	32,3	18,9

Pohjavesinäytteiden  
tutkimustulokset

Piste	Ajankohta	set			Sameus	pH
		Sähkönjohtavuus (SPC)	pH	Redox-potentiaali (ORP)		
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	mS/m	-	mV	FNU	-
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	35,5	6,22	15	120	6,5
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	35	6,33	44	110	6,1
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	37,7	6,24	73,3	280	6,3
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	38,3	6,05	93,3	310	6,2
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	61,1	6,36	58,8	160	6,4
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	61,2	5,99	35,4	91	6,3
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	57,8	6,66	-18,3	4600	6,8
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	49,2	7,01	-73	365	7
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	62,7	7,46	49,4	>10000	7,7
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	41,5	7,7	-64,6	422	6
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	48	7,42	-50,4	94	7,8
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	47	7,3	-32,5	124	8
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	ntoainesta YSI-mittauksiin			4200	8,2
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	32,4	7,57	-131,7	187	8
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	36,9	6,61	-36,2	150	6,8
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	37,9	6,3	7,4	63,7	7
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	i riittä Ysi-mittauksiin			56	8,6
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	107	7,05	-53,3	16	7
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	intoainesta Ysi-mittauksiin			3600	7,8
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	52,2	6,58	18	21	6,8
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	44,9	7,03	-31,8	1100	7
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	51,2	6,6	38,2	10	6,5
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	intoainesta Ysi-mittauksiin			2700	8
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	52,7	6,89	-2,7	16	6,9
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	47	7,14	-77,8	19	7,2
Varisto, P1	18.5.2022		7,03	-67,8	24	
Varisto, P2	18.5.2022		6,41	35,2	5,9	
Varisto, P3	18.5.2022		6,64	100,6	1,8	

Piste	Ajankohta	Sähköjohtavuus	Alkaliteetti	Happipitoisuus	COD <sub>Mn</sub>
		mS/m	mmol/l	mg/l	mg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	45	0,88	<0,3	7,5
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	34,6	0,61	0,3	4
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	38,3	1,4	0,4	2
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	37,6	1,4	0,4	<1
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	61	1,5	0,9	4,2
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	58,4	2	0,4	9,2
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	54,2	2,4	<0,3	34
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	47,1	2,3	<0,3	5
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	49,5	3,3	<0,3	160
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	42,5	2,36	<0,3	6
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	48,8	3,4	0,3	1,8
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	46,9	3,27	0,3	2
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	33,7	1,8	<0,3	9,3
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	32,4	1,68	<0,3	2
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	36,2	2,5	<0,3	2,5
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	37,9	2,58	<0,3	2
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	54,8	3,6	1,6	6,3
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	97	2,8	<0,3	2,7
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	64,6	3	<0,3	28
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	50,9	2	<0,3	1,8
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	43,2	1,8	<0,3	5,9
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	49,7	1,4	<0,3	1,5
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	29,5	1,6	<0,3	4,2
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	51,4	2,2	<0,3	2,6
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	45,4	2,2	<0,3	1,1
Varisto, P1	18.5.2022	3,3			
Varisto, P2	18.5.2022	1,5			
Varisto, P3	18.5.2022	1,7			

Vedenlaadun perusanalyysit						
Piste	Ajankohta	Kloridi (Cl)	Sulfaatti (SO <sub>4</sub> )	Fluoridi	Kovuus	Typen kokonaispitoisuus
		mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<b>65</b>	24	<0,2	0,73	0,37
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<b>66</b>	25	<0,2	0,69	0,27
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<b>41</b>	33	<0,2	1,15	4,3
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<b>42</b>	34	<0,2	1,2	4,7
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<b>110</b>	44	<0,2	1,49	3,3
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<b>97</b>	37	<0,2	1,47	3,8
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<b>30</b>	120	0,5	2,03	1,1
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<b>34,8</b>	75,3	0,4	1,54	0,305
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<b>46</b>	34	0,7	1,23	1,2
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<b>38,7</b>	40,7	0,6	0,94	0,325
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	24	51	0,5	1,83	0,35
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	17,3	55,9	0,3	1,63	0,267
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	24	39	0,7	0,92	0,38
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	21,6	42,3	0,5	0,86	0,175
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	13	44	0,6	1,23	0,13
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	13,9	46,1	0,4	1,2	0,115
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	17	79	0,9	1,06	0,61
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<b>210</b>	60	0,6	1,97	0,36
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<b>94</b>	51	0,4	2,07	0,41
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<b>69</b>	51	0,4	1,38	0,19
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<b>51</b>	52	0,5	1,44	0,18
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<b>88</b>	48	0,3	1,05	0,11
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<b>31</b>	26	0,6	0,92	0,17
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<b>71</b>	47	0,5	1,34	0,19
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<b>52</b>	43	0,4	1,47	0,63
Varisto, P1	18.5.2022	12	40	0,6		0,087
Varisto, P2	18.5.2022	16	29	0,5		0,067
Varisto, P3	18.5.2022	3,1	12	<0,2		0,34

Piste	Ajankohta	Typpi (N)		Ionit		Al	Ca
		Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	Ammoniumityppi (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)	Nitraatti (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )		
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,005	<b>0,23</b>	<0,023	<b>0,29</b>	260	22
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,005	0,086	<0,023	0,11	120	20
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	4,1	0,096	18	0,12	120	36
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	4,3	0,029	19	0,037	<10	38
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	2	<b>1,2</b>	8,7	<b>1,5</b>	<10	43
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	1,9	<b>1,6</b>	8,3	<b>2,1</b>	<10	42
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,005	<b>1,5</b>	<0,023	<b>2</b>	<10	58,75
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,005	<b>0,248</b>	<0,023	<b>0,32</b>	<10	44,935
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,005	<b>2,1</b>	<0,023	<b>2,7</b>	24	34,26
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,005	<b>0,272</b>	<0,023	<b>0,352</b>	<10	27,757
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,005	<b>0,21</b>	<0,023	<b>0,28</b>	<10	49,06
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,005	0,163	<0,023	0,21	<10	45,774
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,005	<b>1,5</b>	<0,023	<b>2</b>	18	26,53
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,005	0,153	<0,023	0,1968	<10	26,239
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	0,0099	0,12	0,044	0,15	<10	32
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,005	0,064	<0,023	0,0819	<10	3,693
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	0,0055	0,11	0,024	0,14	48	24
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,005	<b>0,23</b>	<0,023	<b>0,3</b>	<10	57
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,005	<b>0,31</b>	<0,023	<b>0,4</b>	<10	58
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,005	0,056	<0,023	0,072	<10	35
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,005	0,11	<0,023	0,14	<10	41
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,005	0,041	<0,023	0,053	<10	29
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	0,005	0,12	0,023	0,15	23	27
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	0,0089	0,065	0,039	0,084	<10	36
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	0,0099	<b>0,6</b>	0,044	<b>0,77</b>	<10	40
Varisto, P1	18.5.2022	<0,005	0,058	<0,0023		<1,0	
Varisto, P2	18.5.2022	<0,005	0,018	<0,0023		16	
Varisto, P3	18.5.2022	0,3	0,006	1,3		<1,0	

Piste	Ajankohta	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,1	4,5	<0,2	<0,024	0,73	1,8
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	0,2	4,8	<0,2	<0,024	0,37	0,99
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,1	0,3	<0,2	0,12	<b>4,5</b>	<0,20
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,1	0,1	<0,2	0,12	<b>2,8</b>	<0,20
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,1	1,7	<0,2	0,093	<b>6</b>	<0,20
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,1	<b>13</b>	<0,2	0,067	<b>3,6</b>	0,28
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	0,1	0,9	<0,02	<0,024	<b>2,7</b>	0,21
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	0,2	2,2	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	0,4	<b>17</b>	<0,02	0,037	0,32	<0,20
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	0,3	<b>19,8</b>	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,1	5	<0,02	<0,024	0,22	<0,20
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	0,2	4,5	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,1	2,7	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	0,2	2,8	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,1	2,6	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	0,4	2,7	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	0,4	4,5	<0,02	0,074	0,19	<0,20
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,1	<b>7,4</b>	<0,02	<0,024	0,21	<0,20
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	0,7	<b>16</b>	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	0,4	3,6	<0,02	<0,024	1,4	<0,20
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	0,4	1,9	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	0,4	0,7	<0,02	0,054	1,1	<0,20
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	1	<b>13</b>	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	0,5	1,9	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	0,4	3,4	<0,02	<0,024	<0,15	<0,20
Varisto, P1	18.5.2022	<0,1	2,4	<0,13	<0,024	<0,15	0,26
Varisto, P2	18.5.2022	0,5	0,5	<0,13	<0,024	<b>3,2</b>	0,3
Varisto, P3	18.5.2022	<0,1	<0,1	<0,13	<0,024	<0,15	0,3

Piste	Ajankohta	Liukoiset metallit					
		Cu	Pb	Mn	Mo	Ni	Fe
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	µg/l <1,0	µg/l <0,15	µg/l 90	µg/l 1,6	µg/l 1,2	mg/l 6,1
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	1,5	<0,15	40	2,7	1,4	0,99
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<1,0	<0,15	180	7,9	6,1	0,6
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	1,3	<0,15	120	5	3,4	0,0082
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	4,3	<0,15	600	14	3,5	3,5
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	2,2	<0,15	570	12	2	9,9
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<1,0	<0,15	1092	18	8,2	7,8
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<1,0	<0,15	672	3	<0,60	5,36
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	1	0,21	136	35	4,2	0,016
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<1,0	<0,15	106	9	0,6	<0,001
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<1,0	<0,15	479	4,6	0,65	0,013
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<1,0	<0,15	545	1	<0,60	0,035
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<1,0	<0,15	78	20	<0,60	0,011
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<1,0	<0,15	101	6	<0,60	<0,001
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<1,0	<0,15	330	<1,0	0,96	8
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<1,0	<0,15	339	<1,0	0,9	8,1
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	1,3	<0,15	26	260	3,5	0,031
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<1	<0,15	590	1,1	0,67	7,5
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<1	<0,15	400	2,2	1,3	<0,01
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<1	<0,15	220	<1	5,7	3,2
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<1	<0,15	530	4,1	<0,6	2,6
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<1,0	<0,15	270	3,5	4,4	3,6
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<1,0	<0,15	89	14	<0,60	<0,010
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<1,0	<0,15	240	1	0,62	3,5
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<1,0	<0,15	840	1,1	<0,60	1,9
Varisto, P1	18.5.2022	<1,0	<0,15	600		<0,6	1,9
Varisto, P2	18.5.2022	<1,0	<0,15	140		4,8	2,6
Varisto, P3	18.5.2022	<1,0	<0,15	<3,0		<0,6	<0,01



Piste	Ajankohta	K	Zn	V	Se	Na	Mg
		mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	5	<5,0	3,1	<0,2	33	4,4
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	4,3	9	2,7	<0,2	34	4,6
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	5,3	5,6	<0,1	<0,2	24	6,3
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	5,3	<5,0	0,2	<0,2	24	6,3
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	5,5	12	<0,1	0,5	54	10
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	5,3	14	0,5	0,4	48	10
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	8,15	15	<0,1	<0,2	42,99	15,74
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	5,11	<5,0	0,2	<0,2	28	10,19
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	4,51	<5,0	1,8	<0,2	64,85	7,64
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	3,54	<5,0	0,5	<0,2	48,28	5,89
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	6,25	34	0,1	<0,2	45,03	12,97
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	5,84	7	0,2	<0,2	28,05	11,97
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	3,71	<5,0	0,6	<0,2	38,97	5,141
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	3,48	20	0,1	<0,2	28,4	4,9
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	3,8	<5,0	0,2	<0,2	22	10
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	3,69	<5,0	0,1	<0,2	20,47	9,55
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	18	<5,0	1,4	1,4	64	11
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	6,6	<5	<0,1	<0,2	110	13
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	5,8	<5	0,4	0,3	46	15
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	8,8	<5	0,2	<0,2	36	12
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	4,9	<5	0,2	<0,2	26	10
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	4,7	<5,0	0,1	<0,2	47	7,7
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	2,8	<5,0	0,2	<0,2	18	5,7
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	12	<5,0	0,2	<0,2	38	11
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	4,2	<5,0	<0,1	<0,2	28	11
Varisto, P1	18.5.2022		<5,0	<0,1			
Varisto, P2	18.5.2022		16	0,1			
Varisto, P3	18.5.2022		<5,0	<0,1			

Piste	Ajankohta	Ba	U	Al	Ca	Sb	As
		µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	43	0,5	8800	25	<1,0	<b>5,4</b>
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	31	0,6	5200	22	<1,0	<b>6,9</b>
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	25	1,1	23000	47	<1,0	<b>18</b>
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	25	0,9	2600	41	<1,0	2,5
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	43	3,8	5200	47	<1,0	<b>11</b>
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	46	3,7	5500	46	<1,0	<b>30</b>
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	68	1,5	104600	80,45	1,3	<b>30</b>
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	37,7	0,2	18116	54,91	<1,0	<b>5,3</b>
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	52	36	664600	250,6	1,9	<b>210</b>
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	29	10,2	39502	52,42	<1,0	<b>33,9</b>
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	34	0,3	4138	46,42	<1,0	<b>6,3</b>
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	28,9	0,2	4689	58,39	<1,0	<b>6,4</b>
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	22	2,2	85410	51,69	<1,0	<b>24</b>
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	15,2	0,7	37623	80,48	<1,0	<b>17</b>
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	29	0,3	5,7	38	<1,0	4,1
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	28,3	0,2	567	33,52	<1,0	2,5
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	28	4,4	3000	27	<1,0	3,9
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	87	1,8	260	59	<1	<b>7,2</b>
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	62	14	140000	140	1,1	<b>83</b>
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	66	7,5	840	38	<1	3,4
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	42	0,4	57000	64	<1	<b>22</b>
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	37	1,4	400	31	<1,0	0,8
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	20	0,6	29000	40	<1,0	<b>24</b>
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	48	0,1	1100	38	<1,0	1,8
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	34	<0,1	260	45	<1,0	3,6
Varisto, P1	18.5.2022			720	47	<1,0	2,4
Varisto, P2	18.5.2022			160	26	<1,0	0,8
Varisto, P3	18.5.2022			<50	22	<1,0	<0,5

Piste	Ajankohta	Hg	Cd	Co	Cr
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,02	<0,1	<b>3</b>	<b>17</b>
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,02	<0,024	1,9	<b>11</b>
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,02	0,2	<b>13</b>	<b>37</b>
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,02	0,12	<b>3,7</b>	4,9
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,02	0,1	<b>8,3</b>	<b>11</b>
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,02	0,067	<b>5,2</b>	10
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	0,04	<b>1</b>	<b>58</b>	<b>270</b>
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	0,04	0,1	<b>5,9</b>	<b>30</b>
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	0,06	<b>7,9</b>	<b>330</b>	<b>1500</b>
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	0,06	0,4	<b>17,7</b>	<b>74</b>
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,02	<0,1	1,6	6,5
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,02	<0,1	1,7	7
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,02	<b>0,9</b>	<b>48</b>	<b>230</b>
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,02	0,4	<b>17,3</b>	<b>75</b>
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,02	<0,1	1,9	8,4
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,02	<0,1	0,3	1
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,02	0,1	0,9	4,9
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,02	<0,1	<0,3	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,02	<b>1,2</b>	<b>64</b>	<b>260</b>
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,02	<0,1	<b>2,3</b>	1,3
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,02	<b>1,3</b>	<b>21</b>	<b>93</b>
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,02	<0,1	1,6	<1,0
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,02	0,3	<b>12</b>	<b>48</b>
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,02	<0,1	0,4	2
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,02	<0,1	<0,3	<0,1
Varisto, P1	18.5.2022	<0,13	<0,1	<0,3	1,9
Varisto, P2	18.5.2022	<0,13	<0,1	<b>3,4</b>	<1,0
Varisto, P3	18.5.2022	<0,13	<0,1	<0,3	<1,0

Metallit, kokonaispitoisuudet							
Piste	Ajankohta	Cu	Pb	Mn	Mo	Ni	Fe
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	14	4,6	160	3,2	8,7	12
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	7,6	2,5	71	3,6	6,1	4,5
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<b>34</b>	<b>12</b>	440	14	<b>28</b>	20
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	5,6	1,3	140	6,2	6	2,2
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<b>27</b>	3,6	660	18	9,2	12
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	15	2,6	610	16	6,1	18
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<b>240</b>	<b>62</b>	2364	77	<b>140</b>	205,7
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<b>33</b>	<b>9,6</b>	852	6	<b>15</b>	25,1
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<b>870</b>	<b>480</b>	9721	89	<b>760</b>	1030
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<b>57</b>	<b>24,5</b>	739	13	<b>42</b>	45,5
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	5,6	1,4	473	4,6	3,8	4,227
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	16	1,7	702	2	4	4,711
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<b>160</b>	<b>53</b>	1322	31	<b>120</b>	121,8
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<b>48</b>	<b>23</b>	1126	9	<b>42</b>	48,66
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	14	2,2	400	1,1	5,3	15
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	3	<0,5	319	<1	<3	8,7
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	6,3	0,7	58	290	6,4	2
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	1,5	<0,5	580	1,1	<3	8,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<b>230</b>	<b>57</b>	3000	14	<b>150</b>	170
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	1,9	<0,5	290	<1	9,6	5,3
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<b>67</b>	<b>18</b>	1400	6,8	<b>51</b>	59
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	1,3	<0,5	340	2,2	6	5,1
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<b>61</b>	<b>13</b>	510	16	<b>31</b>	29
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	1,4	<0,5	300	<1,0	<3,0	5,8
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	1,4	<0,5	990	1,2	<3,0	4,1
Varisto, P1	18.5.2022	16	<0,5	600		<3,0	3,4
Varisto, P2	18.5.2022	1,2	<0,5	140		5,2	3,1
Varisto, P3	18.5.2022	7,1	<0,5	4,7		<3,0	0,15

Piste	Ajankohta	K	Zn	V	Se	Na	Mg
		mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	7,7	14	18	<1,0	35	6,4
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	5,4	9,2	12	<1,0	34	5,5
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	11	36	38	1,5	29	12
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	5,9	5,2	4	<1,0	24	6,8
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	7,3	21	11	<1,0	57	12
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	6,2	15	9,9	<1,0	47	11
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	41,15	<b>470</b>	320	2,7	47,59	54,33
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	11,4	54	35,2	<1,0	31,01	15,64
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	206,5	<b>2700</b>	1900	9,9	106,8	337,6
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	15,26	<b>123</b>	97,6	<1,0	51,21	20,58
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	6,409	<b>92</b>	8,5	<1,0	43,28	12,28
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	8,304	<b>76</b>	9	<1,0	33,91	15,38
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	29,03	<b>330</b>	270	1,4	45,28	38,62
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	16,52	<b>137</b>	92,3	<1,0	27,29	24,03
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	5,1	13	11	<1,0	22	12
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	3,8	13	1,2	<1,0	20,71	9,85
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	21	<5	5,8	<1	76	14
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	6,6	<5	0,5	<1	100	13
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	50	<b>520</b>	360	3,5	63	63
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	11	<5	1,8	<1	46	15
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	25	<b>180</b>	120	<1	36	28
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	5,7	<5	0,9	<1	57	9,7
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	13	<b>120</b>	60	<1	27	15
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	13	<5	2,4	<1	45	13
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	4,7	9,2	0,7	<1	32	13
Varisto, P1	18.5.2022		<5,0	1,2			10
Varisto, P2	18.5.2022		18	<0,5			7,3
Varisto, P3	18.5.2022		<5,0	<0,5			6,8

Piste	Ajankohta	Ba	U	B	S	Antraseeni	Asenaiteeni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	100	2,1	<200	7242	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	67	1,7	<200	7132	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	160	7,5	<200	9723	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	46	1,7	<200	9577	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	75	7,8	<200	13450	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	78	6,3	<200	11240	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	860	50	<200	36350	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	165	4,7	<200	21220	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	5700	460	<200	19640	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	315	31	<200	13530	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	64	1	<200	15420	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	62	1	<200	14230	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	830	44	<200	12080	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	413	14,9	<200	15670	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	59	1,9	<200	13190	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	31	<0,5	<200	12910	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	47	4,5	<200	23260	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	86	1,7	<200	18270	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	710	53	<200	20310	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	69	7,7	<200	15310	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	340	11	<200	15700	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	38	1,5	<200	14020	<0,01	<0,01
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	210	5,3	<200	8317	<0,01	<0,01
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	51	<0,5	<200	13790	<0,01	<0,01
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	36	<0,5	<200	13195	<0,01	<0,01
Varisto, P1	18.5.2022				11320	<0,10	<0,10
Varisto, P2	18.5.2022				8332	<0,10	<0,10
Varisto, P3	18.5.2022				3606	<0,10	<0,10

Piste	Ajankohta	Asenaityleeni	Bentso(a)antraseeni	Bentso(a)pyreeni	Bentso(b)fluoranteeni	Bentso(g,h,i)perylenei	Bentso(k)fluoranteeni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,0015	<0,01	<0,01	<0,01
Varisto, P1	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Varisto, P2	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Varisto, P3	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Pohjavesinäytteiden  
tutkimustulokset

Piste	Ajankohta	PAH-yhdisteet			
		Dibentso(a,h)antraseeni i	Fenantreeni	Fluorantreeni	Fluoreeni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Varisto, P1	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Varisto, P2	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Varisto, P3	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10



Piste	Ajankohta	Indeno(1,2,3- cd)pyreeni	Kryseeni	Naftaleeni	Pyreeni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Varisto, P1	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<1,6
Varisto, P2	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<1,6
Varisto, P3	18.5.2022	<0,10	<0,10	<0,10	<1,6

Piste	Ajankohta	PAH, summapiitoisuus kaikki	PAH, summapiitoisuus: Bentso(b) - ja - (k)fluoranteeni, bentso(g,h,i)perylenei ja indeno-(1,2,3-cd)- pyreeni	#28	#52
				µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,16		<0,1	<0,1
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	0,010	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,17	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,17	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,16	0	<0,1	<0,1
Varisto, P1	18.5.2022	0	<0,02	<0,1	<0,1
Varisto, P2	18.5.2022	0	<0,02	<0,1	<0,1
Varisto, P3	18.5.2022	0	<0,02	<0,1	<0,1

Pohjavesinäytteiden  
tutkimustulokset

Piste	Ajankohta	PCB-yhdisteet					PCB, summajpitoisuus
		#101	#118	#138	#153	#180	
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
Varisto, P1	18.5.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7	
Varisto, P2	18.5.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7	
Varisto, P3	18.5.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7	

Piste	Ajankohta	Bentseeni	Tolueni	m+p Ksyyleni	o-Ksyyleni	Summaarvoitus ksyylenit
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,2	0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,4	0
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,6	0
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,8	0
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,10	0
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,12	0
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,14	0
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,16	0
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,18	0
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,4	<0,20	0
Varisto, P1	18.5.2022	<1,0	<2,0	<1,0	0	<1,0
Varisto, P2	18.5.2022	<1,0	<2,0	<1,0	0	<1,0
Varisto, P3	18.5.2022	<1,0	<2,0	<1,0	0	<1,0

Piste	Ajankohta	Etyylibentseeni	Styreeni	n-Propyylibentseeni	Isopropyylibentseeni	n-Butyylibentseeni	tert-Butyylibentseeni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Varisto, P1	18.5.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
Varisto, P2	18.5.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
Varisto, P3	18.5.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		

Pohjavesinäytteiden  
tutkimustulokset

Piste	Ajankohta	romaattiset hiilivedyt						
		sec-Butyylibentseeni	p-Isopropyylitolueni	1,2,4-Trimetyylibentseeni	1,3,5-Trimetyylibentseeni	Bromibentseeni	Klooribentseeni	1,2-Diklooribentseeni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5
Varisto, P1	18.5.2022			<1,5		<1,0	<1,0	
Varisto, P2	18.5.2022			<1,5		<1,0	<1,0	
Varisto, P3	18.5.2022			<1,5		<1,0	<1,0	

Piste	Ajankohta	1,3-Diklooribentseeni	1,4-Diklooribentseeni	1,2,3-Triklooribentseeni	1,2,4-Triklooribentseeni	1,3,5-Triklooribentseeni	Summaarvoitusus triklooribentseenit	2-Klooriolueeni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		<0,5
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		<0,5
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	<0,5
Varisto, P1	18.5.2022		<1,0	<1,0		0		
Varisto, P2	18.5.2022		<1,0	<1,0		0		
Varisto, P3	18.5.2022		<1,0	<1,0		0		

Pohjavesinäytteiden  
tutkimustulokset

Piste	Ajankohta	4-Klooritolueneeni	Kloorietaani	1,1-Dikloorietaani	1,2-Dikloorietaani	1,1,1-Trikloorietaani	1,1,2-Trikloorietaani	1,1,1,2-Tetrakloorietaani
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<0,5	<1,0	53	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<0,5	<1,0	48	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<0,5	<1,0	<1,0	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,5	<0,1	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1	<0,1
Varisto, P1	18.5.2022				<1,0	<1,0		
Varisto, P2	18.5.2022				<1,0	<1,0		
Varisto, P3	18.5.2022				<1,0	<1,0		



Piste	Ajankohta	1,1,2,2- Tetrakloorieteeni µg/l	Vinyylikloridi µg/l	1,1-Dikloorieteeni µg/l	cis-1,2-Dikloorieteeni µg/l	trans-1,2-Dikloorieteeni µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<1,0	<b>5,4</b>	4,5	120	1,4
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<1,0	<b>2,7</b>	4	71	<1,0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<1,0	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Varisto, P1	18.5.2022			<1,0	<1,0	
Varisto, P2	18.5.2022			<1,0	<b>27</b>	
Varisto, P3	18.5.2022			<1,0	<1,0	

Piste	Ajankohta	Halogenoidut alifaattiset hiilivedyt					
		Summa 1,2- dikloorietaanit	Triikloorietaanit	Tetraikloorietaanit	Dikloorimetaani	Hililitetraikloridi	Kloroformi (Triikloorimetaani)
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<b>121</b>	1,5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<b>71</b>	2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	0	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Varisto, P1	18.5.2022	0	<1,0	<1,0			
Varisto, P2	18.5.2022	<b>27</b>	38	<b>540</b>			
Varisto, P3	18.5.2022	0	<1,0	<1,0			

Piste	Ajankohta	Bromidikloorimetaani	Dibromikloorimetaani	Bromoformi	Dibromimetaani	Bromikloori-metaani	1,2-Dibromimetaani	1,2-Diklooripropani	2,2-Diklooripropani	1,3-Diklooripropani
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,0	<1,0
Varisto, P1	18.5.2022				<1,0					
Varisto, P2	18.5.2022				<1,0					
Varisto, P3	18.5.2022				<1,0					

Piste	Ajankohta	1,2,3-Triklooripropaanii	1,1-Diklooripropaanii	cis 1,3-Diklooripropaanii	trans 1,3-Diklooripropaanii	1,2-Dibromi-3-Klooripropaanii
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Varisto, P1	18.5.2022					
Varisto, P2	18.5.2022					
Varisto, P3	18.5.2022					

Pohjavesinäytteiden  
tutkimustulokset

Piste	Ajankohta	Oksygenaatit ja eetterit				
		MTBE	TAME	ETBE	TAEF	DIPF
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	2,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	5,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	6,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Varisto, P1	18.5.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Varisto, P2	18.5.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Varisto, P3	18.5.2022	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

Piste	Ajankohta	Freonit	
		Trikloorifluorimetaani	Dikloorifluorimetaani
		µg/l	µg/l
Lallukka, 20876/09P	24.2.2022	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/09P	25.4.2022	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	24.2.2022	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/10P	25.4.2022	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	24.2.2022	<1,0	<1,0
Lallukka, 20876/11P	25.4.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	23.2.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/12P	25.4.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	23.2.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/13P	26.4.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	23.2.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 12611/04	26.4.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	23.2.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 20876/07P	26.4.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	23.2.2022	<1,0	<1,0
Falkulla, 6767/227	26.4.2022	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/14P	28.4.2022	<1,0	<1,0
Fallpakka, 20876/15P	27.4.2022	<0,1	<0,1
Fallpakka, 20876/16P	27.4.2022	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/17P	27.4.2022	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/18P	27.4.2022	<0,1	<0,1
Tankovainio, 20876/19P	28.4.2022	<1,0	<1,0
Naulakallio, 20876/20P	28.4.2022	<1,0	<1,0
Naulakallio, 6126/1012P	28.4.2022	<1,0	<1,0
Naulakallio, PVP2	28.4.2022	<1,0	<1,0
Varisto, P1	18.5.2022		
Varisto, P2	18.5.2022		
Varisto, P3	18.5.2022		