

Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset pinta- ja pohjavesissä

Taavi-Waltteri Valjakka
28.09.2022.



Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Kuva:
Lallukka, Helsinki



Tutkimuskysymykset

Selvittää, vaikuttaako syvästabilointi maaperässä olevan veden laatuun.

Muodostaa kuva siitä, mitkä ovat syvästabiloinnissa käytettyjen sideaineiden vaikutus eri haitallisten aineiden pitoisuuksille pinta- ja pohjavesissä.

Kerätä tietoa stabiloinnin vaikutuksesta ja tuoda esiin toimintatapoja, joilla voidaan estää tai rajoittaa mahdollisten haitallisten aineiden leviäminen.

Aineiden kulkeutuminen maaperässä

Mekanismit

Kiinteänä

- Saostuminen saven pinnalle
- Kolloidi muodostuminen ja partikkeleiden koko on pH:sta riippuvainen

Veteen liuenneena

- Vedellä liukenemiskapasiteetti, kaikki aineet eivät liukene veteen
- Merkittävin aineiden liikkumisen mekanismi maaperässä

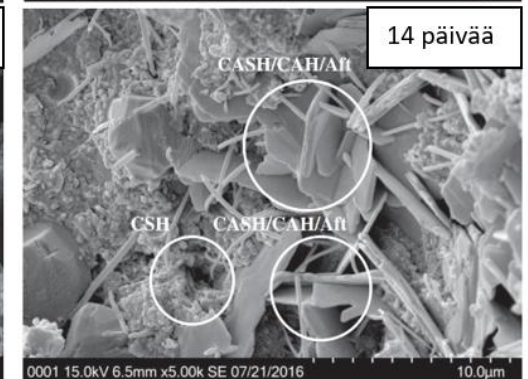
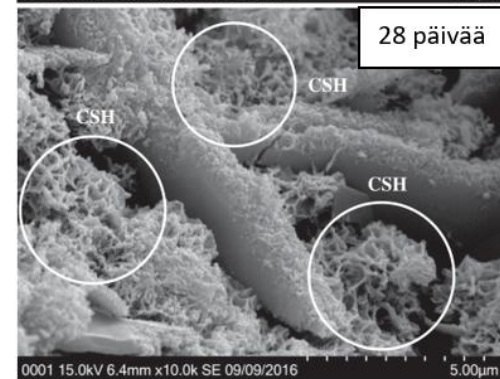
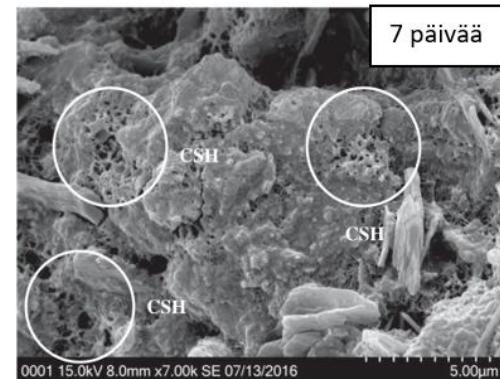
Diffuusio

- Kemiallinen kulkeutuminen, joka tapahtuu konsentraatio-gradientin suuntaisesti.
- Diffuusion merkitys kasvaa veden virtausnopeuden laskiessa
- Diffuusio vaikutuksesta aineen konsentraatio pienenee

Sideaineiden reaktiotuotteet

C-S-H	Kalsiumsilikaattihydraatti
C-A-S-H	Kalsiumaluminaattisilikaattihydraatti
Aft	Etringiitti

Scanning electron microscopy
(Pyyhkäiselektronimikroskopia)



Kuona 56,7 % / Sementti 33,3 % /
Metakaoliini 10 %

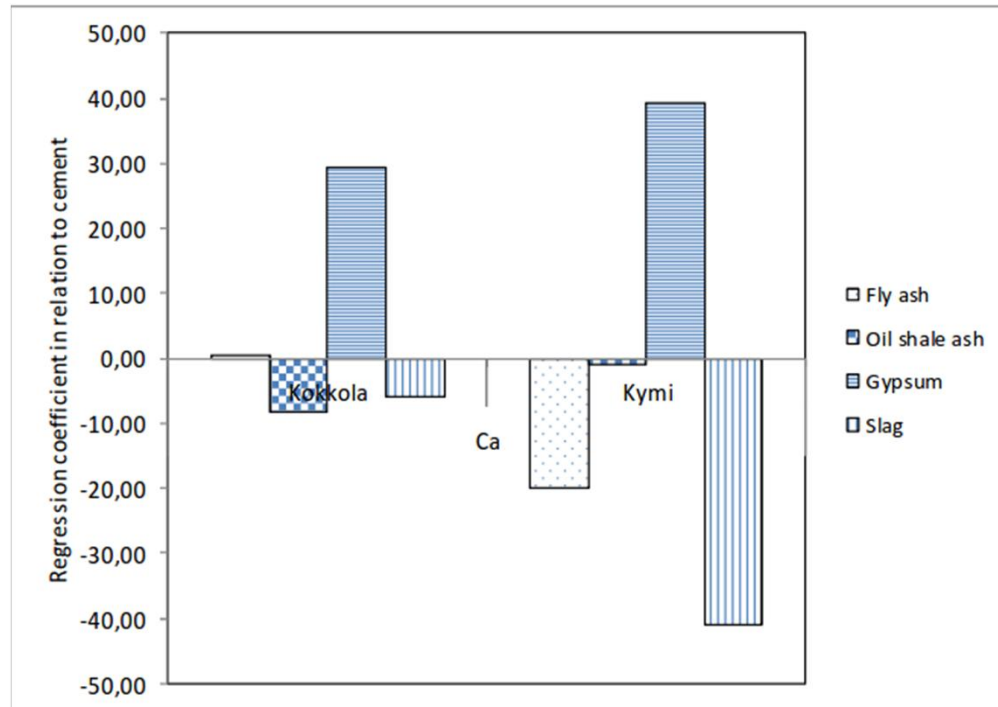
Kuona 65,4 % / Sementti 23,1 % /
Metakaoliini 11,5 %

Liukoisuustestit

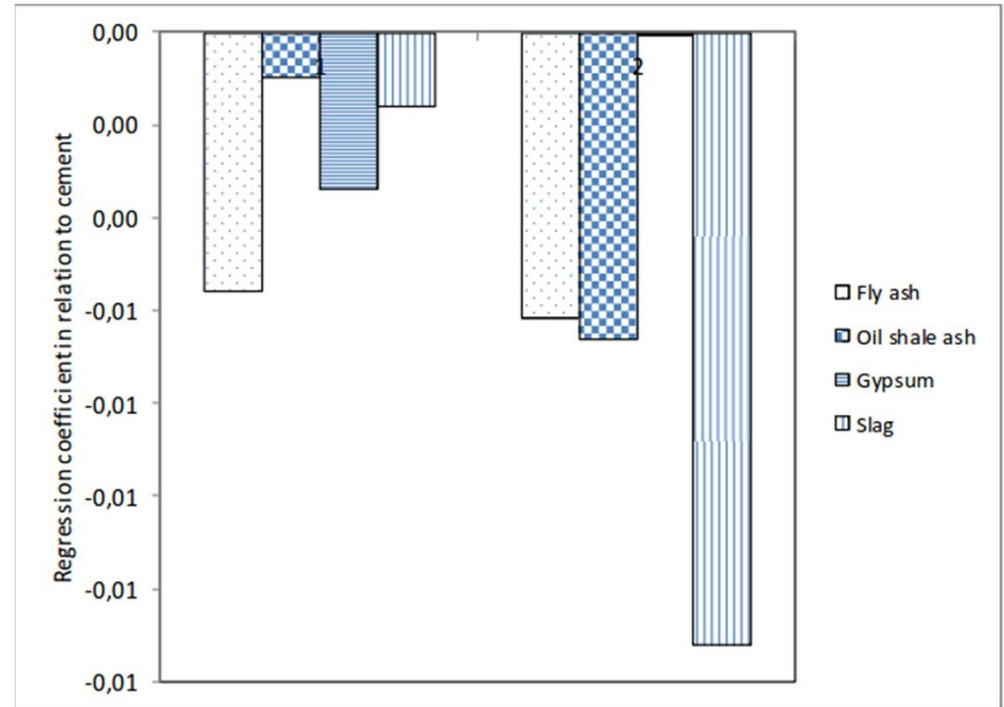
Eri sideaineiden liukoisuustestien tulokset suhteutettuna sementtiin

Positiivinen tarkoittaa sideaineen liuottavan enemmän kuin sementti ja kääntäen

Kalsiumin liukoisuus



Nikkelin liukoisuus



Aineiden kulkeutuminen maaperässä

Stabiloinnin eri vaiheissa

Stabiloinnin aikana kulkeutuminen

- Sideaineen leviäminen asennuksen aikana tapahtuvan virheen myötä ympäristöön maan pinnalla
- Sideaineen leviäminen veden virtauksen mukana sekoittimen tangon muodostamaa 'keskireikää' pitkin ylös levittäen ei reagoi sideainetta maan pinnalle / pintakerrokseen

Lujittumisen aikana tapahtuva kulkeutuminen

- Reaktiainesten välisen suhteen epätasapainosta johtuva ei reagoi sideaine ja sen leviäminen
- Savikerroksen alapuoliset vettä paremmin johtavat kerrokset

=> Tätä tutkitaan pohjavesiputkilla instrumentoiduissa kohteissa

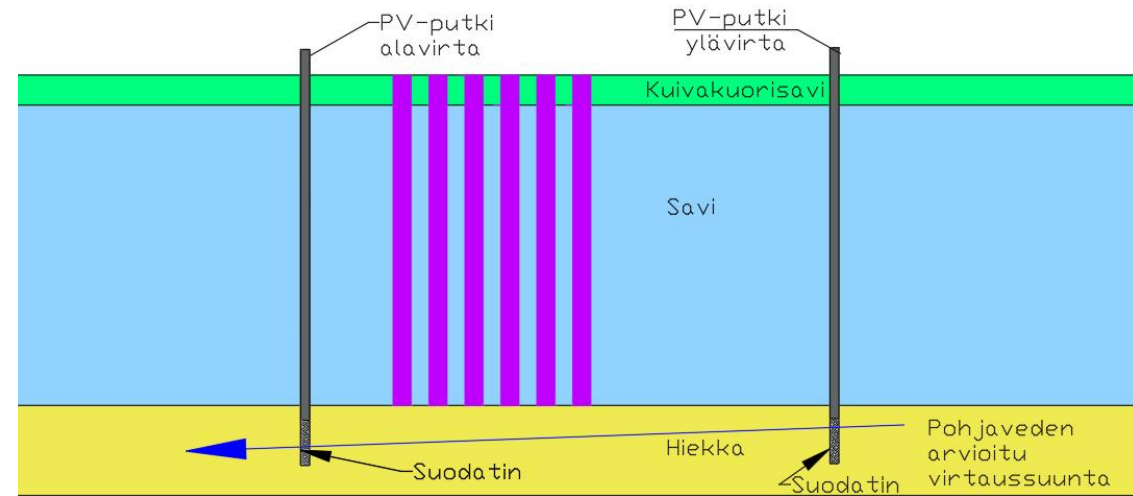
Pitkällä aikavälillä tapahtuva kulkeutuminen

- Aineiden liukeneminen
 - Savikerroksessa Diffuusio, joka samalla laimentaa konsentraatiota.
 - Siltti, Hiekka, Moreeni
→ Advektion Veteen liuenneena vs. partikkeleina
- Liukoisuustestit
- Pohjaveden seurantatutkimukset

Tutkimusasetelma

- Arvioidaan pohjaveden virtaussuunta
- Pohjavesiputki ylä- ja alavirran puolelle stabilointiin nähden
- Pohjavedestä otetaan näytteitä, joista mitataan seuraavat:

- Happi
- redox
- pH
- sähkönjohtavuus
- sameus
- sulfaatti
- ammonium
- kemiallinen hapenkulutus CODMn
- alkaliteetti
- kloridi
- PAH-yhdisteet
- haihtuva yhdisteet (VOC PIMA)
- PCB-yhdisteet
- 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)



Esimerkkikuva tutkimusasetelmasta

Pohjavesi-putket

- 20 pohjavesiputkea, joista
- 15 uutta tätä tutkimusta varten asennettua pohjavesiputkea

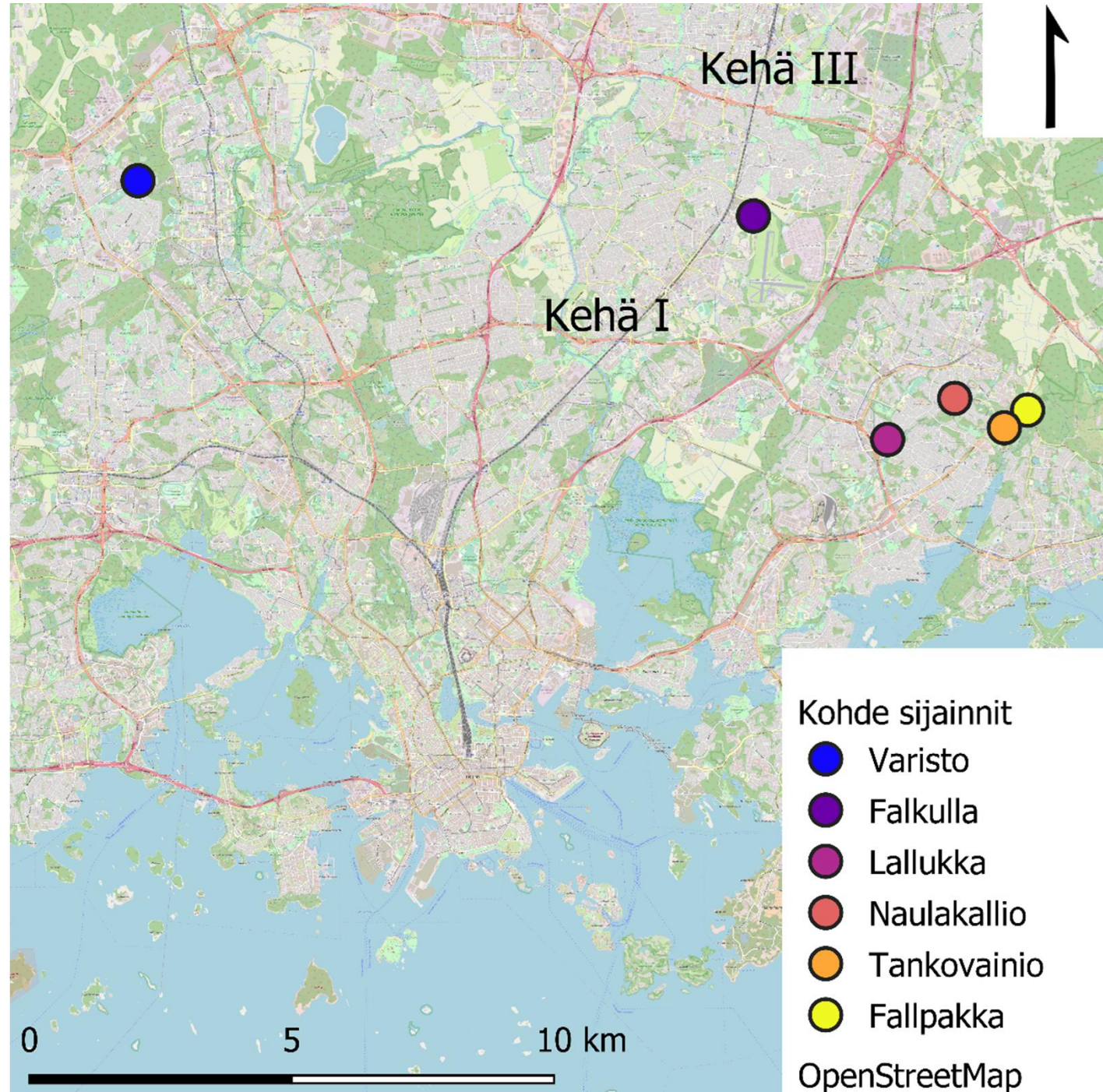
Kohde		Putken tunniste	Maanpinnan-taso	Siivilä-kärjen taso	Asennettu	Asennettu tutkimusta varten
Falkulla,	ylä	6767/227	+15,40	+1,12	5/2016	
Falkulla,	ylä	20876/07P	+15,29	+2,36	9/2021	
Falkulla,	ala	20876/12P	+15,59	+0,05	12/2021	x
Falkulla,	ala	12611/04	+15,50	-3,00	5/2017	
Falkulla,	ala	20876/13P	+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

Tutkimus- kohteet

Mittaukset suoritettu välillä:
helmikuu – toukokuu 2022

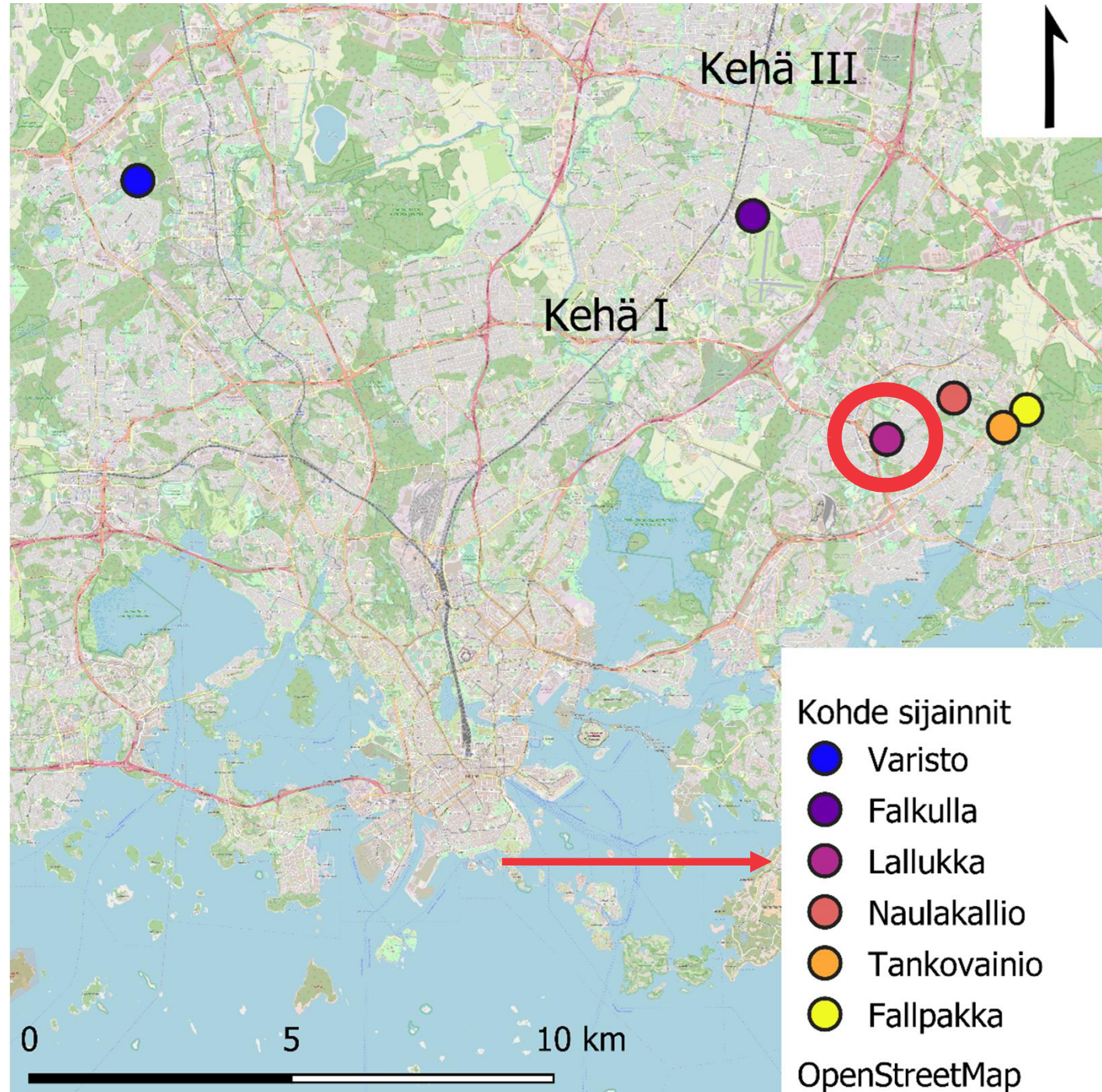
Falkullassa ja Lallukassa
kaksi pohjavesinäytettä
pohjavesiputkea kohden

Muissa yksi pohjavesinäyte
pohjavesiputkea kohden



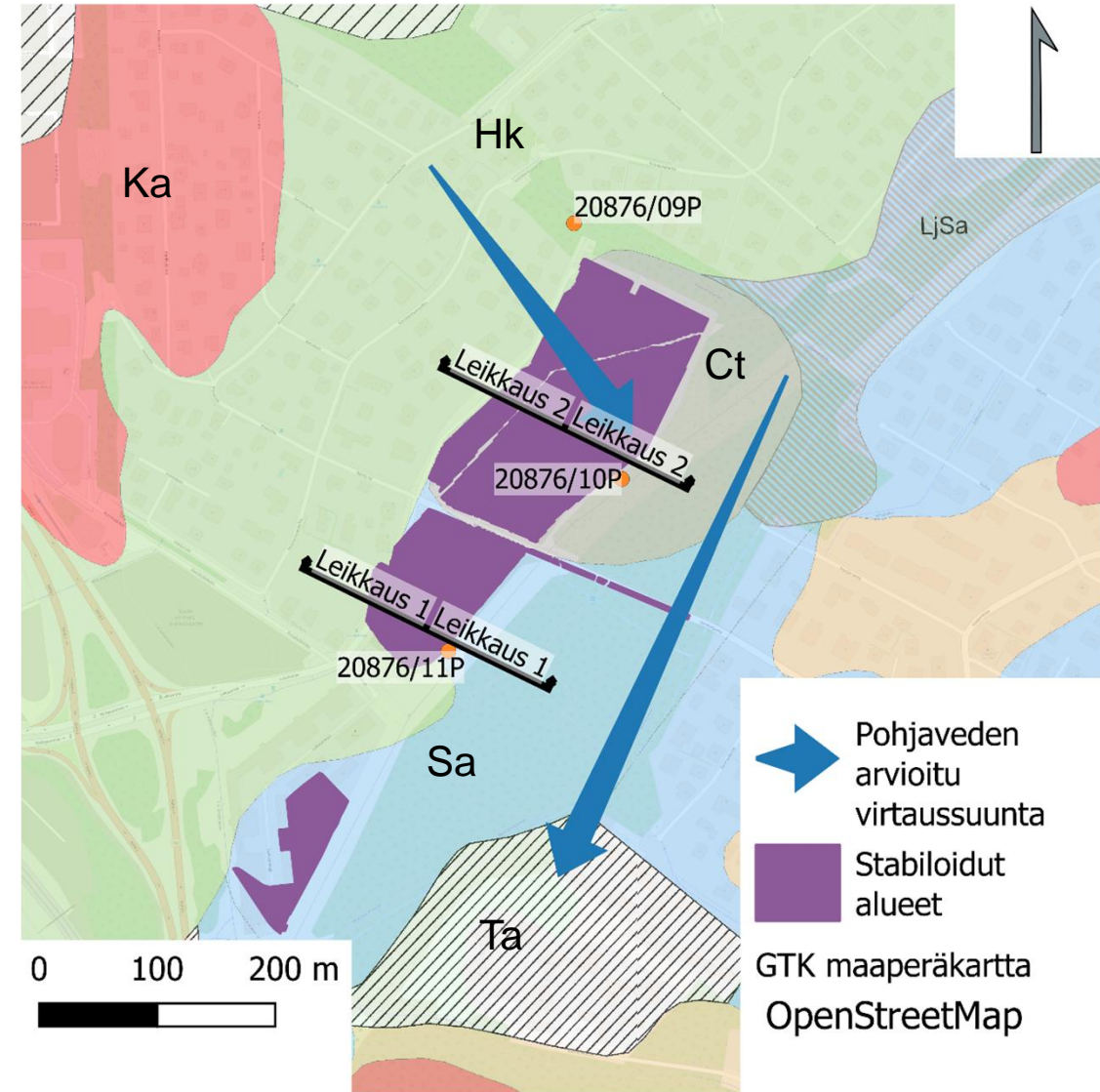
Tutkimus- kohteet

Tarkemmin esitellään kohde Lallukka



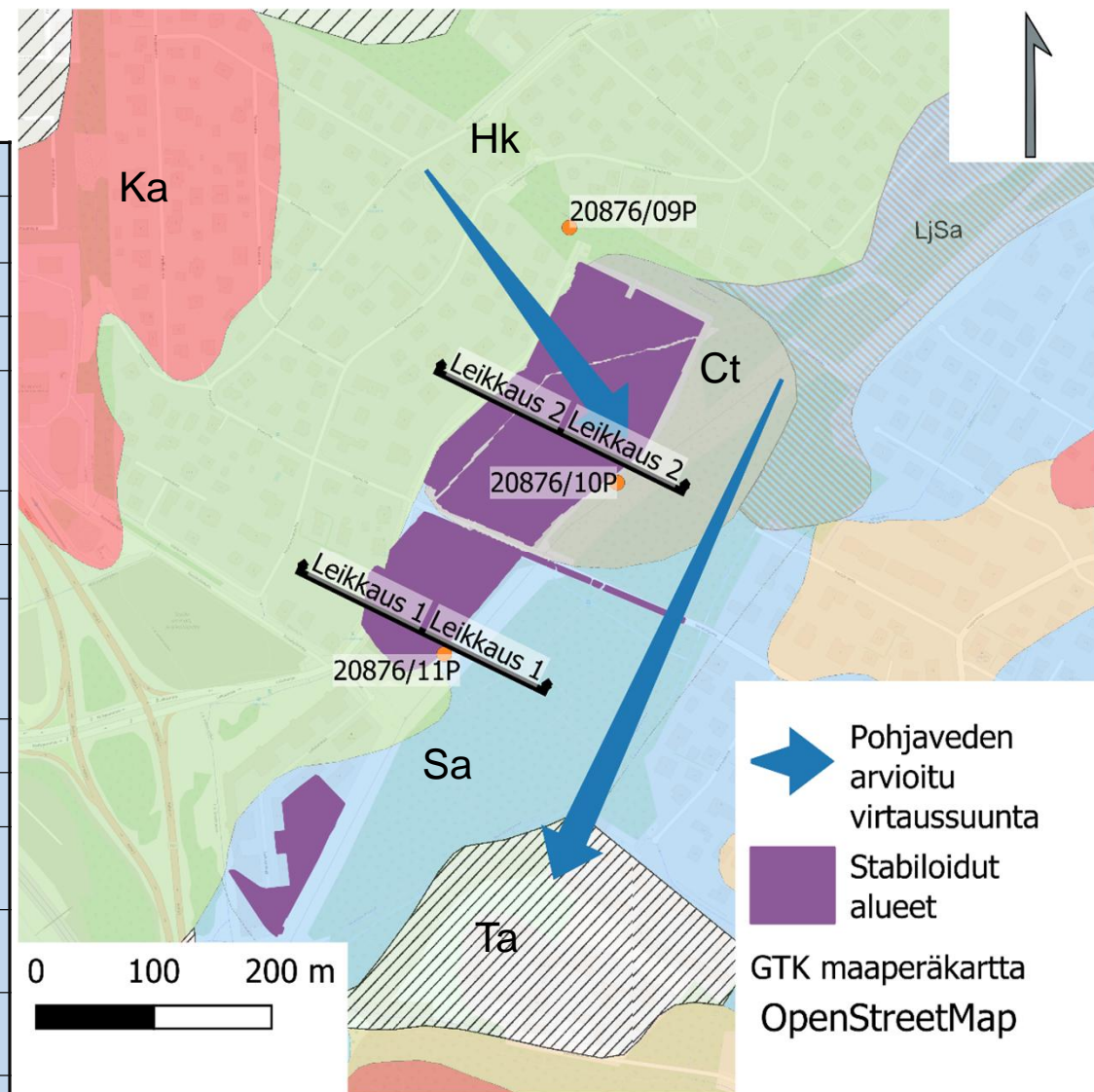
Lallukka

- Maaperä pääasiassa savea,
- Idän ja etelän puolella humuspitoisempaa maata
- Maan pinnan taso on noin +16,3...+11,8, pinnan taso laskee etelään
- Pohjavesi virtaa arvioidusti kaakkoon ja etelään.
- Stabiloitu vuonna 2012
- Stabiloitu pinta-ala 30 200 m²
- Pilarikoko kaduilla 0,6 m ja pilariväli 1,0 m
- Pinnassa oleva turve on massastabiloitu
- Sideaine: kalkkisementti 50/50 % 142 kg/m³
- Pilarien alapäävät ulottuvat saven alapinnan tasoon



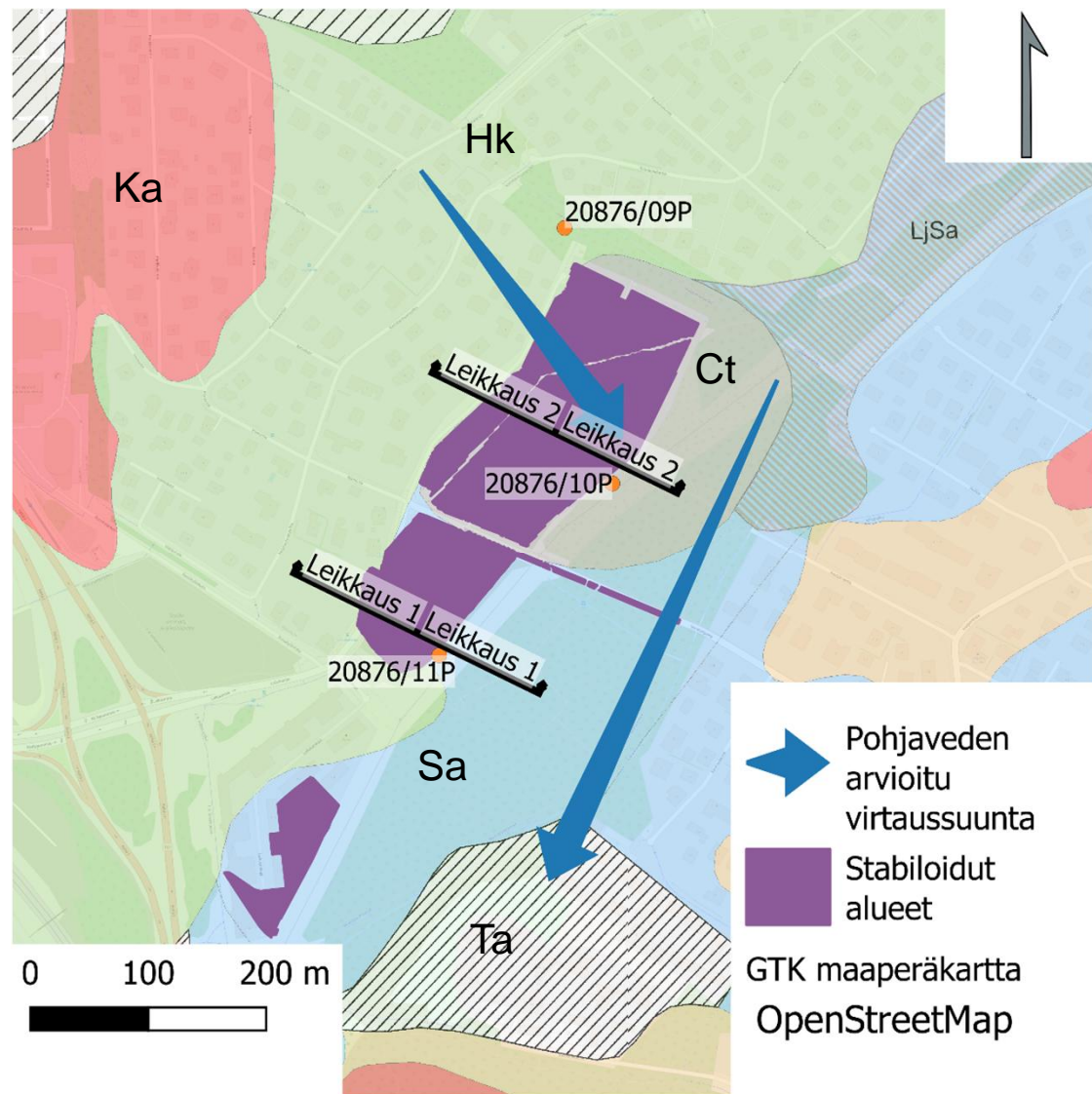
Lallukka

	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



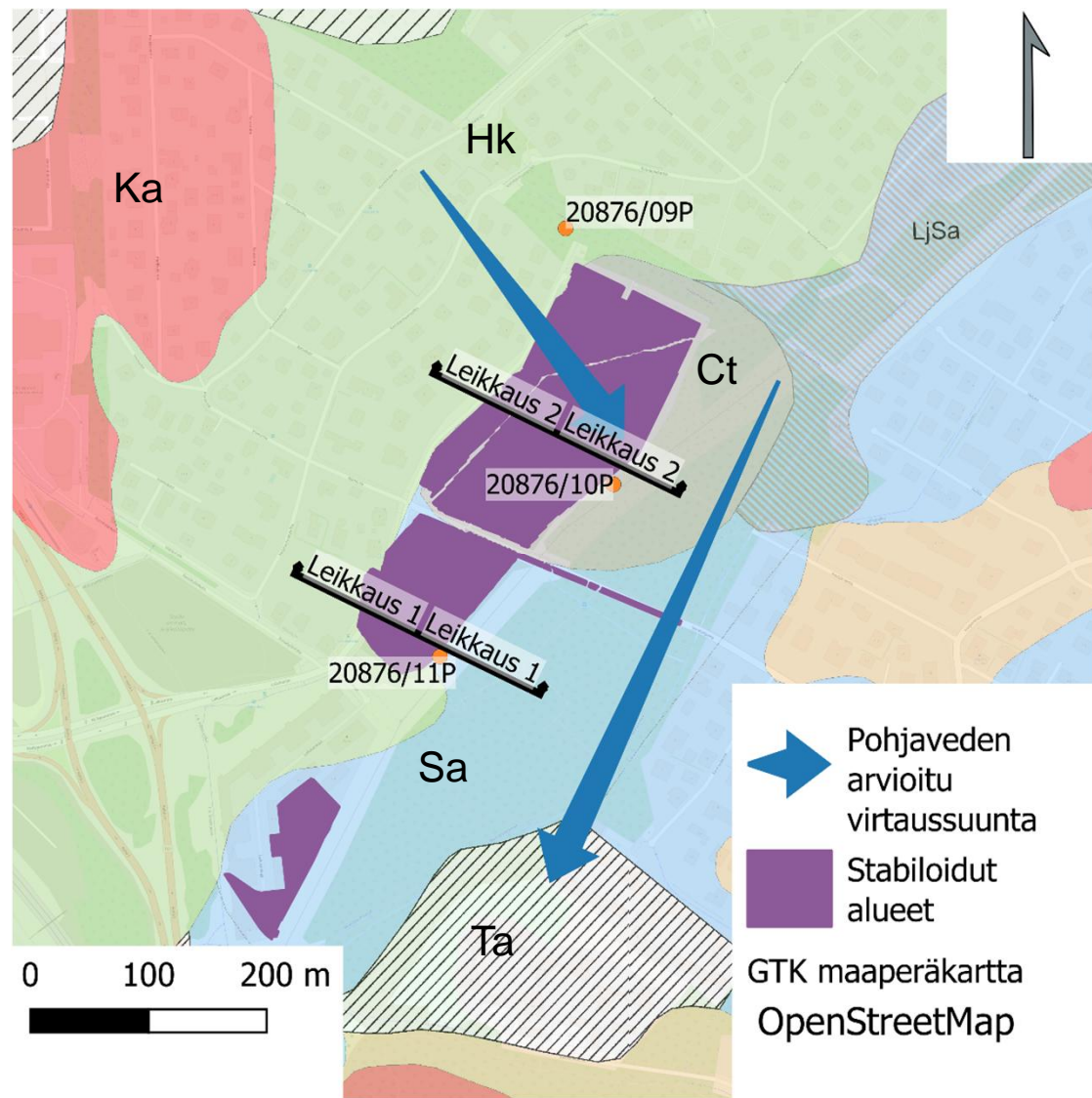
Lallukka

Piste	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]	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 ₄) [mg/l]	-	25,00	-	34,00	-	37
S [µg/l]	-	7132	-	9577	-	11240



Lallukka

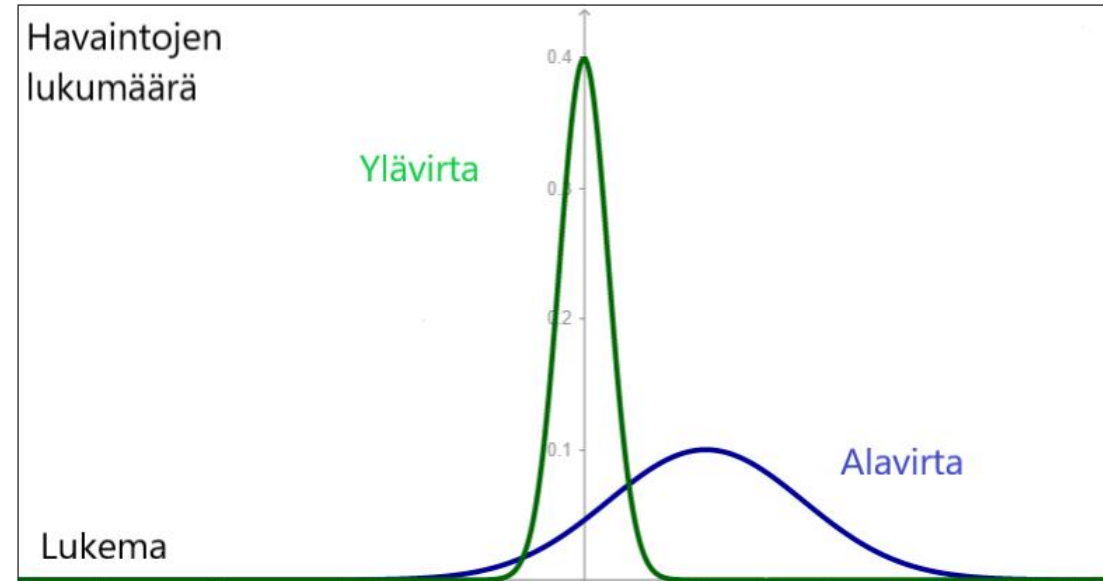
	20876/09P		20876/10P		20876/11P		raja-arvo
	ylä		ala		ala		
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	
Cl ⁻ mg/l	-	66	-	42	-	97	25
As µg/l	4,8	6,9	0,1	2,5	13	30	5
Cd µg/l	<0,024	<0,024	0,12	0,12	0,067	0,067	0,4
Co µg/l	0,37	1,9	2,8	3,7	3,6	5,2	2
Cr µg/l	0,99	11	<0,20	4,9	0,28	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



T-testi

T-testi tuloksista olettamilla

- Tulosten jakauma on symmetrinen molempiin suuntaan
 - Ylä- ja alavirran välillä on eri varianssi
 - Stabiloinnin vaikutukset eivät näy ylävirran puolella
 - Alavirran puolella vaikutukset näkyvät epätasaisesti
- Varianssi on erisuuri



Esimerkkikuva, joka ei sellaisenaan edusta tuloksia

Tilastollisesti merkityksellisesti muuttuneet pitoisuudet

	Keskiarvo		Keskihajonta		p-arvo
	ylävirta	alavirta	ylävirta	alavirta	
Kalsium liukoinen	25,7 mg/l	41,6 mg/l	13 mg/l	16,6 mg/l	0,2 %
Koboltti liukoinen	0,4 µg/l	2,4 µg/l	0,2 µg/l	1,9 µg/l	0,8 %
Mangaani liukoinen	197,1 µg/l	424,9 µg/l	174,6 µg/l	287,4 µg/l	1,7 %
Nikkeli liukoinen	1,4 µg/l	3,5 µg/l	1,1 µg/l	2,6 µg/l	1,8 %
Kokonaistyyppi	0,3 mg/l	1,2 mg/l	0,2 mg/l	1,6 mg/l	2,1 %

Yhteenveto

- Viitteitä kalsiumin, koboltin, mangaanin ja nikkelin pitoisuuksien kasvamisesta (sideaine kalkkisementti)
- Jatkoseurantaa tutkimuksen kohteista ja uusista kohteista tarvitaan, että voidaan varmentaa tulokset
- 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 savi- tai silttikerros (esim. 0,5 m).

Kiitos

A”

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University



Liukoinen kalsium

Lallukka02	ylä	ala	ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Ca mg/l	22,0	36,0	43,0		
Lallukka04	Ylä	Ala	Ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Ca mg/l	20,0	38,0	42,0		
Naulakallio	ylä	ala	ala		
Piste	20876/18P	20876/19P	20876/20P		
Ca mg/l	41,0	29,0	27,0		
Falkulla02	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Ca mg/l	32,0	26,5	58,8	49,1	34,3
Falkulla04	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Ca mg/l	3,7	26,2	44,9	45,8	27,8
Tankovainio	ylä	ala	ala		
Piste	6126/1012P	PVP2	20876/17P		
Ca mg/l	36,0	40,0	35,0		
Fallpakka	ylä	ala	ala		
Piste	20876/14P	20876/15P	20876/16P		
Ca mg/l	24,0	57,0	58,0		
Varisto	Ala	ala	Ylä		
Piste	PVP1	PVP2	PVP3		
Ca mg/l	-	-	-		

Liukoinen koboltti

Lallukka02	ylä	ala	ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Co µg/l	0,7	4,5	6,0		
Lallukka04	Ylä	Ala	Ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Co µg/l	0,4	2,8	3,6		
Naulakallio	ylä	ala	ala		
Piste	20876/18P	20876/19P	20876/20P		
Co µg/l	<0,15	1,1	<0,15		
Falkulla02	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Co µg/l	<0,15	<0,15	2,7	0,2	0,3
Falkulla04	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Co µg/l	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Tankovainio	ylä	ala	ala		
Piste	6126/1012P	PVP2	20876/17P		
Co µg/l	<0,15	<0,15	1,4		
Fallpakka	ylä	ala	ala		
Piste	20876/14P	20876/15P	20876/16P		
Co µg/l	0,2	0,2	<0,15		
Varisto	Ala	ala	Ylä		
Piste	PVP1	PVP2	PVP3		
Co µg/l	<0,15	3,2	<0,15		

Liukoinen mangaani

Lallukka02	ylä	ala	ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Mn µg/l	90,0	180,0	600,0		
Lallukka04	Ylä	Ala	Ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Mn µg/l	40,0	120,0	570,0		
Naulakallio	ylä	ala	ala		
Piste	20876/18P	20876/19P	20876/20P		
Mn µg/l	530,0	270,0	89,0		
Falkulla02	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Mn µg/l	330,0	78,0	1 092,0	479,0	136,0
Falkulla04	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Mn µg/l	339,0	101,0	672,0	545,0	106,0
Tankovainio	ylä	ala	ala		
Piste	6126/1012P	PVP2	20876/17P		
Mn µg/l	240,0	840,0	220,0		
Fallpakka	ylä	ala	ala		
Piste	20876/14P	20876/15P	20876/16P		
Mn µg/l	26,0	590,0	400,0		
Varisto	Ala	ala	Ylä		
Piste	PVP1	PVP2	PVP3		
Mn µg/l	600	140	<3,0		

Liukoinen nikkeli

Lallukka02	ylä	ala	ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Ni µg/l	1,2	6,1	3,5		
Lallukka04	Ylä	Ala	Ala		
Piste	20876/09P	20876/10P	20876/11P		
Ni µg/l	1,4	3,4	2,0		
Naulakallio	ylä	ala	ala		
Piste	20876/18P	20876/19P	20876/20P		
Ni µg/l	<0,6	4,4	<0,60		
Falkulla02	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Ni µg/l	1,0	<0,60	8,2	0,7	4,2
Falkulla04	ylä	ylä	ala	ala	ala
Piste	6767/227	20876/07P	20876/12P	12611/04	20876/13P
Ni µg/l	0,9	<0,60	<0,60	<0,60	0,6
Tankovainio	ylä	ala	ala		
Piste	6126/1012P	PVP2	20876/17P		
Ni µg/l	0,6	<0,60	5,7		
Fallpakka	ylä	ala	ala		
Piste	20876/14P	20876/15P	20876/16P		
Ni µg/l	3,5	0,7	1,3		
Varisto	Ala	ala	Ylä		
Piste	PVP1	PVP2	PVP3		
Ni µg/l	<0,6	4,8	<0,6		