

UUMA4-ohjelma

Asiakirjatyyppi

Raportti

Päivämäärä

12.12.2023

UUSIOSIDEAINEET KOHEESIOMAIDEN SY- VÄSTABILOINNISSA - KÄYTTÖKOKEMUKSET JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET UUMA4-ohjelma



UUSIOSIDEAINEET KOHEESIOMAIDEN SYVÄSTABILOINNISSA - KÄYTTÖKOKEMUKSET JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

UUMA4-ohjelma

Projekti	UUMA4-ohjelma
Asiakirjatyyppi	Raportti
Versio	1.0
Päivämäärä	12.12.2023
Laatija	Merja Autiola, Juha Forsman, Taavi Valjakka, Tuuli Teittinen, Kimmo Järvinen ja Matias Napari

Tämä raportti on tehty UUMA4-ohjelman työryhmässä 7 ”Syvästabiloinnin uusiosideaineet” vuosina 2021–2023. Työryhmässä ovat olleet mukana:

- Mirva Koskinen, Mikko Suominen, Virpi Nikulainen / Helsingin kaupunki
- Heikki Kangas / Vantaan kaupunki
- Iina Kallio / Espoon kaupunki
- Karoliina Tuukkanen / Tampereen kaupunki, KIEPPI
- Veli-Matti Uotinen / Väylävirasto
- Tommi Itkonen / Lounais-Suomen jätehuolto Oy
- Timo Ylitalo, Jyrki Pihlajamäki/ KFS Finland Oy
- Olli Ormio / YIT infra Oy
- Niko Asikainen / Skanska Infra Oy
- Ville Niutanen / Tieluiska Oy
- Miia Paatsema /Destia
- Kari Kuusipuro / Nordkalk Oy Ab
- Pekka Rantala / UPM Kymmene Oyj
- Juha Koskinen / Tapojärvi Oy
- Jussi Reinikainen / SYKE
- Suvi Salmela, Jenni Rovio / Motiva
- Leena Korkiala-Tanttu / Aalto-yliopisto
- Juha Forsman, Merja Autiola, Otto Kaarto, Taavi Valjakka / Ramboll Finland Oy

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Syvästabilointimenetelmä	5
2.1	Syvästabiloinnin periaate ja tavoite	5
2.2	Syvästabilointi pohjanvahvistuksena	6
2.2.1	Pilaristabilointi	6
2.2.2	Massasyvästabilointi	7
2.3	Syvästabilointi massojen jalostamisessa	8
2.3.1	Massastabilointi	8
2.3.2	Prosessistabilointi	8
2.4	Sideaineen kuljetus ja välivarastointi	10
3	Syvästabiloinnin geotekninen suunnittelu	11
3.1	Ohjeistus	11
3.2	Stabiloidun maan tekniset ominaisuudet	11
3.3	Ennakkotutkimukset	12
3.4	Suunnittelu	13
3.5	Laadunvalvonta	13
4	Syvästabiloinnin sideaineet	14
4.1	Sideaineet 1970–2010-luvuilla	14
4.2	Sideaineet ja niiden raaka-aineet	14
4.3	Syvästabiloinnissa käytössä olevat sideaineet	16
4.4	Stabiloidun maan lujittuminen eri sideaineilla	17
4.5	Sideaineiden CO ₂ e-päästöt	20
4.6	Sideaineiden kokonaispitoisuudet	21
5	Syvästabilointi pohjanvahvistuksena, ympäristövaikutukset	21
5.1	Vaikutusmekanismit	21
5.2	Ympäristöseurantatuloksia	23
5.2.1	Kokonaispitoisuudet	23
5.2.2	Liukoiset pitoisuudet	26
5.2.3	Pohjavesitarkkailun tulokset	28
6	Massa- ja prosessistabilointi maa-ainesten jalostamisessa	29
6.1	Jalostamisen tavoite	29
6.2	Jalostuksen vaikutus aineiden liukoisuuteen	30
6.3	Laadunvarmistus pilaantuneen maan tai ruoppausmassan massastabiloinnissa	30
6.4	Ympäristöseurantatuloksia	31
6.4.1	Pintaliukenemistesti	32
6.4.2	Kokonaispitoisuudet	33
6.4.3	Liukoiset pitoisuudet	34
6.5	Haitta-ainepitoisten massastabiloitujen ruoppausmassojen kokonaispitoisuudet ja liukoiset pitoisuudet, yhteenveto	36
7	Stabiloidut kaivumassat ja niiden hyödyntäminen	37
7.1	Stabiloitujen kaivumassojen muodostuminen	37
7.2	Stabiloitujen kaivumassojen jäteluonne ja ympäristöluvan tarve	38
7.3	Stabiloitu hapan sulfaattimaa kaivumaana	39
7.4	Toteutettuja kohteita	39
8	Stabilointi neutralointimenetelmänä	41
8.1	Neutraloitavat maa-ainekset	41

8.2	Neutralointiaineet	41
8.3	Toteutettuja kohteita	42
9	Ympäristöominaisuuksien viitearvoja	45
9.1	Toteutetuissa kohteissa käytettyjä raja-arvoja	45
10	Sideaineet ja ympäristölainsäädäntö	48
10.1	Sementtistandardi	49
10.2	Sivutuotemenettely	49
10.3	EEJ-menettely	50
10.4	UTU-työryhmä	50
10.5	Lainsäädännön kehitysnäkymiä	51
11	Yhteenveto	52
	Kirjallisuus	53

LIITTEET:

- Liite 1 Stabiloidun ja stabiloimattoman maan ympäristöominaisuuksien testaus- ja osoitusmenetelmät ja riskinarvio
- Liite 2 Pilaristabilointi, ympäristöseuranta, kohdekuvauksia
- Liite 3 Syvästabiloitujen kaivumassojen hyödyntäminen, kohdekuvauksia
- Liite 4 Ruoppausmassojen massa- ja prosessistabilointi, kohdekuvauksia
- Liite 5 Kalkkitaulukko 2022
- Liite 6 Stabilointikohteiden pintaliukenemistestien tuloksia
- Liite 7 Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa -selvitys

Käsitteet

Tässä raportissa käytetään seuraavia käsitteitä.

Kuivastabilointi: menetelmässä maa-aines hajotetaan mekaanisesti ja sideaine syötetään paineilman avulla ja sekoitetaan kuivana maa-ainekseen mekaanisella sekoitinkärjellä.

Lisärunkoaine: massastabiloitavan maakerroksen (esim. lieju) mineraaliainespitoisuutta voidaan kasvattaa lisäämällä stabiloitavan maakerroksen pinnalle esim. savea, hiekkaa, kivituhkaa, tms., joka sekoitetaan stabiloitavaan maakerrokseen ennen sideaineen sekoittamista.

Osa-alue: laadunvalvontatutkimuksia varten stabilointikohde jaetaan osa-alueisiin, jotka rajataan mm. stabiloitavan kerroksen ominaisuuksien (syvyys, vesipitoisuus, yms.), pinta-alan sekä sideainereseptin perusteella (osa-alueella sideaine ja sen määrä ovat vakiot).

Pilari: sekoitinkärjellä maa-ainesta in situ käsittelemällä valmistettu yksittäinen tai viereistä leikkaava lieriömäinen elementti, jonka halkaisijan määrää sekoitinkärjen halkaisija. Toisiaan leikkaavista pilareista muodostuu Pilarilamelli.

Runkoaine: stabiloitava maakerros tai maa-aines.

Sekoitusprosessi: maakerroksen tai maa-aineksen mekaaninen hajottaminen sekä sideaineen siihen sekoittaminen.

Sekoitinkärki: maa-aineksen rakenteen hajottamiseen, sideaineen syöttöön ja sideaineen sekoittamiseen käytetty työkalu.

Sideaine: kemiallisesti reaktiivinen materiaali (esim. sementti, kalkki, kipsi ja kuona).

Sideainemäärä: sideaineen kuivapaino käsiteltävän maa-aineksen tilavuusyksikköä kohden (yksikkö kg/m³).

Sideaineresepti: sideaineresepti määrittää käytettävän sideaineen tyyppin ja määrän (kg/m³).

Stabilointi määräsyvyyteen: pilarien tai massastabiloinnin alapuolelle jätetään pehmeitä maakerroksia.

Stabilointiruutu (lohko, blokki): massasyvästabiloinnissa sideaine syötetään stabiloitavaan maakerrokseen stabilointiruutukohtaisesti, ruudun pinta-ala on tyyppillisesti n. 3-5 m × 3-5 m ja syvyys on stabiloitavan kerroksen paksuus.

Stabiloitu maa: pilari-, massa- tai prosessistabiloitu maa.

Stabiloitu pohjamaa: pohjanvahvistettu maapohja, jonka muodostavat stabiloidut pilarit ja pilarien välinen maa yhdessä tai massastabiloitu maa.

Tiivistyspenger: tiivistyspenger on kitkamaakerros, joka rakennetaan pilaristabiloidun tai massastabiloidun maakerroksen päälle tiivistämään sideaineen paineilmalla syötön ja sekoitustyön jäljiltä kuohkean stabiloidun kerroksen. Massastabilointikone työskentelee tiivistyspenkereen päällä.

Tuotteistamaton sideaine, ei kaupallistettu sideaine: sideaineena käytettävä esim. jättepohjainen materiaali, jota ei ole tuotteistettu sideainekäyttöön. Tuotteistamattoman sideaineen käyttämiseen tarvitaan ympäristölupa.

Tuotteistettu sideaine, kaupallinen sideaine: Kaupallinen sideaine voi olla neitseellisistä raaka-aineista, se voi olla uusiomateriaalia tai se voi olla niiden sekoitus. Kaupallista sideainetta voidaan käyttää ilman ympäristölupaa. Yksikään Suomessa valmistettava syvästabiloinnin sideaine ei ole 100 % neitseellisestä raaka-aineesta valmistettuja

Uusiomateriaali: sekundäärinen materiaali, kuten teollisuuden sivuvirtoina muodostuva tuhka ja kuona, purku-toiminnassa muodostuva betoni- ja tiilimurske, ym., joka soveltuu sellaisenaan tai jalostettuna käytettäväksi maarakentamisessa. Termiä uusiomateriaali ei sellaisenaan tunneta lainsäädännössä tai standardeissa, mutta se on vakiintunut käyttöön infra-alalla.

Uusiosideaine: Syvästabiloinnin sideaine, joka sisältää uusiomateriaaleja eli sivutuote- tai jättepohjaisia teollisuuden sivuvirtoja, kuten erilaisia kuonia, lentotuhkaa tai kipsimäisiä materiaaleja. Uusiosideaine voi olla tuotteistettu tai tuotteistamaton.

1 Johdanto

Syvästabiloinnin tavoitteena on parantaa pehmeän maa-aineksen kuten, saven, siltin, liejun ja turpeen, ominaisuuksia eli lisätä leikkauslujuutta ja vähentää kokoonpuristuvuutta. Tässä raportissa käsitellään koheesiomaiden stabilointia (savi, siltti, lieju).

Syvästabilointi tapahtuu sekoittamalla maa-ainekseen kemiallisia seosaineita, jotka reagoivat maa-aineksen kanssa. Savikerroksen lujittuminen perustuu savimineraalien pinnassa tapahtuvaan ioninvaihtoon, maapartikkelien sitomiseen kemiallisten reaktiotuotteiden kanssa ja/tai tyhjätilan täyttämiseen. Syvästabilointi luokitellaan stabilointimenetelmän perusteella (mm. kuiva-/märkästabilointi, pilari-/massastabilointi, jne.). (Liikennevirasto 2018)

Pilaristabiloinnissa stabiloitavaan maakerrokseen sekoitetaan sideainetta, joka kovettuessaan muodostaa pystysuuntaisia pilareita. Massastabiloinnissa maahan sekoitetaan sideainetta pysty- ja vaakasuunnassa, jolloin maahan syntyy lujittunut vyöhyke. Syvästabilointi toteutetaan tilaajan teettämän rakennussuunnitelman mukaisesti. Syvästabiloinnin tekeminen ja laadunvalvonta on ohjeistettu yksityiskohtaisesti InfraRYL:ssä (Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset).

Pilaristabiloinnin kehittäminen on aloitettu Japanissa ja Ruotsissa 1960-luvulla ja otettu tuotantokäyttöön 1970-luvulla. Massastabilointimenetelmä on kehitetty Suomessa 1990-luvun alussa. Massastabilointilaitteistossa sideaineen syöttöperiaate on vastaava kuin pilaristabilointilaitteistossa ja laitteiston ero on lähinnä sekoitinlaitteistossa ja stabilointisyvyydessä. Pilaristabilointia voidaan käyttää sekä kuivalla maalla että vedenalaisena tehtävässä työssä. Massastabilointia tehtäessä massastabiloitavan maa-aineksen pinnan tulee olla vesipinnan yläpuolella.

Pilaristabiloinnin määrä vuosittain on ollut Suomessa 2000-luvulla välillä 0,3–0,9 milj. m³ ja massastabiloinnin 0,1–0,6 milj. m³-massastabiloitu maa (keskimäärin n. 2 milj. m-pilari ja 0,250 milj. m³-maa vuodessa). Massastabiloinnissa vuosittaiset vaihtelut voivat olla suuria, koska yksittäisessä kohteessa stabiloinnin määrä voi olla jopa 0,5 milj.m³ (esim. Vuosaaren sataman rakentamisen yhteydessä tehty pilaantuneiden ruoppausmassojen massastabilointi 2000-luvulla).

Käytettävä sideaine vaikuttaa merkittävästi syvästabilointimenetelmän hiilidioksidipäästöihin. Perinteisesti syvästabiloinnin sideaineena on käytetty kalkkisementtiä, jonka valmistus aiheuttaa suuret hiilidioksidipäästöt. Käyttämällä sideaineena teollisuuden sivuvirtoja sisältäviä uusiosideaineita, voidaan merkittävästi vähentää syvästabiloinnin hiilidioksisipäästöjä. Jotta vähäpäästöisten uusiosideaineiden käyttäminen tavanomaisessa infran syvästabiloinnissa (kadut, putkilinjat, pihat, yms.) muodostuu vallitsevaksi käytännöksi, hankekohtainen uusiosideaineiden ympäristöluvitusta on mielekästä vain poikkeustapauksissa, joten kaikki teknisesti toimivat ja ympäristölle turvallisiksi osoitetut uusiosideaineet tulisi jatkossa saada riittävän vapaasti käytettäviksi.

Tähän raporttiin on koottu perustietoa uusiosideaineiden käytöstä syvästabiloinnissa ja uusiosideaineiden ympäristökelpoisuudesta. Raportin tavoitteena on lisätä tietoutta syvästabilointimenetelmästä ja uusiosideaineista.

2 Syvästabilointimenetelmä

2.1 Syvästabiloinnin periaate ja tavoite

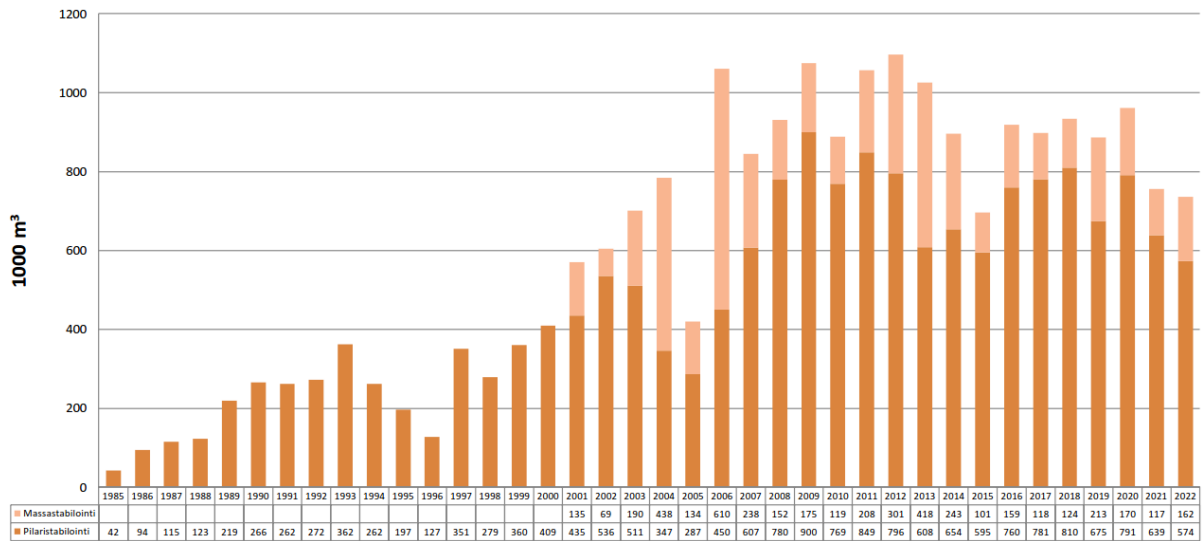
Syvästabilointi on menetelmä, jossa parannetaan pehmeän maa-aineksen, kuten saven tai liejun ominaisuuksia lisäämällä sen leikkauslujuutta ja/tai vähentämällä kokoonpuristuvuutta. Tämä tapahtuu sekoittamalla kemiallisia seosaineita maa-ainekseen eri menetelmillä. Seosaineet yhdessä maa-aineksen ja veden kanssa reagoivat muodostaen ympäröivää maata jäykemmän ja lujemman kerroksen. Syvästabilointi on tänä päivänä hyvin yleisesti käytetty pohjanvahvistusmenetelmä. Menetelmän käytön kasvun 2000-luvulla ovat aikaansaaneet mm. se, että rakentamisessa on siirrytty ja siirrytään edelleen aiempaa pehmeämmille pohjamaille parempien rakennuspaikkojen puuttuessa. Saman aikaisesti painumakriteerit, esim. pihoilla, ovat tiukentuneet, joten syvästabilointia on tarvittu aiempaa enemmän. (kuva 2.1).

Syvästabiloinnin käyttötarkoitus on usein kohteen stabiiliteetin parantaminen ja / tai painuman vähentäminen. Syvästabilointia on hyödynnetty mm. seuraaviin käyttötarkoituksiin (Liikennevirasto 2018a):

- penkereiden ja vallien perustaminen
- putkijohtojen perustaminen
- keveiden rakenteiden perustaminen
- kantavuuden parantaminen
- alueellisen vakavuuden varmistaminen
- paalujen sivusuuntaisen vastuksen lisääminen (työnaikaisesti tai pysyvästi)
- kaivannon pohjan vahvistaminen
- kaivannon tai leikkauksen luiskan vahvistaminen
- tuetun kaivannon ponttien passiivi- ja/tai aktiivipuolen lujuuden lisääminen
- pohjannousun estäminen
- liikennetärinän estäminen tai haittojen lieventäminen
- patoseinät / vettä ohjaavat seinät
- kaivu- ja ruoppausmassojen käsiteltävyyden parantaminen
- rakennus- tai täyttömateriaalin tuottaminen heikkolaatuisesta kaivumaasta
- sulfidisavien ja muiden happamien maiden liukoisuuden vähentäminen/estäminen (pH:n säätö)
- haitta-aineiden eristäminen / kiinteyttäminen (pilaantunut maa)

Suomessa käytettäviä syvästabilointimenetelmiä ovat pilaristabilointi ja massasyvästabilointi. Kaivumaita, ruoppausmassoja, tms. voidaan jalostaa massa- tai prosessistabiloimalla. Prosessistabilointilaitteita ovat mm. seulakauhat, joilla voidaan stabiloida pehmeää maata pienissä erissä. Muita laitteita ovat mm. auman kääntäjä, pakko- tms. sekoittimella varustettu sekoitusasema tai massastabilointilaitteisto (vastaava kuin massasyvästabiloinnissa).

Kansainvälisessä kirjallisuudessa suihkuinjektointia käsitellään usein syvästabiloinnin kanssa samoissa julkaisuissa. Suihkuinjektointi on menetelmä, jossa maaperään suihkutetaan osittain maata syrjäyttävällä korkealla paineella veden, sementin ja mahdollisesti muiden side- ja seosaineiden muodostamaa suspensiota (Liikennevirasto 2018b). Suihkuinjektointi ei ole tässä oppaassa tarkoitettua syvästabilointia, jossa sekoittaminen perustuu mekaaniseen sekoittamiseen.



Kuva 2.1 Syvästabilointimäärät Suomessa. Sarja 1= massa- ja Sarja 2 = pilaristabilointi (Kuusipuro 2023).

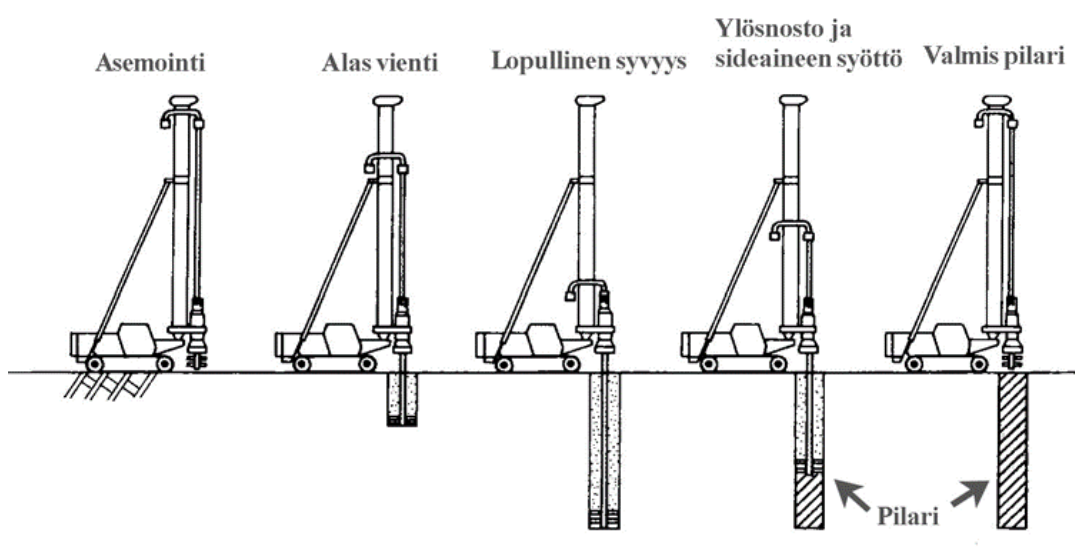
2.2 Syvästabilointi pohjanvahvistuksena

2.2.1 Pilaristabilointi

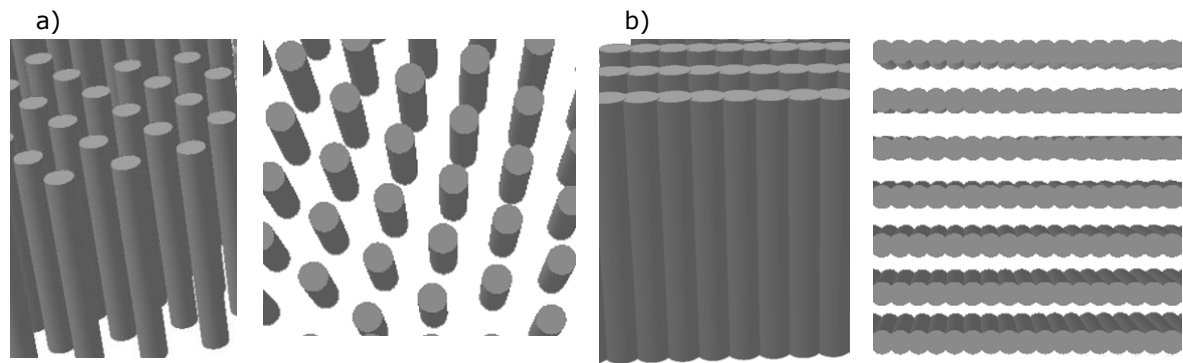
Pilaristabiloinnissa sekoitinkärki työnnetään maahan sideaineensyöttötangolla. Sideaine syötetään pilariin sekoitinkärkeä ylös nostettaessa ja sideaine sekoitetaan maa-ainekseen sekoitinkärkeä jatkuvasti pyörittämällä. Sideaine reagoi veden ja maa-aineksen kanssa muodostaen ympäröivää maa-ainesta lujemman rakenteen. Stabilointi voidaan toteuttaa märkä- ja kuivastabilointina, eroten siinä syötetäänkö sideaine maahan kuivana vai sekoitettuna ennalta veden kanssa. Suomessa käytetään kuivastabilointia (Liikennevirasto 2018a). Pilaristabilointi on havainnollistettuna kuvassa 2.2.

Sekoitinkärjen pyörimisnopeus ja ylösnostonopeus valitaan sellaisiksi, että saavutetaan tasainen sekoittuminen. Pohjoismaisilla pilaristabilointikoneilla on valmistettu enintään noin 25 m pitkiä pilareita. Yleensä koneet varustetaan työmaille siten, että pilarien maksimipituus on noin 18–20 m. Pohjoismaissa Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa käytössä olevissa koneissa on yksi sekoituskärki ja -tanko. (Liikennevirasto 2018a) Stabilointipilarit voidaan asemoida yksittäisiksi pilareiksi tai pilarilamelleiksi kuvan 2.3 mukaisesti. Pilarilamelleissa pilarit asennetaan limittäin eli toisiaan leikkaavasti. (Liikennevirasto 2018a).

Savikerroksen alapuoliseen kantavaan kerrokseen ulottuvat pilarit läpäisevät savikerroksen ulottuen hiekka- tai moreenikerrokseen, kun taas määrämittaisten pilareiden alapäävät ovat savikerroksessa ja alapäiden alle jää savea. Kantavaan kerrokseen ulottuvien pilarien painuma on vähäinen, ja siitä suurin osa tapahtuu rakentamisaikana. Määrämittaisten pilareiden suurin painuma tapahtuu pilareiden alapäiden alapuolisessa savikerroksessa ja painuma voi kestää hyvinkin pitkään.



Kuva 2.2 Sideaineen syöttö ja sekoitus pilaristabiloinnissa. (Paatsema & Kangas 2003; EN 2005)



Kuva 2.3 Yksittäiset pilarit sivulta ja ylhäältä (a) ja pilarilamelli sivulta ja ylhäältä (b).

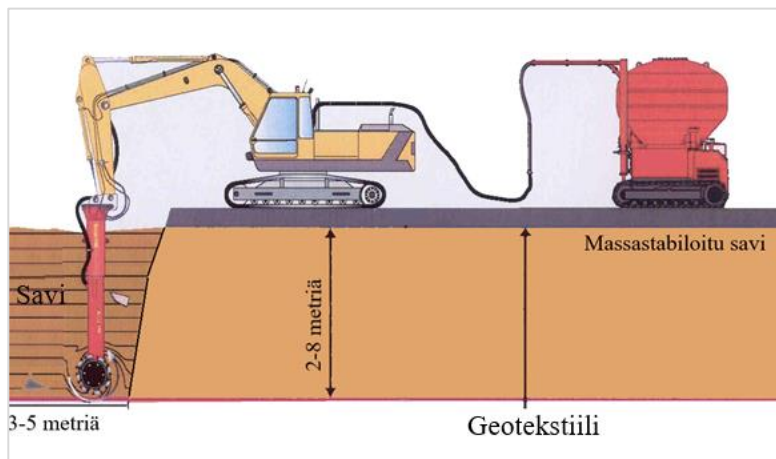
2.2.2 Massasyvästabilointi

Massasyvästabilointi on pehmeiden maa-ainesten kuten liejun ja saven lujittamismenetelmä, jossa pehmeät maakerrokset lujitetaan sideaineella kerrokseksi tavoitesyvyyteen asti (kuva 2.4). Tällöin stabiloidun kerroksen painuma vähenee ja rakenteen stabiiletti eli varmuus sortumaa vastaan paranee. Suomessa massastabilointi tehdään käyttäen kuivaa sideainetta. (Liikennevirasto 2018a).

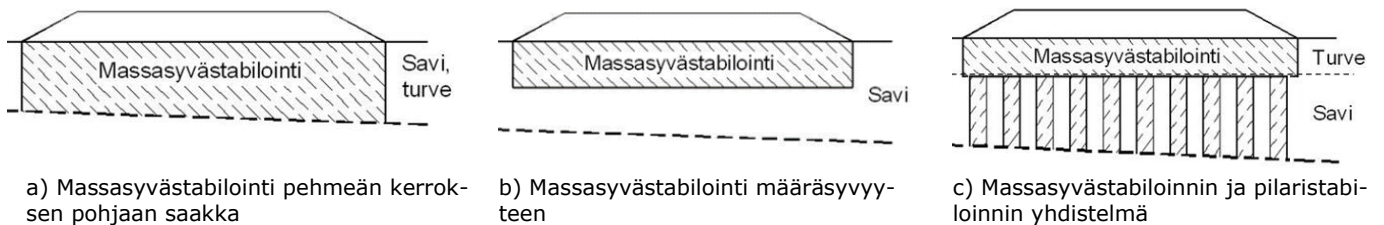
Massasyvästabilointi voidaan tehdä kuvan 2.5 mukaisesti koko pehmeän maakerroksen pohjaan saakka kantavan kerroksen pintaan (a), määräsyvyyteen, jolloin stabiloidun kerroksen alle jää pehmeitä maakerroksia (b) tai voidaan toteuttaa yhdistelmä rakenne, jossa erityisen pehmeä pehmeikön yläosa massastabiloidaan ja savikerroksen alaosa pilaristabiloidaan (c).

Massasyvästabiloinnissa sideaineen syöttö ja sekoitustyö tehdään ruuduittain. Ruutujen koko on riippuvainen mm. stabiloinnissa käytettävän laitteiston ulottuvuudesta, stabiloitavan kerroksen paksuudesta, stabiloitavan maa-aineksen jäykkyydestä, yms. Ruutujen koko on tyypillisesti n. 3-5 m × 3-5 m. (Liikennevirasto 2018a)

Massasyvästabilointi on in situ -pohjanvahvistusmenetelmä, jossa käytettävää laitteistoa voidaan käyttää myös massojen ex situ -jalostamiseen kohdan 2.3.1 mukaisesti.



Kuva 2.4 Massastabiloinnin periaatekuva (Ramboll 2014).



a) Massasyvästabilointi pehmeän kerroksen pohjaan saakka

b) Massasyvästabilointi määräsyyvyteen

c) Massasyvästabiloinnin ja pilaristabiloinnin yhdistelmä

Kuva 2.5 Massasyvästabiloituja rakenteita a) ja b) sekä massa- ja pilaristabiloinnin yhdistelmärakenne c).

2.3 Syvästabilointi massojen jalostamisessa

2.3.1 Massastabilointi

Massastabiloimalla voidaan jalostaa heikkolaatuisia maa-aineksia teknisesti korkeammalle tasolle. Jalostaminen voidaan tehdä esim. altaaseen sijoitetuille ylijäämämaille tai ruoppausmassoille, jotka voivat sisältää haitta-aineita. Ylijäämämaiden tai ruoppausmassojen massastabilointi mahdollistaa niiden hyödyntämisen lujitettuna täyttö- tai rakennusmateriaalina. Tämän käyttömuodon merkitys on lisääntynyt, kun ylijäämämassojen läjitysalueista on ollut pulaa (Ramboll 2014). Menettely on erityisesti uusiosideaineilla toteutettuna resurssiviisasta.

Haitta-aineita sisältävän ruoppausmassan massastabiloinnissa saavutetaan teknisen käytettävyyden lisäksi pH:n nousu tavanomaisesta neutraalista emäksiseksi, joka vähentää tiettyjen metallien liukoisuutta ja kulkeutumista ympäristöön. Massastabilointi on hyvä menetelmä esimerkiksi sinkin, nikkelin ja kadmiumin liukoisuuksien hallintaan. Tyypilliset haitta-aineita sisältävät ruoppausmassat ovat silttiä tai savea, jolloin stabiloinnissa muodostuvan massan vedenläpäisevyys ja veden virtausnopeus ovat alhaisia. Koska pilaantuneen ruoppausmassan stabilointi on edellyttänyt ympäristölupaa, tuotteistamattomien uusiosideaineiden käyttö näissä hankkeissa on ollut tarkoituksenmukaista. Kohteita, joissa massastabilointia on käytetty massojen jalostamiseen, on kuvattu tarkemmin liitteen 4 kohdekuvauksissa.

2.3.2 Prosessistabilointi

Prosessistabiloinnilla tarkoitetaan stabilointimenetelmää, jossa stabiloitava runkoaine (savi, lieju, ...) syötetään laitteistoon, jossa sideaine sekoitetaan runkoaineeseen joko painoon tai virtaamaan sidottuna määränä. Sideainelisäyksen ja sekoittamisen jälkeen materiaali johdetaan laitteistolta eteenpäin putkisiirtona, kouruissa tai lavakuljetuksina (kuva 2.7). Prosessistabilointi voidaan to-

teuttaa myös seulakauhalla tai aumankääntäjällä (kuva 2.6). Sideaineen syötön toteutus menetelmissä vaihtelee. Prosessistabilointia on tehty joko teknisten tai ympäristöllisten tai molemmista syistä.

Prosessistabilointia ylijäämäsavien jalostamiseksi on tutkittu 1991 Tattarisuolla ja Herttoniemessä. Tattarisuolla sideaineen, rikinpoiston lopputuotteen ja kalkin seos, sekoitus saveen toteutettiin betoniatolla. Herttoniemessä sideaineen sekoitus toteutettiin jauheen levittimellä ja stabilointijyrsimellä. Tattarisuolla prosessistabiloitu savi sijoitettiin kaivantoihin ja Herttoniemessä penkereelle. (Karlstedt & Halkola 1993) Tattarisuolla stabiloidun saven pitkäaikaistoimivuutta tutkittiin 2017 uusilla laadunvalvontakairauksilla. Tutkimuksen perusteella stabiloidun saven lujuus oli 2017 sama kuin 1992, jolloin stabiloitu savi oli lujittunut n. 2 kk. Samassa tutkimuksessa tutkittiin useissa kohteissa 6,5–25 vuoden ikäisen massastabiloidun maan pitkäaikaistoimivuutta. Tutkimusten perusteella massastabiloidun maan lujuus kasvoi tai pysyi vakiona työssä tarkastellussa 6,5–25 vuoden ikäisellä havaintoaineistolla, mikä on linjassa kansainvälisessä kirjallisuudessa esitetyn aineiston kanssa. (Piispanen 2017)

Helsingin kaupungin tutkimusta jatkettiin 1997 savikatuhankkeessa, jossa prosessistabiloitiin seulakauhalla Viikin alueen ylijäämäsavie käytettäväksi katurakenteessa. Sideaineena käytettiin uusiosideainetta Lohja Mix E1 ja kalkkisementtiä. Stabiloitu savi käytettiin kadulla Tilanhoitajankaari 0,5 m paksuna kerrospaksuudella jakavassa kerroksessa. Kohteessa on tehty kattavasti tutkimuksia ja seurantamittauksia 1996–99. Tutkimusten perusteella rakenne on toiminut perinteistä kiviainesrakennetta vastaavasti. Hankkeessa on tehty laboratoriotutkimuksia: stabiloitavuus-, routivuus-, jäädytys-sulatus-, lämmönjohtavuus-, CBR-, dynaaminen kolmiaksaali-, vedenläpäisevyys-, diffuusiokokeet ja kenttätutkimuksia: routanousu-, kantavuus-, kosteus- ja lämpötilamittaukset. (Mäkelä et al. 2000) Myös Jätkäsaarella käytettiin seulakauhaa massastabiloidun ruoppausmassan jalostamiseen 2014, jolloin havaittiin, että erittäin pehmeän ja vetisen ruoppausmassan jalostaminen suoraan seulakauhalla ei ollut teknisesti mahdollista (Forsman et al. 2015).



a) Aumankääntäjä



b) Seulakauha

Kuva 2.6 Prosessistabilointiin käytettyjä laitteita (Forsman 2023).

Perusteellisesti dokumentoitu prosessistabilointikohde toteutettiin vuosina 2007–2008 Turun Pansion satamassa (Autiola et al. 2009). Kohdekuvaus löytyy liitteestä 4. Sittemmin kuvassa 2.7 esitetty laitteisto on purettu, mutta periaate on edelleen käyttökelpoinen. Laitteiston hyväksi puoliiksi havaittiin:

- sideaineiden sekoittuminen massaani oli tasalaatuista, mikä säästää sideainemäärässä
- prosessistabiloinnille saavutetaan homogeenisempi laatu massastabilointiin verrattuna
- laitteiston pakkasrajat ovat samat kuin ruoppauksessa (-10 °C)

Pansion kohteessa Aurajoen ruoppausmassat kuljetettiin proomuissa stabilointialtaalle. Ruoppausmassa nostettiin stabilointilaitteiston syöttötasolle, josta massat valui välpän läpi säiliöön, jossa

tapahtui sideaineiden syöttö materiaalin massan suhteessa. Kostutettu tuhka siirrettiin varastoau-
moilta kuljetinhihnaa pitkin säiliöön ja kuivat sideaineet; masuunikuonajauhe ja sementti, pai-
nesyöttimillä varastosäiliöistä. Ruoppausmassa ja sideaineet sekoitettiin paineistetussa kaksoisak-
selisekoittimessa sekoitustasolla. Lopuksi käsitelty massa purettiin kuorma-autokuljetuksena tai
pumpun avulla läjitysaltaaseen. Sekoitustyön dokumentointi oli reaaliaikaista ja syötetyn massan
oletustiedot sekä syötettyjen sideaineiden määrä oli mahdollista tarkistaa sekoituseräkohtaisesti.



Kuva 2.7 Prosessistabilointilaitteisto. Toimintaperiaate Pansion kohteessa. (Autiola et al. 2009)

2.4 Sideaineen kuljetus ja välivarastointi

Pilari- tai massastabilointikoneen painesyöttimillä maahan syötettävä sideaine säilytetään, kuljete-
taan ja käytetään kuivana ja sen siirrot tapahtuvat pneumaattisesti tuotantolaitoksen siiloista säi-
liöautoihin, autoista työmaiden varastosäiliöihin ja niistä stabilointikoneen säiliöihin. Sideaine säily-
tetään suljetussa järjestelmässä maahan syöttämiseen ja sekoitinkärjellä sekoittamiseen saakka.
Kuvassa 2.8 on esitetty sideaineen varastosäiliö ja stabilointikoneeseen liitetty säiliö.

a)



b)



Kuva 2.8. Sideaineen varastosäiliö (a) ja stabilointikoneeseen liitetty säiliö (b) (Ketonen 2020).

Lentotuhkaa ja kipsiä on käytetty myös kostutettuna sideaineena ruoppausmassojen massa- ja
prosessistabiloinnissa. Kipsi muodostuu ja se voidaan varastoida kostutettuna. Tuhkan kostutuk-
seen ja kosteana välivarastointiin on ollut syynä tuotannon synkronointi stabilointihankkeen tar-
peeseen. Tyypillisimmin lentotuhkaa syntyy lämmityskaudella ja stabilointihankkeet toteutetaan
sulan maan aikana. Hankkeissa pyritään käyttämään lentotuhkaa lähimmästä tuotantolaitoksesta,

jossa tuotantomäärät ja siilokapasiteetit harvoin riittävät päivittäiseen sideainetarpeeseen. Varastointi stabilointihanketta varten järjestetään joko tuotantolaitoksen tai hankkeen toimesta ympäristölupien mukaisesti määräaikaisesti. Kostutetut sideaineet aumataan löyhästi ja peitetään tai varastoidaan hallissa. Rakenteilla estetään sideaineen pölyäminen ja leviäminen ympäristöön sekä liiallinen kostuminen rankkasateissa. Kostutettu lentotuhka menettää reaktiivisuuttaan ajan kuluessa. Reaktiivisuuden heikkenemistä ja optimaalista varastointiaikaa testataan stabiloituvuustutkimusten yhteydessä, mikäli välivarastointiin päädytään.

Kostutettuja sideaineita ei voida syöttää maahan painesyöttimellä stabiloitavaan massaan kuten kuivia sideaineita, vaan ne levitetään massan päälle stabilointiruuduittain ja esisekoitetaan esimerkiksi kaivinkoneen kauhalla tai stabilointilaitteen sekoituskärjellä stabiloitavan massan pintaosaan. Sekoitusta massaan jatketaan kuivan sideaineen syötön yhteydessä. Kostutettua sideainetta ei ole tiettävästi käytetty ainoana sideaineena stabilointireseptissä.

3 Syvästabiloinnin geotekninen suunnittelu

3.1 Ohjeistus

Ensimmäinen suomalainen syvästabilointiohje on laadittu 1980-luvulla Ruotsissa 1970-luvulla laadittujen ohjeiden pohjalta. Väyläviraston (Tielaitos) 1. ohje laadittiin 1990-luvulla ja se on päivitetty useaan kertaan, viimeisin päivitys 2018. Massastabilointikäsi- kirja on laadittu 2014.

Väyläviraston hankkeisiin tehtävässä syvästabiloinnin suunnittelussa sovellettavien määräysten ja ohjeiden pätemisjärjestys on seuraava (Liikennevirasto 2018, päivitetty):

1. Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) määräykset
2. Yhteentoimivuuden tekniset eritel- mät YTE
3. Liikenneviraston antamat hankkeen suunnitteluperusteet
4. Eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet (noudatetaan LVM:n kansallisia liitteitä, jos samasta eurokoodista on sekä YM:n että LVM:n kansalliset liitteet)
5. Liikenneviraston Eurokoodien soveltamisohjeet (NCCI-sarja), oleellisimpana NCCI7 Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu 1.4.2023
6. Liikenneviraston Tien geotekninen suunnittelu LO10/2012 ja Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3, Radan rakenne LO13/2018
- 7. Syvästabilointiohje LO17/2018**
8. Liikenneviraston ohjeet, mm. LO 10/2015 Geotekniset tutkimukset ja mittaukset
9. Muut ohjeet ja oppaat, mm. **Massastabilointikäsi- kirja 2014**

Muiden tilaajien hankkeissa käytettävät suunnitteluohjeet poikkeavat edellä esitetyistä kunkin tilaajan käytäntöjen mukaisesti. Syvästabiloinnin yleisenä työselostuksena toimii InfraRYL, jossa pilari- ja massastabiloinnin toteutus ja laatuvaatimukset on esitetty yksityiskohtaisesti. InfraRYLissä esitettyä täydennetään ja täsmennetään hankekohtaisella työselostuksella.

3.2 Stabiloidun maan tekniset ominaisuudet

Pilaristabiloidun maan leikkauslujuus vaihtelee tyypillisesti välillä 70–200 kPa (1-ak- siaalinen puristuslujuus 140–400 kPa) ollen siis n. 5–15-kertaa suurempi kuin stabiloimattoman maan leikkauslujuus. Massastabiloidun maan leikkauslujuus vaihtelee tyypillisesti välillä 30–100 kPa ollen n. 5–10-kertaa suurempi kuin stabiloimattoman maan leikkauslujuus. Stabiloidun maan lujuuden kehitys tapahtuu suurelta osin n. 1–3 kk aikana sideainetyypistä ja olosuhteista riippuen. Lujittuminen voi jatkua useita vuosia.

Joidenkin toteutettujen rakenteiden painumamittaustulosten avulla kalibroiduissa takaisinlaskennoissa on havaittu stabilointipilarien vedenläpäisevyyden olevan 1-10-kertainen verrattuna pilareita ympäröivän maan vedenläpäisevyyteen (1-8 -kertainen / Paatsema & Kangas 2003; 1-10 -kertainen, sideaine KuJa+YSe / Törnqvist & Juvankoski 2003). 90-luvun alussa on koepilarikentän huokosveden ylipaineen mittauksilla todettu, että sementtistabiloiduilla pilareilla ei ole merkittävää pystyjohtavaa vaikutusta (Vepsäläinen & Arkima 1992). Kalkilla stabiloidun saven vedenläpäisevyyden on havaittu olevan laboratoriokokeissa suuremman kuin muilla sideaineilla stabiloidun saven. Stabiloidun ja stabiloimattoman saven vedenläpäisevyyksien suhde on ollut kuitenkin alle 10. Muilla sideaineilla laboratoriokokeissa vedenläpäisevyyden on havaittu olevan lähellä stabiloimattoman saven vedenläpäisevyyttä ja suuremmilla sideainemäärillä jopa pienempi kuin stabiloimattomalla savella (Hassan 2009; Åhnberg 2006). Baker (2006) määrittäi kentällä stabiloitujen kalkkisementtipilarin veden johtavuutta suhteessa ympäröivään saven vedenjohtavuuteen pilareista otettujen näytteiden tutkimuksilla laboratorioissa. Laboratorioissa 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). Bakerin esittämät vedenjohtavuudet ovat todella pieniä, ja niiden perusteella voitiin todentaa, että pilarit itsessään eivät ole merkittävä veden ja aineiden kulkeutumisreitti.

Stabiloidun maan lujuus on karkeasti arvioituna n. 2–7 % tyypillisestä betonin lujuudesta. Stabiloitu maa on raudoittamatonta, joten sen ei tarvitse suojata terästä korroosiolta vastaavasti kuin betonin. Stabiloitu maa on maan ja pengerrakenteiden alla roudalta suojassa, joten sen ei edellytetä kestävä betonin tavoin pakkasrasitusta. Stabiloituun maahan voi kohdistua pakkasrasitusta joissakin poikkeustapauksissa, esim. pilarilamelleilla tuetussa kaivannossa pilarien yläpäävät ovat luisassa ohuen luiskaverhoilun alla tai pilarien yläpuolinen kiviainesrakenne on muutoin ohut. Betonin valmistuksessa voidaan valita käytettävät materiaalit (sementti, runkoaine, lisäaineet, yms.) toisin kuin syvästabiloinnissa, jossa ”runkoainetta” ei ole mahdollista valita, vaan mitoituslujuus, sideaineresepti (sideaineen laatu ja määrä), työtekniikka, lujittumisaika, yms. on määritettävä siten, että haluttu lopputulos saavutetaan.

Pohjanvahvistuksena toimivan syvästabiloinnin käyttöiän tulee olla vähintään päälle rakennettavan rakenteen käyttöikä. Tien ja radan pohjanvahvistusten ja pohjarakenteiden käyttöikä on 100 vuotta. (Liikennevirasto 2018a). Kirjallisuudessa ei ole esitetty havaintoja, joiden mukaan syvästabiloidun saven lujuus olisi alentunut lujittumisensa jälkeen. Sen sijaan on esitetty tutkimustuloksia, joiden mukaan stabiloidun maan lujuus on kasvanut useiden vuosien tai vuosikymmenien ajan. (Piispanen 2017; Forsman et al. 2018)

3.3 Ennakkotutkimukset

Kaikissa suunnittelu- ja toteutusvaiheissa on varattava aikaa tarvittavien kenttä- ja laboratoriotutkimusten sekä mahdollisen koestabiloinnin toteuttamiseen. Ennakkotutkimukset ja niiden liittyminen eri suunnittelu- ja toteutusvaiheisiin on esitetty yksityiskohtaisemmin ohjeessa Liikennevirasto (2018a).

Syvästabiloinnin käyttökelpoisuus ja taloudellisuus selvitetään katu-, puisto-, tie- ja ratasuunnitteluvaiheen pohjatutkimustiedon perusteella alustavilla mitoituksilla. Nykyinen käytäntö on se, että sideainereseptointi tehdään ennen urakkalaskentaa rakennussuunnitteluvaiheessa. Pohjamaan stabiloitavuus selvitetään stabiloitavuuskokeilla, joissa käytetään kohteen maanäytteitä ja sideaineita, joita kohteessa on arvioitu käytettävän. Stabiloitavuuskokeet tehdään Liikenneviraston ohjeen (2018a) mukaisesti. Pienissä ja geoteknisesti yksinkertaisissa kohteissa, stabiloitavuus voidaan arvioida varovaisesti maaperätiedon, aiempien stabilointien ja/tai kokemukseen perustuen.

Koestabilointia käytetään esim. erityisen vaativissa kohteissa, kun käytetään tavanomaisesta poikkeavaa sideainetta, savikerrosten välissä on kovia kerroksia, joiden läpäisyä ei pystytä muutoin arvioimaan, jne. Myös isoissa kohteissa koestabilointi on perusteltu sideainemäärän ja -kustannusten optimoimiseksi.

3.4 Suunnittelu

Syvästabiloinnin suunnittelu tapahtuu vaiheittain hankkeen muun suunnittelun ja pohjatutkimusten eri vaiheiden mukaan. Suunnittelun tulee perustua geoteknisen ja muun suunnittelun yhteensovittamiseen, jolloin ratkaisuja arvioidaan molemmista näkökulmista ja otetaan huomioon tekniset, taloudelliset, turvallisuus- ja ympäristövaikutukset. (Liikennevirasto 2018a)

Pilaristabiloinnin, jonka varaan rakennetaan pengeri, suunnittelu ja mitoitus sisältää osatehtävät:

0. menetelmän soveltuvuuden arviointi
1. suunnittelun lähtötietojen ja reunaehtojen kokoaminen
2. kuormitusten määrittäminen
3. mitoitusparametrien määrittäminen lujittumisaika huomioden
4. stabiloinnin minimileveyden määrittäminen (poikkileikkauksen perusteella)
5. stabiliteettimitoitus
6. pilarin puristuskestävyyden tarkistus
7. painumamitoitus (4+5+6 => pilarihalkaisija, k/k-väli, $\tau_{stab;d}$)
8. pilarikaavion ja stabiloinnin leveyden, stabilointisyvyyden ja -lujuuden valinta mitoittavan laskelman perusteella
9. mitoittavan laskelman perusteella määritetylle pilarin leikkauslujuudelle sideaineen reseptointi (menettely ja ajankohta vaihtelevat tapauskohtaisesti)
10. stabilointi- ja laadunvalvontasuunnitelman laatiminen (työselustus, piirustukset)

Muun tyyppisissä kohteissa mitoitus saattaa poiketa taulukossa esitetystä. Määräsyvyyden stabiloinnin ja myötävillä pilareilla toteutettavan stabiloinnin mitoituksessa on myös muita vaiheita.

Kustannusvertailu rakennussuunnitteluvaiheessa perustuu yleisiin yksikkökustannuksiin. Pohjarakennus- ja -vahvistusmenetelmien markkinatilanteet vaihtelevat, minkä seurauksena rakennussuunnitteluvaiheessa kalliimmaksi arvioitu syvästabilointi voikin osoittautua urakkalaskenta- tai toteutusvaiheessa odotettua ja rakennussuunnitteluvaiheessa valittua menetelmää edullisemmaksi tai syvästabiloinnin käyttö aikaansaa muita etuja tai säästöjä kohteessa. Näiden tilanteiden varalta tulee ottaa huomioon myös potentiaalisten vaihtoehtojen perustustavat, joten tutkimukset ohjelmoidaan niin, että myös vaihtoehtoisen perustamistavan mukainen rakenne voidaan suunnitella riittävän luotettavasti (Liikennevirasto 2015). Lisäksi urakkatarjouspyyntöasiakirjoissa esitetään, onko syvästabilointi ko. kohteessa teknisesti mahdollinen menetelmä, jolloin ko. arviointia ei tehdä turhaan urakkalaskenta- tai toteutusvaiheessa (Liikennevirasto 2018a).

3.5 Laadunvalvonta

Lujittuneen stabiloidun maan vaatimukset esitetään suunnitelma-asiakirjoissa. Suunnitelma-asiakirjoissa ja InfraRYLissä annetaan ohjeita ja vaatimuksia stabilointityön toteutukselle. Ohjeet ja vaatimukset koskevat mm. käytettävää sideainetta, stabilointityötä ja lopullista rakennetta. Stabilointityön toteutuksen vaatimusten täyttymisen osoittaa urakoitsija minimissään dokumentoimalla tehdyn stabilointityön. Lisäksi toteutusta valvoo rakennuttajan paikallisvalvoja. Stabilointityön dokumentointi ja toteutuneesta rakenteesta tehtävien laadunvalvontatoimenpiteiden laajuus on esitettävä suunnitelma-asiakirjoissa. (Liikenneviraston 2018a)

Toteutuneesta stabiloinnista tutkitaan sen ominaisuuksia pilareittain/stabilointiruuduittain tai osaluueittain ja verrataan tutkimustuloksia asetettuihin vaatimuksiin yksittäisinä havaintoina ja osaluueiden keskiarvolujuuksien havaintoina. Laadunvalvonta ja -varmistus koostuu stabiloinnin työaikaisesta tuotantoa ohjaavasta laadunvalvonnasta (QC) ja stabiloinnin jälkeisestä toteavasta laadunvarmistuksesta (QA). (Liikennevirasto 2018a) Taulukossa 3.1 on esitetty laadunvalvontatoimenpiteitä hankkeen eri vaiheissa. Laadunvalvonnan tarkoituksena on todentaa, että stabilointi on saavuttanut tai tulee saavuttamaan tavoitelujuutensa. Kairauksilla tutkitaan lisäksi, että stabiloidun maan lujuus on riittävän homogeeninen ja tarvittaessa selvitetään näytetutkimuksilla, että sideaine on sekoitettu tasaisesti runkoaineen sekaan. Työn alkuvaiheessa tehtyjä laadunvalvontatutkimuksia voidaan käyttää stabilointityötä ja sideaineseosta ohjaavana laadunvalvontana, jonka perusteella voidaan stabilointityön toteutusta ja syötettävän sideaineen määrää tarkentaa. (Liikenneviraston 2018a)

Taulukko 3.1. Stabilointihankkeen toteutusvaiheet, toimenpiteet ja tutkimukset (osakopio, Liikennevirasto 2018a).

Hankkeen vaihe	Toimenpiteet	Kenttä- ja laboratoriotutkimukset
Koestabilointi tai koeluontoinen aloitus	Urakoitsija toteuttaa koepilarit suunnitelman mukaisesti	Kairaukset koepilarien lujuuden toteamiseksi, sideainemäärän tarkistus tarvittaessa
Stabiloinnin toteutus ja työtä ohjaava laadunvalvonta	Urakoitsija laatii rakennussuunnitelman pohjalta toteutuspiirustuksen tai -mallin, missä pilarit ja massastabilointiruudut on yksilöity tuotantoa ja laadunvarmistusta varten. Urakoitsija laatii laadunhallintasuunnitelman	Stabilointityön aikana tehdään urakoitsijan laatua ohjaavia kairauksia ja/tai näytetutkimuksia
Toteava laadunvalvonta	Urakoitsija toimittaa laadunvalvontakairausten tulokset suunnittelijalle ja rakennuttajalle tarkastettavaksi ja mahd. korjaavien toimenpiteiden suunnittelua varten	Lujittuneeseen stabiloituun maahan tehdään laatua toteavia kairauksia tai näytetutkimuksia
Korjaavat toimenpiteet	Mikäli stabilointi ei täytä laatuvaatimuksia, suunnitellaan korjaavat toimenpiteet	Mahdolliset kairaukset pidemmän lujittumisajan jälkeen

4 Syvästabiloinnin sideaineet

4.1 Sideaineet 1970–2010-luvuilla

Syvästabiloinnin sideaineena on käytetty 1970 ja 80-luvulla pelkkää poltettua kalkkia (CaO) ja 90-luvulta alkaen kalkkisementtiä (merkintä: LC tai KS). Kipsin käyttöä sideaineena selvitettiin jo 1970–80 -lukujen vaihteessa (Kujala 1982). Lentotuhkaa sisältäviä Lohjamix-sideaineseoksia käytettiin lähes koko 90-luku Suomessa ja Ruotsissa (Lahtinen et al. 2000, Parkkinen 1996). Nordkalk kehitti 90-luvulla sideaineseokset POZ ja FTC, joista FTC muuttui vuonna 2007 kauppanimelle Terra GTC. Nordkalkin tuotteet ovat käytössä ja niitä käytetään nykyisin ilman, että niiden käyttö on edellyttänyt kohdekohtaista ympäristölupaa. 2010-luvulla ja 2020-luvun alussa käytettiin runsaasti myös EU:n ulkopuolelta tuotua kalkkisementtiä.

4.2 Sideaineet ja niiden raaka-aineet

Sideaineet koostuvat yhdestä tai useammasta stabiloivasta aineesta. Kun stabiloivia aineita on useampi, sideainetta kutsutaan sideaineseokseksi tai seossideaineeksi. Vaihtelemalla sideaineseosten seossuhteita voidaan saada stabiloidulle rakenteelle erilaisia ominaisuuksia. Yleisimmin käytetty sideaine on 1990-luvun alusta asti ollut kalkin ja sementin seos. Tyypillisesti kalkin ja sementin

seossuhde on ollut 50/50 %, mutta nykyisin käytetään yleisesti muitakin sekoitussuhteita, joissa kalkin määrä on esim. 20–30 %. (Väylävirasto 2018a) Syvästabiloinnin sideaineseoksissa käytetään myös teollisuuden sivutuotteita ja -virtoja, kuten esimerkiksi kuonaa, lentotuhkaa tai kipsiä. Usein näitä materiaaleja käytetään seoksina, joissa yhtenä komponenttina on sementti. Joissain tapauksissa stabilointi on mahdollista toteuttaa jopa pelkästään sivutuote- tai jättepohjaisia materiaaleja sideaineena käyttäen.

Sementti

Sementti on jauhemainen hydraulinen sideaine, joka valmistetaan murskatusta ja jauhatusta kalkkikivestä. Sementti sisältää kalkkikiven lisäksi kalkkikivilouhoksen sivukivistä ja muista teollisuuden sivutuotteista piidioksidia (SiO_2), rautaoksidia (Fe_2O_3) ja alumiinioksidia (Al_2O_3). Sementin etuna on nopea alkulujittuminen. Sementit on luokiteltu Sementtistandardissa SFS-EN 197-1 viiteen pääalajiin CEM I - CEM V niiden sisältämien seosainemäärien ja -laatuojen mukaan seuraavasti: CEM I sisältää sivuosa-aineita 0–5 %, CEM II seosaineita 6–20 %, CEM II B seosaineita 21–35 %, CEM III A masuunikuonaa 36–65 % ja CEM III B masuunikuonaa 66–80 % (SFS-EN 197-1). Suomalaisen CEM I -tyypin sementin tuotannossa CO_2 -päästöt ovat n. 750 kg klinkkeritonnia kohden (BY 2022). Useimmilla muilla sementtityypeillä päästöjä vähentää sementin seostamisessa käytetyt uusiomateriaalit. Sementin valmistus aiheuttaa noin 1 % Suomen ja 5–7 % maailman hiilidioksidipäästöistä.

Kalkki

Poltettu kalkki (CaO) on hyvin reaktiivinen sideaine, joka sitoo tehokkaasti vettä. Kalkin reaktiossa muodostuu lämpöä, joka kiihdyttää myöhempiä lujittavia reaktioita. Kalkkia sideaineena käytettäessä alkulujittumisvaihe on suhteellisen hidas, mutta pitkäaikaiset lujittumisreaktiot voivat jatkua pitkään stabilointityön jälkeen. Joskus sideaineseoksissa voidaan käyttää myös sammutettua kalkkia (Ca(OH)_2). Kalkkikiven kalsinointi tapahtuu polttouunissa, jossa kalkkikivestä vapautuu hiilidioksidia. Prosessi kuluttaa paljon energiaa ja samalla se päästää hiilidioksidia ilmakehään. Kalkin polttamisen CO_2 -päästöt ovat erittäin suuret polttamisessa käytettävästä polttoaineesta riippumatta. EU:n päästökaupan kehittymisen myötä poltetun kalkin hinta on kasvanut merkittävästi, mikä yhdessä kasvaneen päästöjen vähentämistarpeen ymmärryksen myötä on johtanut siihen, että poltetun kalkin käyttäminen syvästabiloinnin sideaineena on vähentynyt ja edelleen vähenee 2020-luvulla Suomessa. Esimerkiksi Helsingin kaupunki lopettanee kalkkisementin käytön syvästabiloinnin sideaineena vuonna 2024 (Koskinen M. 2023)

Kalkkiuunin sähkösuodinpöly

Kalkinpoltoissa syntyy hiukkaspäästöjä, joita kerätään sähkösuodimilla kalkinpolttouunissa kalkinpolton yhteydessä. Kalkkiuunin sähkösuodinpöly sisältää pääasiassa kalsiumkarbonaattia (CaCO_3) ja poltettua kalkkia (CaO). Suodinpölyssä raskasmetallien määrät ovat pieniä. Vuoden 2014 jälkeen sähkösuodinpölyn hyödyntäminen on lisääntynyt, kun suodinpölyä ei ole enää saanut viedä kaatopaikalle. Suodinpölyä hyödynnetään mm. syvästabiloinnin sideaineissa.

Kipsi

Teollisuuden sivuvirtana syntyvää kipsiä tai luonnon kipsiä käytetään syvästabiloinnin sideaineseoksissa. Kipsiä saadaan voimalaitosten savukaasujen puhdistuksesta märkämenetelmänä johtamalla savukaasut kalkkikivilietteeseen. Näiden kemiallisten reaktioiden lopputuloksena syntyy kipsiä. Yara Suomi Oy:n Siilinjärven tehtailla kipsiä syntyy fosforihappotuotannossa. Siilinjärven kipsiä käytetään mm. maanparannusaineena ja vesiensuojelussa.

Lentotuhka

Lentotuhkaa syntyy metsä- ja energiateollisuuden polttoprosesseissa. Tuhka kerätään talteen voimalaitoksen savukaasuista. Tuhkan ominaisuuksiin vaikuttavat poltto- ja käsittelyprosessi ja käytetty polttoaine (esim. kivihiili tai metsäteollisuuden sivuvirta). Lentotuhka on kuivaa, pölyävää ja

hienojakoista materiaalia ja sen rakeisuus vaihtelee välillä 0,002–0,1 mm. Tuhka on itselujittuvaa ja sen lujittumista voidaan nopeuttaa aktivaattoreilla (esim. sementti). (Väylävirasto 2022) Syvästabiloinnin sideaineena käytettävä lentotuhka varastoidaan kuivana.

Masuunikuonajauhe

Masuunikuonajauhe valmistetaan granuloimalla ja jauhamalla raakaraudan valmistuksessa syntyvää masuunikuonaa. Granuloinnissa sulassa tilassa oleva kuona jäädytetään nopeasti vedellä, jolloin kuonasta tulee lasimaista. Kuonan piilevät hydrauliset ominaisuudet heräävät sementin ja veden reaktiossa syntyvän kalsiumhydroksidin vaikutuksesta ja kuona kehittää lujuutta lähes yhtä paljon kuin sementtiklinkkeri. (Finnsementti)

4.3 Syvästabiloinnissa käytössä olevat sideaineet

Kaikissa Suomessa valmistetuissa syvästabiloinnin sideaineissa on uusiomateriaaleja. Uusiomateriaali voi sisältyä sementtiin (esim. CEMII) tai sitä on muissa sideaineen komponenteissa (esim. Terra -GTC, -POZ, -Green ja InfraStabi80). Syvästabiloinnin sideaineseoksessa uusiomateriaalien osuus voi olla jopa 100 %, esim. InfraStabi100 (Ecolan 2019).

Käytössä olevia syvästabiloinnin sideaineita ja niiden koostumus on listattu taulukkoon 4.1 ja 4.2. Taulukossa on myös joitakin sideaineita, joita on ollut saatavilla – saatavuus on saattanut päättyä pysyvästi tai väliaikaisesti. Sideaineiden raaka-aineet on värikoodattu niiden alkuperän mukaisesti joko tuotteeksi, sivutuotteeksi, sementtistandardin mukaiseksi sementiksi, luonnon materiaaliksi tai jätteeksi.

Taulukko 4.1 Syvästabiloinnissa käytettyjen tuotteistettujen sideaineiden koostumuksia. Värikoodien selitteet ovat taulukon alla. (SL2T = sammutettu kalkki, LKD = kalkkiuunin sähkösuodinpöly – Lime Kiln Dust, maKu = masuunikuona, sementtistandardi = sementtistandardin mukainen).

Tuotenimi	Valmistaja	Valmistuspaikka	Seosaineet ja niiden %-osuudet (paino)		
			aine 1	aine 2	aine 3
Terra GTC	Nordkalk	Lohja Tytyri	SL2T / 33 %	Kipsi / 33 %	CEM IIIA / 33 %
Terra GREEN	Nordkalk	Lohja Tytyri	LKD / 50 %	CEM IIIA / 50 %	-
Terra POZ	Nordkalk	Lohja Tytyri	LKD / 33 %	CaO / 33 %	CEM IIIA / 33 %
Terra KC30	Nordkalk	Lohja Tytyri	CEM IIIA / 70 %	CaO / 30 %	-
Terra KC50	Nordkalk	Lohja Tytyri	CEM IIIA / 50 %	CaO / 50 %	-
SR-CEM I	Finnsementti	Lappeenranta	CEM I (C3A < 3,0 %)	sivuosaa-aine / 0–5 %	-
CEM I	Finnsementti	Parainen	sementti / 95–100 %	sivuosaa-aine / 0–5 %	-
CEM II Oiva	Finnsementti	Lappeenranta, Parainen	sementti / 65–79 %	maKu / 6–25 %	kalkkikivi / 6–20 %
CEM III/A Kolmossementti	Finnsementti	Parainen	sementti / 35–64 %	maKu / 36–65 %	sivuosaa-aine / 0–5 %
CEM III/B KolmosBertta	Finnsementti	Parainen	sementti / 20–34 %	maKu / 66–80 %	sivuosaa-aine / 0–5 %
CEM I - III	useita	EU	sementtistandardin EN 197-1 mukaisia		

Tuote	Sivutuote	Sementtistandardi	Luonnonmateriaali
-------	-----------	-------------------	-------------------

Taulukko 4.2 Syvästabiloinnissa käytettyjen / käytettävissä olevien / käyttöön tulevien joidenkin tuotteistamattomien sideaineiden koostumuksia. Useille taulukossa esitetyille jättemateriaaleille on käynnissä / suunnitteilla lupaprosessi sivutuote / EEJ / ... -statuksen saamiseksi. Värikoodien selitteet ovat taulukon alla.

Sideaineseos	Valmistaja	Valmistus- paikka	Seosaineet		
			aine 1	aine 2	aine 3
LT + CEM ^A	UPM	Jämsänkoski	lentotuhka	CEM II	-
LT + CEM	Rauman Biovoima	Rauma	lentotuhka	CEM II **	-
LT + CEM ^A	Kaukaan Voima	Lappeenranta	lentotuhka	CEM II **	-
LT + CEM	Kymin Voima	Kouvola	lentotuhka	CEM II **	-
pohjakuona	Suomen Erityisjäte	Tampere	pohjakuona	CEM II **	-
TapoEko ^B	Tapojärvi	Valkeakoski	maasementti	-	lisäaine x
EcoStabi 100, 80, 65 ^C	EcoIntellect	Hämeenlinna	lentotuhka	CEM	kalkki, kipsi
InfraStabi 100, 80, 65 ^D	Ecolan	Nokia	lentotuhka	CEM II **	lisäaine x
LohjaMix ^E	Lohja Rudus	Virkkala	lentotuhka	CEM	-

A aineiden seossuhteet valitaan tarpeen mukaan, esim. LT:CEM -suhteena on käytetty 7:3, sementin laji voi olla muukin sideaineseoksen valmistajan valintojen mukaan. Kaukaan voiman lentotuhka on ELY:n lausunnon mukaisesti sivutuote (T&T 2023)

B maasementin (uunituote) on meesauunissa poltettua soodasakkaa, tehdaskoeajo tehty 04-06/2023 (Koskinen J. 2023)

C Valmistus on alkamassa 03/2024 (EcoIntellect 2023)

D Valmistus 2018–21, joka loppui, kun Yara Oy oli ostanut Ecolan Oy:n (EcoIntellect 2023) Lentotuhkan lisäksi seoksessa on voitu käyttää mm. kalkkia, kipsiä, rauta- ja terästeollisuuden kuonia (AVI 2021)

E sideainetta valmistettiin ja käytettiin vapaasti syvästabiloinnin sideaineena 1990-luvulla, erilaisia seoksia oli useita sisältäen sementtiä, lentotuhkaa, muita energiateollisuuden jätteitä ja kuonajauhetta (Parkkinen 1996)

Sementtistandardi	Jäte	Sivutuote
-------------------	------	-----------

Uusiosideaineiden käytön lupamenettely on monimuotoinen. Mikäli uusiosideaine sisältää ainoastaan seuraavia materiaaleja tai niiden seoksia: sivutuotestatuksen omaava materiaali (esim. maasuonikuona), sementtistandardin SFS-EN 197-1 mukainen sementti tai luonnonmateriaali (kalkki ja kipsi), ei ympäristölupaa ole edellytetty, ellei itse runkoaine ole sisältänyt haitta-aineita. Mikäli sideaine sisältää jätteen luokiteltua materiaalia, esim. lentotuhka, on stabilointi ollut mahdollista joko koetoimintailmoituksella tai ympäristöluvitettuna.

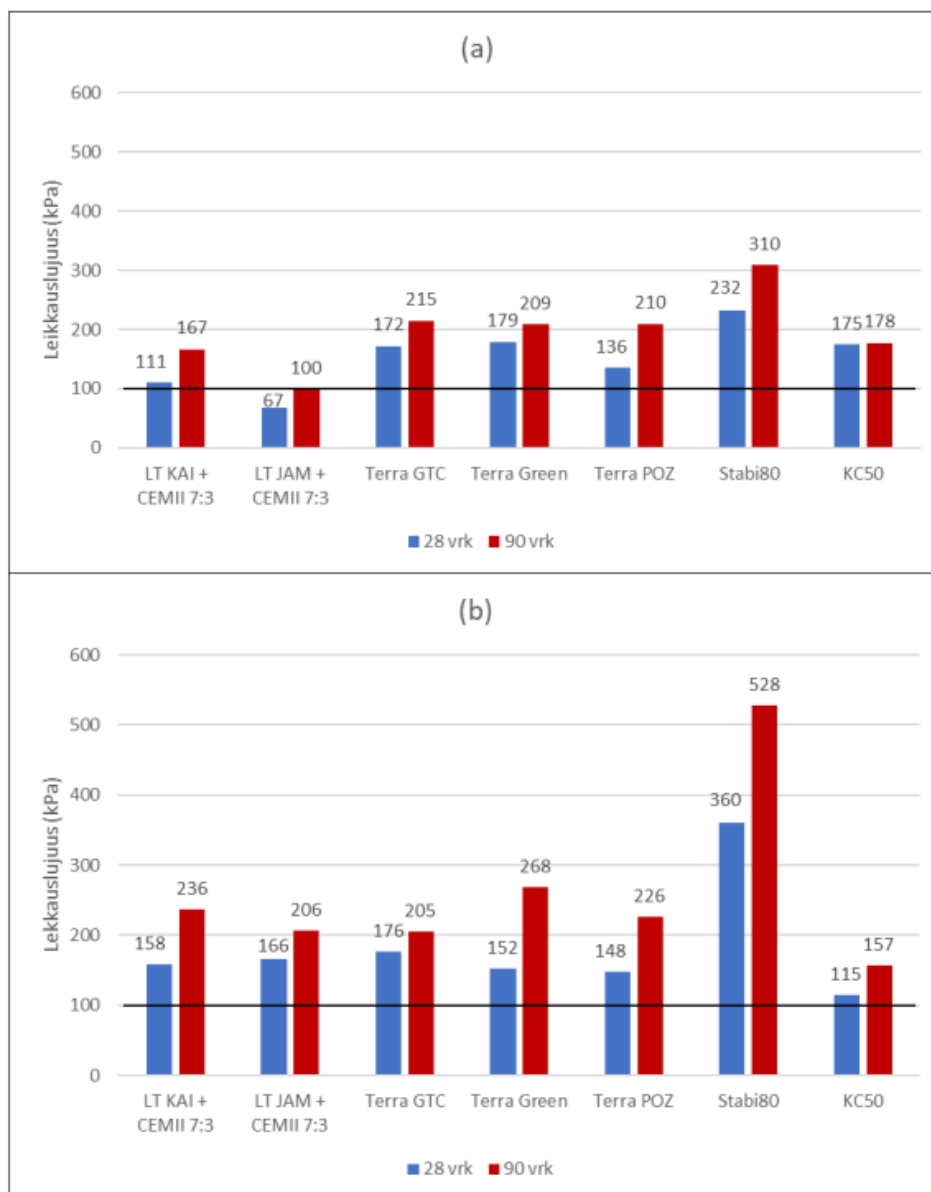
4.4 Stabiloidun maan lujittuminen eri sideaineilla

Erilaisten sideaineiden esitetään lujittavan eri tavoin erilaisia maa-aineksia (taulukko 4.3). Kirjallisuudessa esitetyt suositukset on esitetty ajatellen tuotteistettuja sideaineita ja eivät siten kata kattavasti eri vaihtoehtoja, jotka on esitetty esim. taulukossa 4.2.

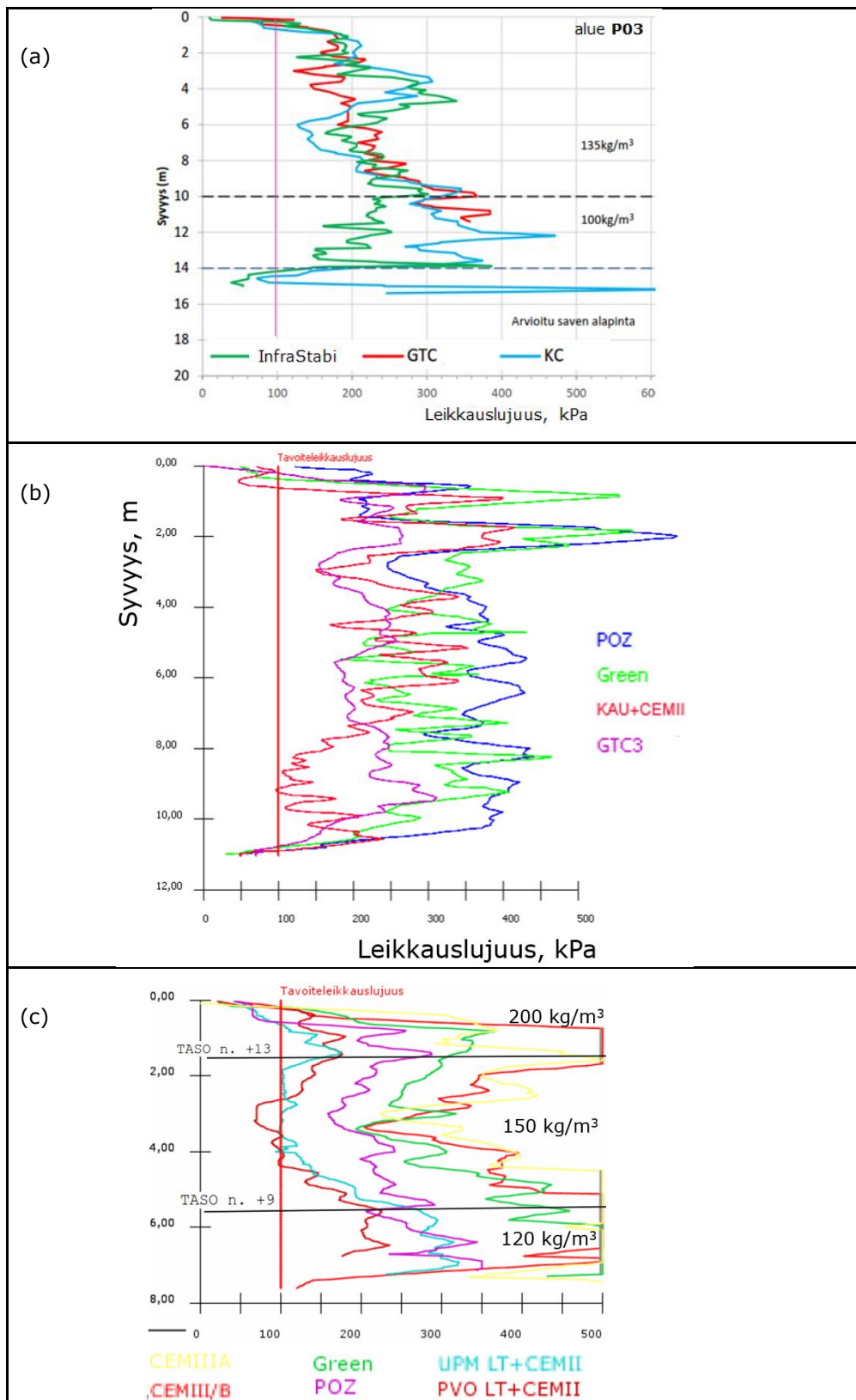
Erilaisten sideaineiden ja sideainemäärien runkoainetta lujittavaa ominaisuutta on tutkittu 1970-luvulta saakka laboratorioissa stabiloitavuuskokeilla ja kentällä koestabilointien sekä tuotantostabilointien valvontakairauksilla. Stabiloitavuuskokeiden laboratorio-ohjeet on esitetty Väyläviraston

ohjeessa (2018). Valvontakairausten periaatteet on esitetty myös Väyläviraston ohjeessa (2018). Valvontakairausten määrät ja tulosten tulkinta on esitetty InfraRYL:ssä.

Kuvassa 4.1 on esitetty esimerkinomaisesti stabiloitavuuskoetuloksia ja kuvassa 4.2 valvontakairaustuloksia, joissa on stabiloitu savinäytteitä tai savipohjamaata erilaisilla sideaineilla. Kaikissa käytetyissä sideaineseoksissa on mukana uusiomateriaaleja, myös kalkkisementissä, jossa CEM II sisältää uusiomateriaalia. Eri sideaineilla stabiloitujen koekappaleiden ja pilareiden lujuudet vaihtelevat. Yhteistä kaikissa rinnakkaisissa tuloksissa on se, että kaikissa tapauksissa suurimmat lujuudet on saavutettu uusiosideaineella kalkkisementin sijaan.



Kuva 4.1 Stabiloitavuuskokeiden 28 ja 90 vrk puristuskoetulokset (puristuskoetulosten keskiarvo), sideainemäärä 120 kg/m³, Helsinki, Kuninkaantammi. (a) 2,5 m syvyydeltä ja (b) 5,0 m syvyydeltä. Sideaineseokset: lentotuhka (UPM Kaipola) + CEM II (sementti), lentotuhka (UPM Jämsänkoski) + CEM II, Nordkalk Terra GTC, Nordkalk Terra Green, Nordkalk Terra POZ, Ecolan InfraStabi80 ja KC50 (kalkkisementti 1:1). (Nguyen 2021)



Kuva 4.2 Valvontakairausten keskiarvoleikkauslujuuskuvaajat. Kuvaajat eri sideaineilla edustavat kussakin kuvassa samaa sideainemäärää. a) Porvoo, Länsiranta, b) Turku, Topinpuisto ja c) Helsinki, Malminkenttä, 91 d lujittuneet stabilointipilarit. Sideaineet: InfraStabi80, GTC / POZ / Green = Nordkalk Terra GTC / POZ / Green, KC = kalkkisementti 3:7, POZ = Nordkalk Terra POZ, KAU = PVO LT = lentotuhka (PVO Kaukaa), CEMIIIA / CEMIIIB = Finnsementti CEMIIIA / CEMIIIB, UPM LT = lentotuhka (UPM Jämsänkoski). (Forsman 2023)

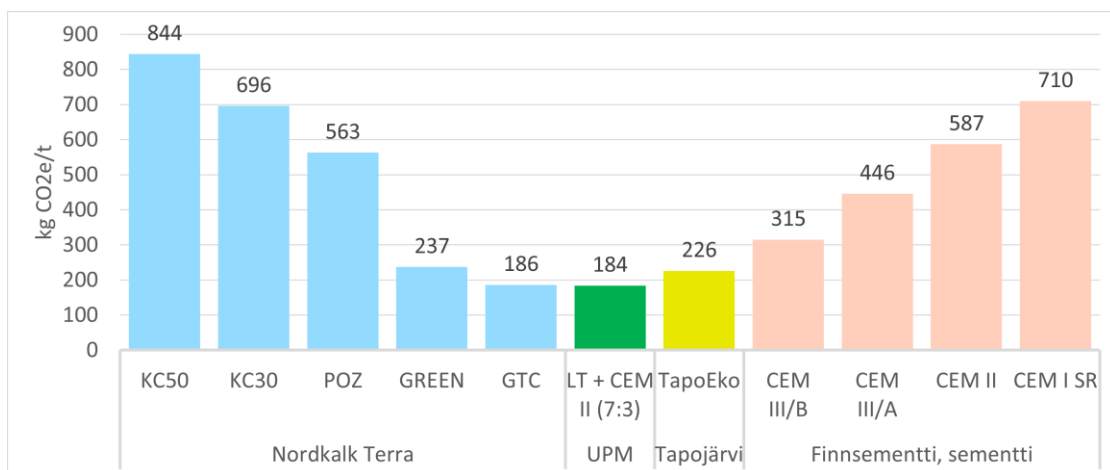
Taulukko 4.3 Syvästabiloinnissa (kuivamenetelmä) yleisesti käytettyjä sideaineita (SFS-EN 14679).

Maa-ainestyyppi	Sopiva sideaine
Savi	Kalkki tai kalkki/sementti
Erittäin sensitiivinen savi	Kalkki tai kalkki/sementti
Orgaaninen savi ja lieju	Kalkki/sementti tai sementti/ masuunikuona tai kalkki/kipsi
Turve	Sementti tai sementti/ masuunikuona tai kalkki/kipsi/sementti
Sulfiittimaa	Sementti tai sementti/ masuunikuona
Siitti	Kalkki/sementti tai sementti

4.5 Sideaineiden CO₂e-päästöt

Uusiosideaineiden käyttämisessä yhtenä oleellisena syynä on syvästabiloinnin aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Pilaristabiloinnissa suurin osa päästöistä muodostuu sideaineista. Sideaineen työmaalle kuljetuksen ja stabilointityön päästöt ovat oleellisesti pienempiä. Perinteisesti käytettyjen kalkkisementti-sideaineiden valmistus on hyvin päästöintensiivistä. Käyttämällä sideaineena uusiosideaineita, voidaan merkittävästi vähentää syvästabiloinnin sideaineiden hiilidioksidipäästöjä, sillä sellaisenaan uusiomateriaalina käytettävien jättemateriaalien päästökerroin on nolla (Väylävirasto, 2023). Perinteisten ja uusiosideaineiden kuljetuksen päästöt kilometriä kohden ovat toisiaan vastaavat. Kun uusiosideaineiden valmistuksen hiilidioksidipäästöt vähenevät, kasvaa sideaineen kuljetuksen osuus sideaineen kokonaispäästöstä.

Syvästabiloinnissa sideaineiden osuus voi olla jopa yli 90 % hiilidioksidipäästöistä. Vähähiilisillä pilaristabiloinnin ja massastabiloinnin uusiosideaineilla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöistä 70-80 % verrattuna perinteisiin sideaineisiin. (Kivi 2021) Kuvassa 4.2 on esitetty syvästabiloinnin sideaineiden päästökertoimia. Päästöt sisältävät sideaineen elinkaaren vaiheet A1, A2 ja A3 (raaka-aineen hankinta, kuljetus valmistukseen ja tuotteen valmistus). Päästöt eivät sisällä työmaalle kuljetusta (A4) eikä stabilointityötä (A5). Sideaineiden kuljetuksen hiilidioksidipäästöt ovat suuruusluokkaa alle 25 kg CO₂e/t tavanomaisilla kuljetusmatkoilla.



Kuva 4.3 Syvästabiloinnin sideaineiden valmistuksen päästökertoimia (A1-A3), kg CO₂e/t. Tilanne kevät 2023. (osa kertoimista on alustavia). KC50 = kalkkisementti 1:1, KC30 = kalkkisementti 3:7, Terra POZ, GREEN ja GTC = Nordkalkin valmistamia uusiosideaineita. LT = lentotuhka, päästökerroin UPM:n Jämsänkosken tehtaalla lentotuhka ja sementin CEM II seokselle (Kuusipuro 2022, Nguyen 2021, Finnsementti; Ramboll 2023).

4.6 Sideaineiden kokonaispitoisuudet

Sideaineiden osakomponenteille on voitu tehdä ympäristökelpoisuusmäärittelyjen yhteydessä sekä kokonaispitoisuuksien että haitta-aineiden liukoisuustestausta. Stabiloinnissa merkityksellistä on lopputuotteen eli stabiloitun maan liukoisuuden määrittely, ei sideaineen saatikka yksittäisen sideainekomponentin liukoisuusominaisuuksien määrittelyä.

Taulukkoon 5.1 on koottu muutamien kaupallisten sideaineiden sekä MARA-asetuksen mukaisesti käytettyjen jätejakeiden, lähinnä lentotuhkien, kokonaispitoisuuksia verrattuna PIMA-asetuksen (Vna 214/2007) mukaisiin ohjearvopitoisuuksiin. Kyseisiä raja-arvoja ei tule soveltaa sideaineiden ympäristökelpoisuuden määrittelyyn. Ohjearvot on annettu maaperän pilaantuneisuuden arviointia varten. Taulukossa vertailu on tehty eri sideaineiden haitta-ainepitoisuuksien vertailun helpottamiseksi. Syvästabiloinnin sideainekäyttöön ei ole toistaiseksi määritetty raja-arvopitoisuuksia kokonaispitoisuuksille.

Syvästabiloinnin sideaineiden lujittumisreaktiota edesauttavat mm. korkeat kalsiumpitoisuudet. Taulukon sideaineista erityisesti kaupallisten sideaineiden kalsiumpitoisuudet ovat korkeita. Korkeita kalsiumpitoisuuksia on myös osalla lentotuhkista.

Lentotuhkien metallisten haitta-aineiden pitoisuudet ovat selkeästi korkeampia kuin perinteisillä kaupallisilla sideaineilla (taulukko 5.1). Ylemmän ohjearvopitoisuuden ylitykset sinkillä eivät ole harvinaisia. Myös kuparin, vanadiinin ja antimoinin pitoisuudet voivat olla kohonneita.

5 Syvästabilointi pohjanvahvistuksena, ympäristövaikutukset

Syvästabiloinnin ympäristövaikutuksia tarkastellaan paikallisesti sekä globaalisti. Syvästabiloinnin globaalit vaikutukset ilmenevät sideaineen valmistuksen ja kuljetuksen, sekä työsuorituksen kasvi-huonepäästöinä. Työsuorituksen päästöt ovat sideainelaadusta riippumattomia. Sideaineiden kuljetusten päästöihin vaikuttavat sideaineen valmistuspaikan ja käyttöpaikan välinen etäisyys. Suurin päästö muodostuu sideaineen valmistuksesta. Globaalit ilmastovaikutukset ovat perusteena vähäpäästöisten sideaineiden käyttämiselle ja niiden käytön edistämiseksi.

Syvästabiloinnin paikallisia vaikutukset ovat pääsääntöisesti stabiloinnissa käytettyjen sideaineiden leviäminen ennakoitua laajemmalle alueelle, sekä stabiloinnin pH-tason muutoksesta johtuva maaperän raskasmetallien liukeneminen ja mahdollinen kulkeutuminen. Tässä kappaleessa käsitellään syvästabiloinnin paikallisia ympäristövaikutuksia.

5.1 Vaikutusmekanismit

Suomessa syvästabilointi tehdään kuivastabilointina, jolloin maahan syötetään kuiva sideaine paineilmalla ja reaktioon vaadittava vesi on jo valmiiksi maaperän huokosissa. (Liikennevirasto 2018). Maahan sekoittamisen jälkeen sideaineen mahdollinen partikkelimaisessa muodossa kulkeutuminen pohjaveden virtauksen mukana ja painovoimaisesti hidastuu ja osittain estyy, kun maaperän huokoskanavien jatkuvuus ja vedenläpäisevyys vähenevät maa-aineksen raekoon pienentyessä. Aineet voivat myös muodostaa maa-aineksen kanssa yhdisteitä ja pelkistyä maaperään. Pelkistymistä tapahtuu maarakeen pinnalla. Raekoon pienentyessä maa-aineksen ominaispinta-ala kasvaa (m^2/m^3), mikä kasvattaa maaperän pelkistämispotentiaalia. Erityisesti savimaassa aineiden kulkeutuminen on hyvin hidasta ja savi toimii tehokkaana esteenä aineiden leviämiseksi. Kiinteän aineksen hitaan ja estyneen kulkeutumisen, sekä pelkistymisen vaikutuksesta aineet eivät käytännössä kulkeudu savessa kiinteässä muodossa, vaan savi toimii aineen kulkeutumiselle puskurikerroksena.

Aineiden kulkeutumisen kannalta merkittävin kulkeutumisen muoto on liuenneena veteen, jolloin veden virtausnopeus vaikuttaa aineiden kulkeutumisalueen laajuuteen. Paremmiin vettä johtavissa maakerroksissa vesi ja sen kuljettamat aineet voivat kulkeutua laajemmalle alueelle. Saven huonon vedenjohtavuuden vuoksi aineiden kulkeutuminen on erittäin hidasta, joten sideaineen leviäminen savikerroksessa jää vain paikalliseksi ilmiöksi (joitakin senttimetrejä). Tietoja stabiloimattoman ja stabiloidun saven vedenläpäisevyydestä on esitetty luvussa 3.2.

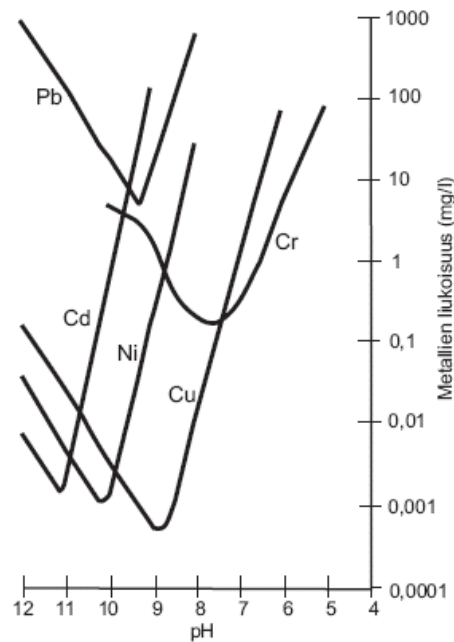
Sideaineen ja maan seoksen lujittuminen on vettä kuluttava reaktio, jonka seurauksena valmiin pilarin huokostila ei ole vedellä kyllästynyt. Pilareita ympäröivä savi on vedellä kyllästynyt eli sen huokostila on veden täyttämää pohjavesipinnan alapuolella. Stabiloidun maan vedellä kyllästymättömän huokostila vastustaa veden virtausta.

Systeemin pH:n ollessa liukoisuuden kannalta otollisessa muodossa, aine muuttuu liukoiseen muotoon. Syvästabiloinnissa sideaine nostaa paikallisesti maaperän ja huokosveden pH-tasoa eli maaperä ja huokosvesi muuttuvat emäksisiksi. Systeemin pH:n nousu tapahtuu pääosin vedessä. Nouseen pH-tason myötä maa-aineksessa olevat aineet voivat liueta kiinteästä liukoiseen muotoon. Maasta liuenneet aineet voivat yhdistyä valmiiseen reaktiotuotteeseen. Kaikki liennut aine ei muodosta sideaineen kanssa reaktiotuotetta vaan voi kulkeutua liukoisessa muodossa vedenvirtauksen mukaisella nopeudella (erittäin hitaasti savessa ja siltissä sekä savi- ja silttimoreenissa, muissa maalajeissa nopeammin). Maasta liuenneiden aineiden osa, joka sitoutuu reaktiotuotteeksi, vaihtelee sideaineesta, maaperästä ja aineesta riippuen.

pH-tason nousu tapahtuu kaikissa stabiloiduissa maa-aineksissa. Aineiden liukenemiseen vaikuttaa voimakkaasti pH. Kuvassa 5.1. on esitettyä eräiden metallien liukoisuuden riippuvuus pH:sta. Eri sideaineilla ja erityisesti niiden määrillä on vaikutusta stabiloidun maan emäksisyyteen. Stabiloidusta maasta liukenevat aineet vaihtelevat sen mukaan mitä aineita maassa on.

Maaperässä olevan heikommin vettä johtava kerros, esim. savi, estää vajoveden kulkeutumisen savikerroksen alapuoliseen kitkamaakerrokseen pohjavedeksi, jolloin voi muodostua orsivesikerros. Orsivesikerroksessa olevien aineiden kulkeutumista pohjaveteen tiiviin savikerroksen läpi on hidasta tai sitä ei tapahdu. Savikerroksen päällä oleva karkearakeisen täyttökerros voi mahdollistaa orsiveden kulkeutumisen vaakasuuntaisesti.

Mikäli sideaineen pääsee pintaveteen, aine kulkeutuu veden mukana. Pintavesissä vedenkulkeutumisnopeus on selkeästi suurempi pohjaveden virtausnopeuteen verrattuna. Sideaineen kulkeutuminen pintavesiin voi tapahtua esim. sideaineen sideainesäiliöön tankkauksessa tapahtuvan letkuvaurion tms. takia.



Kuva 5.1 pH:n vaikutus eräiden metallien liukoisuuteen. Esimerkiksi kuparin (Cu) liukoisuus on pienimmillään, kun pH on 9, kun ympäristön pH pienenee tai kasvaa, liukoisuus kasvaa. (Sarkila ym. 2004. alk. Wilk 1997)

5.2 Ympäristöseurantatuloksia

Tässä kappaleessa on esitetty pilaristabiloinnin ympäristöseurantatutkimusten kokemuksia ja tuloksia tiivistettynä. Tarkemmat tutkimuskohteiden kuvaukset on esitetty liitteessä 2.

5.2.1 Kokonaispitoisuudet

Syvästabiloinnissa sideaineet lisäävät stabiloitavan runkoaineen kokonaispitoisuuksia. Sideainemäärällä ja sen pitoisuuksilla sekä itse runkoaineen pitoisuuksilla on luonnollisesti merkitystä, millaiseksi stabiloidun massan kokonaispitoisuudet muotoutuvat. Taulukoissa 5.1 ja 5.2 on esitetty kahden kohteen pilareiden ja stabiloidun runkoaineen kokonaispitoisuuksia. Molemmissa kohteissa on olemassa olevan tiedon perusteella vain luonnonsavia ja pitoisuudet vastaavat taustapitoisuuksia. Kohteiden tutkimustuloksista on näin ollen mahdollista nähdä sideaineiden tuoma pitoisuuslisä stabiloituun saveen. Ensimmäinen kohde sijoittuu Helsinkiin Kuninkaantammen ja toinen Turkuun Topinpuistoon.

Runkoaineen kokonaispitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin sideaineen ja saven seoksen kokonaispitoisuuksiin (taulukko 5.1). Pelkästä savesta mitatut kynnysarvon ylittävät arseenin, kobolttin, nikkelin ja vanadiinin pitoisuudet toistuvat myös stabiloidussa savessa. Sideaineista ei aiheudu edellä mainittuihin raskasmetalleihin merkittäviä pitoisuuslisä, vaan pitoisuudet pysyvät likimäärin taustapitoisuuden tasolla. Merkittävin pitoisuuslisä näyttää tulevan sideaineista, jotka sisältävät eniten tuhkaa. Saven taustapitoisuudet kromille alittavat kynnysarvopitoisuuden, mutta ylittävät sen stabiloidussa savessa. Pitoisuusylitys on kuitenkin varsin maltillinen, kynnysarvotasoa tai hieman yli. Taulukkoon 5.3 on koottu vastaavia tuloksia Turun Topinpuiston koestabilointikohteesta. Stabilointipilareiden sekä saven metallipitoisuudet olivat kynnysarvoja pienempiä. Poikkeuksena arseenin pitoisuus, joka ylitti kynnysarvon jokaisessa tutkitussa stabilointipilarissa, mutta oli lähes samalla tasolla kuin Topinpuiston kontrollisavella. Turun alueella arseenin luontainen pitoisuus (12,9 mg/kg) on Vna 214/2007 arseenin kynnysarvotasoa (5 mg/kg) korkeampi (Tarvainen ym., 2019).

Taulukko 5.1 Syvästabiloinnin kaupallisten sideaineiden, lentotuhkien ja rikinpoiston lopputuotteen kokonaispitoisuuksia verrattuna maaperän pilaantuneisuuden arviointiin käytettyjä raja-arvoja (PIMA-asetus). Soveltuvia, käytettäviä raja-arvoja syvästabiloinnin sideaineille ei toistaiseksi ole. Sideaineiden valmistajat: Nordkalk Terra – GTC ja POZ, Ecolan – InfraStabi ja Finnsementti – Oiva (CEM II) ja SR-sementti (CEM I).

Vertailuarvot			Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	Al	Ba	Ca	Fe	Mn	Mo	Mg	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Taustapitoisuus			0,02	1	0,005	0,03	8	31	22	5	17	31	38										
Kynnysarvo			2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alempi ohjearvo			10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ylempi ohjearvo			50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sideaine	pH ilmoitettu	pH mitattu	mg/kg																			mg/l	
Terra GTC ^a	11–13,5	12,9	1	4	<0,1	<0,2	11	22	26	6	19	80	35	9 200	72	210 000	8 000	280	<2	-	-	-	-
Terra POZ ^a	11–13,5	13,0	1	6	<0,1	<0,2	14	28	30	9	24	93	44	12 000	150	400 000	10 000	450	<2	-	-	-	-
InfraStabi80 ^a	-	12,9	4	11	0,24	0,36	12	30	80	18	33	160	46	25 000	560	190 000	16 000	530	13	-	-	-	-
Oiva ^a	11–13,5	13,0	2	11	<0,1	0,28	31	48	81	14	47	160	100	18 000	140	290 000	14 000	430	8	-	-	-	-
SR-sementti ^b	11–13,5	-	<10	<10	<0,2	<0,4	72	90	220	11	100	67	45	15 000	150	380 000	24 000	120	<10	-	-	-	-
CEM III A ^b	11–13,5	12,6	<10	<10	0,3	<0,4	22	40	52	<5	28	98	240	36 000	200	310 000	10 000	870	<10	-	-	-	-
LT1 ^a	-	-	5	100	1,0	6	23	120	260	260	86	1 400	160	53 000	1 500	-	32 000	2 500	8	-	-	-	-
LT2 ^c	-	12,6	14	35	<0,2	2	-	59	230	53	42	510	65	38 000	640	130 000	57 000	1200	<10	1200	-	-	-
LT3 ^c	-	12,7	49	16	0,3	5	-	102	370	107	59	778	43	23 920	204	89 360	28 270	1710	12	1710	-	-	-
LT4 ^c	-	9,8	<1	90	<0,2	2	-	64	57	25	21	82	78	29 900	322	26 650	106 200	959	10	959	-	-	-
LT5 ^c	-	12,9	<1	9	<0,2	2	-	42	91	19	31	494	57	24 130	959	114 000	363 380	6702	<10	6702	-	-	-
LT6 ^c	-	11,8	<1	39	0,3	1	-	27	42	13	59	132	33	29 110	1137	32 790	39 210	267	<10	267	-	-	-
LT7 ^c	-	11,9	<1	45	0,5	1	-	34	28	14	44	107	73	25 030	1106	28 520	33 020	304	11	304	-	-	-
LT8 ^c	-	12,9	2	2	<0,2	6	-	36	67	13	19	1341	15	46 210	280	210 800	12 930	8167	<10	8167	-	-	-
LT9 ^c	-	12,9	3	30	0,3	10	-	71	117	178	37	1986	43	38 650	482	200 900	23 650	8198	11	8198	-	-	-
LT10 ^c	-	12,9	<1	12	0,6	3	-	48	83	24	30	454	74	26 370	391	202 000	26 640	2756	<10	2756	-	-	-
RPT ^c	-	11,4	<1	7	1,2	<0,3	-	9	6	5	8	37	15	5 027	121	278 800	3 538	124	<10	124	-	-	-

^aLähde: Turku Lauttaranta

^bLähde: Rauma Järviluoto

^cLähde: Lindroos et al. 2016

Taulukko 5.2. Esimerkki stabilointipilareiden kokonaispitoisuuksista sekä saven taustapitoisuuksista (viitearvot Vna 214/2007) Helsingin Kuninkaantammen kohteessa (Reijonen 2021).

Sideainemäärä kaikissa tutkituissa pilareissa 120 kg/m ³			Kuiva-	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	pH
			aine												
		taustapit.		0,02	1	0,005	0,03	8	31	22	5	17	31	38	
		kynnysarvopit.	-	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100	-
		alempi ohjearvo	-	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150	-
		ylempi ohjearvo	-	50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250	-
			%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
Sideaine	Etäisyys pilarista (cm)	Näytteen oton syvyys (m)	Kuiva-aine	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	pH
Kontrolli savi 2,5 m		2,5	55,90 %	<1,0	7	<0,20	<0,30	24	90	56	9	52	111	104	8
Kontrolli savi 5,0 m		5,0	59,50 %	<1,0	6	<0,20	<0,30	19	72	40	7	36	102	79	8
TerraGreen	pilari	2,4-3,4	62,90 %	<0,50	4	<0,20	<0,40	17	84	69	16	49	143	80	11
UPM LT JAM	pilari	2,1	63,00 %	1	6	<0,20	<0,40	17	79	53	15	48	135	77	11
UPM LT KAI	pilari	1,9-2,7	59,80 %	1	4	<0,20	<0,40	18	92	64	14	47	123	93	10
TerraPOZ	pilari	2-3	61,20 %	<0,50	4	<0,20	<0,40	16	79	54	12	40	100	73	12
Ecolan stabi80	pilari	2-3	62,80 %	2	7	<0,20	<0,40	16	68	49	13	38	106	72	11
GTC	pilari	2	65,90 %	1	3	<0,20	<0,40	11	51	39	8	25	84	58	12

Taulukko 5.3. Esimerkki stabilointipilareiden kokonaispitoisuuksista sekä saven taustapitoisuudesta (viitearvot Vna 214/2007) Turun Topinpuiston kohteessa (Leinonen 2022).

Parametri	Yksikkö	Viitearvot	Topinpuiston savi 3-4 m syksy 2021	KAU LT + CEMII 2,5-3,5	Terra Green 2,75-3,25	TerraPOZ 2,75-3,25	GTC 2,75- 3,25	GTC3 2,75- 3,25
		Kynnysarvo						
			Kok.pit.	Kok.pit.	Kok.pit.	Kok.pit.	Kok.pit.	Kok.pit.
Antimoni	mg/kg ka	2	<1,0	<1	<1	<1	<1	<1
Arseeni	mg/kg ka	5	7,5	7,9	6,6	5,3	7,8	6,1
Barium	mg/kg ka			208,1	139,9	111,1	161	137,8
Elohopea	mg/kg ka	0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Kadmium	mg/kg ka	1	<0,3	0,8	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Kromi	mg/kg ka	100	70,5	52,6	46,9	39,6	54,2	43,9
Kupari	mg/kg ka	100	37,6	33,7	26,1	21,7	28,8	20,6
Lyijy	mg/kg ka	60	10,5	9,1	7,4	6,4	10,3	6,2
Molybdeeni	mg/kg ka		<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nikkeli	mg/kg ka	50	33,5	30,2	27,6	21,7	30,3	22,7
Sinkki	mg/kg ka	200	94,7	115,3	66,6	56,2	78,8	56,9
Vanadiini	mg/kg ka	100	70,6	61,5	61,7	51	54,9	56
Koboltti	mg/kg ka		18,2	16	15,9	12,9	17,4	13,2
PAH	mg/kg ka	15	<3,0	<3	<3	<3	<3	<3
Kokonais- syanidi			<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

5.2.2 Liukoiset pitoisuudet

Koska sideaineet nostavat syvästabiloitavan maan pH:ta, on tullut tarpeelliseksi määrittää myös liukoisten pitoisuuksien muutos stabiloinnin yhteydessä. Perinteisesti liukoiset pitoisuudet on testattu haitta-aineita sisältävien ruoppausmassojen stabiloinnin ja siihen liittyvän ympäristölupamennettelyn yhteydessä. Nyt todentamisen tarve on laajentunut myös "puhtaiden" maa-ainesten syvästabiloinnissa käytettävien uusiosideaineiden testaamiseen. Taulukoissa 5.4–5.6 esitetään koostetulokset Kuninkaantammen ja Topinpuiston koestabilointikohteista, joissa molemmissa on testattu merkittävä määrä erilaisia uusiosideaineita.

Taulukko 5.4. Helsinki, Kuninkaantammi. Metallien liukoiset pitoisuudet (mg/kg ka.) stabiloimattomassa savessa ja ylös nostetuissa pilareissa (2-vaiheinen ravistelutesti). Selitteet: sininen numerointi = pysyvän jätteen liukoisuus ylittyy (VNa 331/2013) ja hakasulut = 2-vaiheisen ravistelutestin toinen mittaus alle määritysrajan.

Parametri	Kaatopaikkakelpoisuuden viitearvot		Kuninkaantammen savi (2,5 m)	TerraGreen (2,4-3,4 m)	UPM LT JAM (2,1 m)	UPM LT KAI (1,9-2,7 m)	TerraPOZ C312 (2-3 m)	Ecolan stabi80 (2-3m)	GTC (2-3 m)
	Pysyvä jäte	Tavanom ainen jäte							
	L/S 10	L/S 10							
Antimoni	0,06	0,7	<0,05	[0.00800; 0.0120]	[0.00800; 0.0120]	[0.00862; 0.0132]	[0.00800; 0.0120]	[0.00800; 0.0120]	[0.00800; 0.0120]
Arseeni	0,5	2	<0,1	0,015	0,0136	0,044	[0.00800; 0.0120]	0,0303	[0.00819; 0.0123]
Barium	20	100	<4,0	0,741	0,647	0,328	1,05	0,503	0,217
Elohopea	0,01	0,2	<0,002	[0.0000800; 0.000120]	[0.0000800; 0.000120]	[0.0000800; 0.000120]	[0.0000800; 0.000120]	[0.0000800; 0.000120]	0,000161
Kadmium	0,04	1	<0,01	[0.00400; 0.00600]	[0.00400; 0.00600]	[0.00400; 0.00600]	[0.00400; 0.00600]	[0.00400; 0.00600]	[0.00400; 0.00600]
Kromi	0,5	10	<0,1	[0.0400; 0.0600]	[0.0400; 0.0600]	0,136	[0.0400; 0.0600]	0,0729	[0.0432; 0.0635]
Kupari	2	50	<0,4	0,121	0,115	0,229	0,094	0,0843	0,137
Lyijy	0,5	10	<0,1	[0.00800; 0.0120]	[0.00800; 0.0120]	[0.00800; 0.0120]	0,0145	[0.00800; 0.0120]	0,0169
Molybdeeni	0,5	10	<0,1	0,619	0,513	0,807	0,105	2,16	0,351
Nikkeli	0,4	10	<0,1	0,05	[0.0279; 0.0402]	0,113	0,0441	[0.0268; 0.0394]	0,0958
Seleen	0,1	0,5	<0,03	[0.0400; 0.0600]	[0.0400; 0.0600]	0,0685	[0.0400; 0.0600]	[0.0442; 0.0650]	[0.0400; 0.0600]
Sinkki	4	50	<0,8	0,477	0,0975	0,272	0,409	0,169	0,143
Vanadiini				0,101	0,148	1,03	[0.0400; 0.0600]	0,409	0,097

Taulukko 5.5. Helsinki, Kuninkaantammi. Muita liukoisia parametreja (mg/kg ka.) stabiloimattomassa savessa sekä ylös nostetuissa pilareissa (2-vaiheinen ravistelutesti). Selitteet: sininen numerointi = pysyvän jätteen liukoisuus ylittyy (VNa 331/2013) ja hakasulut = toinen mittaus alle määritysrajan. DOC = Liukoinen orgaaninen hiili.

Parametri	Kaatopaikkakelpoisuuden viitearvot		Kuninkaanta (2,5 m)	TerraGreen (2,4-3,4 m)	UPM LT JAM (2,1 m)	UPM LT KAI (1,9-2,7 m)	TerraPOZ C312 (2-3 m)	Ecolan stabi80 (2-3m)	GTC (2-3 m)
	Pysyvä jäte	Tavanom ainen jäte							
	L/S 10	L/S 10							
DOC	500	800	<100	32,3	41,8	47,5	55,9	41,7	40,6
Kloridi	800	15000	<160	64,4	34,6	37,5	18,6	60,9	19
Sulfaatti	1 000	20000	451	153	110	327	[5.58; 8.19]	418	998
Fluoridi	10	150	<2,0	5,82	5,01	10,4	2,78	4,1	4,97

Taulukko 5.6. Turku, Topinpuisto. Metallien liukoiset pitoisuudet stabiloimattomassa savessa ja ylös nostetuissa pilareissa (2-vaiheinen ravistelutesti). Selitteet: sininen numerointi = pysyvän jätteen liukoisuus ylittyy (VNA 331/2013).

Parametri	Yksikkö	Jätteen kelpoisuuskaavat		Topinpuiston savi 3-4 m syksy 2021	KAU LT + CEMII 2,5-3,5	Terra Green 2,75-3,25	TerraPOZ 2,75-3,25	GTC 2,75-3,25	GTC3 2,75-3,25
		Pysyvä jäte	Tavanomainen jäte						
		Liukoisuus L/S 10	Liukoisuus L/S 10						
Antimoni	mg/kg ka	0,06	0,7	<0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Arseeni	mg/kg ka	0,5	2	<0,1	0,8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Barium	mg/kg ka	20	100	<4,0	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
Elohopea	mg/kg ka	0,01	0,2	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Kadmium	mg/kg ka	0,04	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kromi	mg/kg ka	0,5	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Kupari	mg/kg ka	2	50	<0,4	0,6	0,8	1	<0,4	1,1
Lyijy	mg/kg ka	0,5	10	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,7
Molybdeeni	mg/kg ka	0,5	10	0,1	0,6	0,3	0,4	<0,1	0,7
Nikkeli	mg/kg ka	0,4	10	<0,1	0,3	0,5	0,3	<0,1	0,8
Seeleni	mg/kg ka	0,1	0,5	<0,03	0,04	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Sinkki	mg/kg ka	4	50	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Vanadiini	mg/kg ka			<0,4	1,7	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Koboltti	mg/kg ka			<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
		Muut ominaisuudet							
DOC	mg/kg ka	500	800	<100	<100	<100	106	<100	232
Kloridi	mg/kg ka	800	15000	612	732	514	364	168	665
Sulfaatti	mg/kg ka	1 000 ⁽¹⁾	20000	397	1862	<200	<200	1657	3370
Fluoridi	mg/kg ka	10	150	2,2	3,5	3,4	<2	<2	<2
pH, alku (L/S 2)				7,9	10,8	12,1	12,4	11,3	11,7

Kuninkaantammen kohteessa liukoiset pitoisuudet olivat pääsääntöisesti huomattavan pieniä, alle pysyvän jätteen raja-arvojen. Stabilointipilareissa määritysrajan ylittivät ainoastaan: arseeni, barium, elohopea (Terra GTC), kromi (InfraStabi 80, UPM LTKAI), kupari, lyijy (Terra POZ, Terra GTC), molybdeeni, nikkeli, seleeni (UPM LT KAI), sinkki ja vanadiini. Liukoinen arseeni, nikkeli ja vanadiini voivat osin olla peräisin savesta, koska emäksisissä olosuhteissa niiden liukoisuus tehostuu. Pysyvän jätteen liukoisuudet ylittyivät molybdeenin osalta muilla uusiosideaineilla, mutta ei pitkään käytössä olleella GTC:llä.

Myös muut testatut liukoisuusominaisuudet olivat pitoisuuksiltaan selkeästi esitettyjä ympäristökriteerejä pienempiä. Fluoridipitoisuudet stabilointipilareissa olivat savimaata suurempia, ja todennäköisesti sideaineista peräisin. Pääosin pitoisuudet olivat pienempiä, kuin pysyvälle jätteelle esitetyt liukoisuusarvot. Uusiosideaineella UPM LT KAI stabiloidun pilarin fluoridipitoisuus oli kaksinkertainen verrattuna sideaineella Terra GTC stabiloituun pilariin. Havaittu pitoisuus oli pysyvän ja tavanomaisen jätteen pitoisuusrajalla. Sulfaattipitoisuudet pilareissa olivat osin taustapitoisuuksia eli saven pitoisuuksia pienempiä (Terra Green, UPM LT JAM, UPM LT KAI, Terra POZ) ja osin samaa luokkaa (InfraStabi80). Sideaineella GTC stabiloidun pilarin sulfaattipitoisuus oli muilla uusiosideaineilla stabiloituja pilareita suurempi ja kaksinkertainen suhteessa taustapitoisuuteen.

Liukoisesta orgaanisesta aineesta (DOC) ja kloridin määritysrajat pelkälle savelle ovat niin korkeita, että vertaaminen taustapitoisuuksiin ei ole tarkoituksenmukaista. Kloridipitoisuudet stabiloiduissa pilareissa olivat hyvin pieniä suhteessa viitearvoihin. Pitoisuuksissa oli hieman vaihtelua riippuen millä sideaineella stabilointi oli toteutettu. Liukoisesta orgaanisesta hiilen pitoisuus vaihteli välillä 32–56 mg/kg. Todennäköisesti orgaaninen aine on peräisin savesta ja sen liukoisuus on lisääntynyt sideaineiden pH:ta nostavan vaikutuksen seurauksena. Stabiloitujen pilareiden ravisteluliukokset (L/S 2) olivat hyvin emäksisiä, pH n.12.

5.2.3 Pohjavesitarkkailun tulokset

Tässä luvussa on esitetty pohjavedentarkkailun tuloksia eri kohteista ja tutkimuksista. Tarkemmat kohde-esittelyt ovat liitteessä 2.

Falkulla, Lallukka, Naulakallio, Tankovainio ja Fallpakka ja Varisto (1999–2022)

Työssä tutkittiin ja analysoitiin kuutta pilaristabilointikohdetta, joista viisi sijaitsee Helsingissä ja yksi Vantaalla. Kohteet olivat Falkulla, Lallukka, Naulakallio, Tankovainio, Fallpakka ja Varisto (Luhitie). Pohjavesinäytteet otettiin keväällä 2022 ja Helsingin kohteista seurantamittausnäytteet syksyllä 2022. Tutkitut Helsinkiin sijoittuvat kohteet on stabiloitu 6–24 vuotta ennen näytteiden ottoa. Vantaalla näytteenotto toteutettiin stabilointiurakan ollessa edelleen käynnissä. Mittauksissa todettiin kalsiumin pitoisuuden lisääntyneen pohjavedessä stabiloinnin seurauksesta. Lisäksi havaittiin viitteitä liukoisen arseenin, nikkelin, kromin ja natriumin pitoisuuksien noususta ylä- ja alavirran mittauspisteiden välillä. Sideaineet voivat sisältää pieniä pitoisuuksia kromia, nikkeliä ja arseenia. Viitteet kohonneista pitoisuuksista voivat olla sideaineperäistä tai aineiden liukenemista maa-aineksesta. Ympäristön laatu normien (Vna 341/2009) ylittäviä pitoisuuksia todettiin arseenilla ja kobollilla. Kokonaispitoisuuksista valtaosa mitattiin ei liukoisessa muodossa. Kokonaispitoisuuksista noin kaksi kolmesta ylitti ympäristölaatu normeissa esitetyn pitoisuuden. Ympäristölaatu normit eivät ota huomioon esiintykö aine liukoisessa vai kiinteässä muodossa. (Valjakka 2022)

Strömstad, Ruotsi (2012)

Åhnberg & Larsson (2012) tutkivat kalkkisementti- ja kalkkisementtituhkasidaineilla tehdyn pilaristabiloinnin vaikutusta pohjaveteen viiden vuoden ajan stabiloinnista. Pohjavesinäytteistä havaittiin viitteitä sinkin, lyijyn ja kuparin pitoisuuksien kasvamisesta mittausjakson aikana. Lyijyn ja kuparin pitoisuudet laskivat viidennen vuoden mittauksessa. Sinkin pitoisuudet nousivat koko mittausjakson ajan. Kalkkisementtituhkapilarien ulkopuolisella alueella pitoisuusarvot nousivat hieman enemmän kuin kalkkisementtipilarien kohdalla. Tulokset eivät viittaa eri aineiden hälyttäviin pitoisuuksiin. Mittaustulosten hajonta kasvattaa mittaustulosten analyysin epävarmuutta. Mittauksissa pH:n havaittiin alueella nousevan hitaasti, mikä osoittaa, että pilareiden vaikutus ympäristön pH-arvoon on hidas prosessi.

Lahelanpelto (2020)

Tuusulassa Lahelanpellossa II toteutettiin asemakaava-alueen rakentaminen pohjavesialueella. Alueen pilaristabilointityö kesti kokonaisuudessaan vuoden. Stabiloinnissa käytetty sideaine oli Nordkalk Terra GTC. Pohjaveden laatua tarkkailtiin työn aikana ja vuoden stabilointityön lopettamisen jälkeen. Pohjavesinäytteet täyttivät STM:n (Sosiaali- ja terveysministeriö) talousvesiasetuksen laatuvaatimukset ja -tavoitteet koko mittausajanjakson ajan. Vesinäytteissä havaittiin pH-arvon nousua, joka ei estä pohjaveden käyttöä talousvetenä. Osassa mittauspisteistä havaittiin kalsiumin, natriumin ja sulfaatin pitoisuuksista nousua. Mitatut pitoisuudet laskivat stabiloinnin lopettamisen jälkeen. Lisäksi bariumin, kromin ja sinkin pitoisuudet nousivat seurannan aikana lievästi. (Kiviniemi 2020)

Kuninkaantammi (2020)

Helsingissä Kuninkaantammessa suoritettiin koepilaristabilointi kuudella eri sideaineella (Stolze ja Reinikainen 2022). Sideaineet olivat Nordkalk Terra GTC (CEM II), Nordkalk Terra Green, Nordkalk Terra POZ, Ecolan InfraStabi80, UPM LT KAI (LT+CEM II 7:3, KAI = Kaipola) ja UPM LT JAM (LT+CEM II 7:3, JAM = Jämsänkoski). Koestabiloinnin läheisyydestä on otettu kahden vuoden ajan pohjavesinäytteitä analysointia varten. Lisäksi pilareita nostettiin ylös ja mitattiin pilarien liukoisuuksia ja ympäröivän saven metallipitoisuuksia ja pH-arvoja. pH-arvon nousua ei havaittu 4 senttimetriä kauempana pilarien ulkoreunasta. Pohjavesinäytteistä havaittiin vähäistä antimoniin, kobolttin ja nikkelin pitoisuuksien nousua, jotka voivat selittyä stabilointityön vaikutuksina.

Topinpuisto (2022)

Turussa Topinpuistossa toteutettiin koepilaristabilointi uusiosideaineilla. Käytetyt sideaineet olivat Nordkalk Terra GTC2 (CEM II) ja GTC3 (CEM III/A), Nordkalk Terra Green, Nordkalk Terra POZ ja KAU LT (LT+CEM II 7:3, KAU = Kaukas). Koetoiminnan yhteydessä on toteutettu ympäristöntarkkailua pohja- ja pintavesistä. Koestabiloinnissa käytetyistä sideaineista ei-kaupallinen oli Kaukaan Voiman lentotuhkan ja sementin seos, jolla stabiloitujen savien pitoisuudet alittivat sekä koetoimintapäätöksessä asetetut raja-arvot että MASA-asetusluonnoksen 2018 ja tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot. Kaikkien koetoiminnassa käytettyjen sideaineiden vaikutukset stabiloituja pilareita ympäröivään saveen sekä pinta- ja pohjaveteen jäivät merkityksettömiksi. (Leinonen 2022)

Malminkenttä (2023)

Helsingin Malminkentällä on toteutettu koestabilointi 08-09/2022, sekä tämän yhteydessä tehty ympäristön seuranta sisältäen ennakkokokeita alueen savesta. Pohjaveden pitoisuuksia mitataan kuudesta pohjavesiputkesta, jotka on asennettu pareittain, sekä kontrollipisteistä. Pohjavedestä on otettu nollanäytteet toukokuussa 2022, stabiloinnin aikana 9/2022, ja seurantanäytteet 4/2023 ja 9/2023. Vuoden seurannan perusteella pinta- ja pohjavedessä ei ole todettu mitään laatumuutoksia. Vaihteluväli pH:ssa on ollut 7,8...8,4 vaihtelun ollessa $\pm 0,2$ yksikköä. Stabiloinnilla ei ole nähtävää vaikutusta. (Järvinen 2023b)

Yhteenveto, pohja- ja pintavesihavainnot

Pohjavedentarkkailun seurantatutkimusten perusteella pilaristabilointi ei vaikuta pohjaveden pH-arvoon pitkällä aikavälillä tai vaikutus on merkityksetön. Useammassa tutkimuksessa todettiin näytteissä esiintyvän liukoisen kalsiumin, joka on useissa pilaristabiloinnissa käytetyissä sideaineissa pääaines, kohonnutta pitoisuutta. Kalsiumin ei ole esitetty olevan ympäristölle haitallinen aine. Vesinäytteistä mitatut kalsiumin pitoisuudet ovat olleet maltillisia, ja samaa suuruusluokkaa, jota esiintyy myös luonnontilaisissa pohjavesinäytteissä. Mittausten perusteella pilaristabilointi ei vaikuta nostavan metallien ja muiden aineiden pitoisuuksia. Eri tutkimuksissa havaittiin viitteitä mm. natriumin ja kromin pitoisuuksien kasvua. Tuloksissa ei esiinny kalsiumin lisäksi muita aineita, joiden pitoisuuden noususta olisi viitteitä useammassa tutkimuksessa.

6 Massa- ja prosessistabilointi maa-ainesten jalostamisessa

6.1 Jalostamisen tavoite

Massa- ja prosessistabiloinnissa tavoitteena on koko maakerroksen alueen tai ruoppausmassalla täytetyn altaan maa-aineksen jalostaminen kauttaaltaan rakentamiseen soveltuvaksi alueeksi tai materiaaliksi ja ympäristön kannalta turvallisiksi. Tavoite on yleensä siis kahtalainen: maa-aineksen teknisiä ominaisuuksia parannetaan ja ympäristökelpoisuutta lisätään, erityisesti kun jalostettava materiaali sisältää haitta-aineita.

Jalostaminen massa- ja prosessistabiloinnilla muuttaa rakentamiseen heikkolaatuisen maa-aineksen, saven, siltin tai liejun kiinteämpään ja kuivempaan muotoon, joka mahdollistaa alueen rakentamisen mm. satamakentäksi, varastoalueeksi tai muuhun pinta-alaa edellyttävään tarkoitukseen.

Jalostamisella on hyödyntämistä edistävä tarkoitus. Aiemmin heikkolaatuisten maa-ainesten, joihin mm. silttipitoiset ruoppausmassat ovat tyypillisesti kuuluneet, läjittäminen on tehty mereen tai merestä eristettyyn altaaseen. Ruoppausmassoille tyypillisessä meriläjityksessä maa-ainesta ei hyödytä materiaalina ja meriläjitys voi aiheuttaa haittaa meriekosysteemille. Altaisiin läjitettynä ruop-

pausmassatäytöillä on luotu uutta maa-alueita, joka kuitenkin jää nk. vesijättömaaksi ilman hyödyntämistarkoitusta tai hyödynnetyllä alueella tarvitaan jatkuvaa kunnossapitoa, kuten esimerkiksi Kotkassa sijaitsevalla Hietasen autokenttien alueella, jossa stabiloimattoman ruoppausmassan on arvioitu painuvan yli 1,8 m jatkuvaa korotusta vaativan kentän päällysrakenteen alla (Vulko 2010). Jalostaminen massastabiloimalla mahdollistaa maa-aineksen käytön materiaalina ja luo edellytyksiä muulle rakentamiselle.

6.2 Jalostuksen vaikutus aineiden liukoisuuteen

Haitta-ainepitoisten ruoppausmassojen ja pima-maiden jalostuksen vaikutus eri haitta-aineiden liukoisuuteen on sama kuin kappaleessa 5.1. "Pilaristabiloinnin paikalliset ympäristövaikutukset". Haitta-aineiden liukoisuus riippuu sekoitetun maa-aineen + sideaineseoksen pH-Eh olosuhteista (pH = happamuus, Eh = pelkistyspotentiaali) sekä yhdisteiden, joihin haitta-aineet ovat sitoutuneet, pysyvyydestä. Eri yhdisteet ja haitta-aineet voivat käyttäytyä syntyvässä seoksessa hyvin eri tavoin, joten erityisesti haitta-ainepitoisten maa-ainesten ympäristökelpoisuus on varmistettava ta-pauskohtaisesti.

Liukoisuuden lisäksi ympäristökelpoisuutta säätelee kulkeutuminen. Jalostettu siltti, savi tai lieju on tyypillisesti huonosti vettä läpäisevää, jolloin kulkeutuminen veden mukana on erittäin hidasta ja vaikutukset jäävät hyvin paikalliseksi kuten pilaristabiloinnissakin. Lisätarkasteluna ympäristökelpoisuuden selvittämisessä on käytetty haitta-aineita sisältävien ruoppausmassojen sijoittamisessa riskinarviota. Menetelmä on kuvattu liitteessä 1.2.

Stabiloidun seoksen pH on tyypillisesti emäksinen. Tuhkasideaineilla seoksen pH jää yleensä pienemmäksi kuin runsaasti kalkkia sisältävillä sideaineilla. Reseptointi aloitetaan selvittämällä seoksen teknistaloudellinen toteutettavuus eri sideaineilla ja niiden määrillä. Ympäristökelpoisuuden testaaminen tehdään seoksille, joiden tekninen lujuus ja muut ominaisuudet ovat kohteeseen soveltuvia.

6.3 Laadunvarmistus pilaantuneen maan tai ruoppausmassan massastabiloinnissa

Metsä- ja energiateollisuuden lentotuhkia ja kipsiä voidaan käyttää yhdessä kaupallisten sementti- ja kalkkituotteiden kanssa massastabiloinnin sideaineena. Joissain tapauksissa massastabilointi on mahdollista toteuttaa pelkästään lentotuhkaa käyttäen (Ramboll, 2014).

Kun massastabiloidaan haitta-aineita sisältäviä ruoppausmassoja, on ympäristöluvuissa annettu määräyksiä haitta-aineiden liukoisuuksille sekä stabiloidun materiaalin vedenläpäisevyydelle. Näillä määräyksillä tavoitellaan haitta-aineiden ympäristöön kulkeutumisen ehkäisyä. Soveltuvia raja-arvoja tarkastellaan mm. riskinarvioinnissa. Mikäli riskinarvioinnilla ei muuta ole osoitettu, on ympäristöluvuissa määrätty liukoisuusraja-arvoksi pysyvän jätteen raja-arvot. Suurimman sallitun vedenläpäisevyyden suuruusluokaksi on useissa tapauksissa määrätty $k = 5 \times 10^{-8}$ m/s.

Massastabilointi toteutetaan aina rakennussuunnitelman, jossa esitetään mm. kohteen perustiedot, stabiloinnin laajuus (alue, syvyys), sideaineresepti, tavoitelujuus, mahdollisen lisärunkoaineen tai täyteaineen käyttäminen, työjärjestys, tiivistys- ja painopenger, kuivatus, työturvallisuus, laadunvalvonta, yms. asiat, mukaisesti. Suunnittelun periaatteita on esitetty luvussa 3.

Rakennussuunnitelmassa esitetyn lisäksi ympäristöluvuissa edellytetään usein ennen stabilointia esitettävän liukoisuustasot ja muut kohteen stabiloituvuustekijöiden yhteydessä havaitut lisätiedot. Olennainen osa stabilointisuunnitelmaa ja ympäristölupahakemusta on laadunvalvonnan kuvaaminen. Haitta-aineita sisältävän ruoppausmassan ja jätteeksi luokiteltavien sideaineiden tapauksissa laadunvalvonta sisältää sekä teknisen toteutuksen laadun todentamista että ympäristökelpoisuuden

osoittamista. Esimerkki laadunvalvonnassa käytettävistä testeistä ja niiden määristä on esitetty taulukossa 6.1. Esimerkki on poimittu Turun Lauttarannan ympäristöluvasta.

Taulukko 6.1 Esimerkki massastabiloinnin laadunvalvontatestauksesta ja testausmääristä. Lähde: Turku Lauttaranta, ympäristöluvapäätökset Nro 441/2020 ja 378/2022.

Testauskohde	Testaustaaajuus	Analyysi	Muuta
Runkomateriaalin tekniset luokitteluo-minaisuudet so-luun läjitetystä massasta	10 näytettä / 5000 m ³	vesipitoisuus, hehikutushä-viö, rakeisuus, tiheys	Todennetaan massan laa-dun vastaavuus ennakko-testien runkoaineisiin, mi-käli runkoaine ei ole jo val-miiksi läjitetty altaaseen ennen ennakkotestausta.
Stabiloidun materi-aalin laadunvalvon-tatutkimukset mas-sastabilointiurakan yhteydessä	Vähintään 20 näytettä / 5000 m ³ . Koestus kol-messa eri iässä (1-90 vrk)	lujuuskehitys toteutetusta sekoituksesta	Testataan eri syvyydellä to-teutunut lujuus. Jälkitark-kailu 5 kpl koestuksia 180 d iässä / 10000 m ³
	2 kpl / 5 000 m ³	vedenläpäisevyys	Testataan kentällä stabi-loidusta massasta ja siitä valmistetulla koekappa-leella
	1 kpl / 5 000 m ³ vähin-tään 90 d ikäiselle mas-salle	liukoisuus 2-vaiheinen ra-vistelutesti	Jos käytetään muuta tar-koitukseen sopivaa mene-telmää, sen on oltava toi-mivaltaisen valvontaviran-omaisen hyväksymä
	Vähintään 3 laadunval-vontakairausta / 20 000 m ³ stabilointiurakkaa kohden viimeistään 2 vuoden kuluttua stabi-loinnin päättymisestä	Laadunvalvontakairaukset jälkitarkkailuna. Stabilointi-työn aikana laadunvalvonta penetrometrillä tai kevytsii-pikairalla tarpeen mukaan.	Toteutetaan geoteknikon lausunnon mukaisesti.

6.4 Ympäristöseurantatuloksia

Kaupallisilla sideaineilla toteutettujen ja pelkästään teknisiin tarpeisiin liittyvien kohteiden ympäris-töseurannat ovat olleet varsin harvalukuisia. Syy seurantojen harvalukuisuuteen on tiettävästi tuot-teistettujen sideaineiden käyttäminen sekä ja maaperäolosuhteet, joissa mahdolliset liukenevat haitta-aineet eivät juuri pääse etenemään. Savisilla alueilla vedenläpäisevyys on erittäin pieni ja siten haitta-aineiden eteneminen hidasta. Perinteisesti sideaineiden kokonaispitoisuuksissa erottuu lähinnä kalsiumin, alumiinin ja raudan korkeat pitoisuudet, jotka suomalaisessa maaperässä ovat kalsiumia lukuun ottamatta tyypillisesti entuudestaan korkeita.

Metallit esiintyvät maaperässä yleisimmin toisen metallin tai epämetallin yhdisteenä, eli mineraa-leina. Metallien haitallisuuteen ympäristössä vaikuttaa merkittävimmin sen fysikaalinen (kiinteä vrt. liukoinen) ja kemiallinen olomuoto (kuten hapetusaste). Saman alkuaineen toinen hapetusaste voi olla terveydelle vaaraton toisen ollessa haitallinen pieninäkin pitoisuuksina. Metallien esiintymiseen, kulkeutumiseen sekä biosaatavuuteen vaikuttavat maaperän fysikaaliskemialliset ominaisuudet, joita ovat mm. pH, kationinvaihtokapasiteetti, hapetus-pelkistysolosuhteet, orgaanisen aineksen ja savimineraalien määrä, maaperän mineraalikoostumus sekä partikkelien ominaispinta-ala ja omi-naisuudet. Alkuaineet eroavat toisistaan käyttäytymiseltään, mutta useimpien metallien liukoisuus

kasvaa happamissa ja pelkistävässä olosuhteissa, kun taas saostumista tapahtuu hapettavissa ja neutraaleissa olosuhteissa.

Ympäristövaikutusten seurantatavat eri stabilointimenetelmille ovat vaihdelleet. Pilaristabiloinnin vaikutuksia on seurattu mm. pohjavesitarkkailuna ja pilareiden (tai massastabiloidun kerroksen) viereisen maaperän näytteistämällä. Massastabilointikohteissa on ympäristöseurannoissa puolestaan voitu hyödyntää pintavesiseurantoja sekä massastabiloidun kerroksen alapuoliseen tai viereiseen lysimetriin kerättyjen vesianalyysien tuloksia.

Lujittuneen stabiloidun maan kokonaispitoisuuksien ja liukoisuuksien seurannalla on todennettu erityisesti haitta-aineita sisältävän ruoppausmassan ympäristökelpoisuutta. Näissä kohteissa onkin kerätty jo pidemmän aikaa 2000-luvulta lähtien, joko pintaliukenemistestien tai 2-vaiheisen ravistelutestien tuloksia ympäristökelpoisuuden osoittamiseksi. Viime aikoina muutamassa pilaristabilointikohteessa, joissa on käytetty uusiosideaineita, on toteutettu vastaavia tutkimuksia. Ruoppausmassojen massastabiloinnissa käytetään yleisesti uusiosideaineita hankekohtaisten ympäristölupien mukaisesti. Ympäristölupa on edellyttänyt jo suunnitteluvaiheessa kohdekohtaisia ruoppausmassojen stabiloituvuustutkimuksia sekä ympäristökelpoisuuden osoittamista, mikä on erityisesti tarkoittanut lopputuotteen liukoisuuden ja vedenläpäisevyyden määrittämiä.

Massa- ja prosessistabilointikohteita, joissa ympäristökelpoisuuden todentamista on tehty ympäristölupahakemusten yhteydessä, tai stabilointityön toteutuksen yhteydessä, ovat mm:

- | | |
|--|------------------------------|
| - Lauttaranta, Turku* | - Samppaanalanlahti, Rauma |
| - Kokkolan satama* | - Jätkäsaari, Helsinki * |
| - Rauman satama | - Vuosaaren satama, Helsinki |
| - Yaran satama, Uusikaupunki | - Sörnäistenranta, Helsinki |
| - Pansion satama, Turku (prosessistabilointikohde, kohdekuvaus liitteessä 4) | |

Näistä * merkityt on esitetty raportin kohdekuvauksissa liitteessä 3. Vastaavia kohteita on lisäksi mm. Espanjassa ja UK:ssa (Ramboll 2015) sekä Ruotsissa ja Norjassa (Maijala ym. 2009).

6.4.1 Pintaliukenemistesti

Stabiloidun materiaalin ympäristökelpoisuutta on selvitetty sekä pintaliukenemistesteillä että ravistelutestein. Ensimmäisissä ympäristöluvituissa kohteissa, Vuosaaren satamassa ja Turun Pansiossa, pilaantuneen ruoppausmassan ympäristökelpoisuuden osoittaminen tehtiin vain pinta-liukenemistestien avulla. Pintaliukenemistesti kuvaa ravistelutestiä paremmin ehyen rikkoontumattoman rakenteen liukenemisen olosuhteita. Testin haittapuolena on nähty sen pitkä kesto, jolloin se soveltuu käytettäväksi erityisesti hankkeiden suunnitteluvaiheisiin. Tehtyjen pintaliukenemistestien tuloksia stabiloituvuuskokeista sekä toteutukseen päässeistä kentällä kerätyistä näytteistä on koottu liitteeseen 6 ja menetelmäkuvaus on esitetty liitteessä 1.

Liitteessä 6 on esitetty yhteensä viiden eri kohteen ja 22 testikappaleen minimi-, maksimi- ja keskiarvopitoisuudet **pintaliukenemistestin** 64 vrk:n kumulatiivisina tuloksina verrattuna eri raja-arvoihin. Raja-arvoina on esitetty sekä VTT:n (Wahlström ym. 2001, s. C3, taulukko 2) että SYKE:n (Sorvari, 2000) esittämät raja-arvot kiinteiytyneille materiaalille:

- Raja-arvo 1: Hollantilaiset enimmäispitoisuusohjeet, Ryhmä 1A
- Raja-arvo 2: Hollantilaiset enimmäispitoisuusohjeet, Ryhmä 1B
- Raja-arvo 3: SYKE:n esittämät enimmäispitoisuusohjeet

Pintaliukenemistestissä määritetyille liukoisuuksille ei ole sitovia raja-arvoja (Lindroos ym. 2016). Raja-arvoista on kerrottu tarkemmin menetelmäkuvauksessa liitteessä 1.

Toteutetuista pinta-liukenemistesteistä on koottu tuloksia liitteen 6 taulukkoon. Tulokset yhdistettiin alkuainekohtaisiksi minimi-, maksimi- ja keskiarvopitoisuuksiksi. Koottujen tietojen perusteella testeissä on todettu jonkin edellä esitetyn raja-arvon ylittymisiä lähinnä maksimipitoisuuksissa. Seleenin ja kloridin pitoisuuksissa raja-arvot ylittyivät myös keskiarvopitoisuudessa. Lähempi tarkastelu osoittaa (liite 6) että maksimipitoisuudet löytyvät stabiloiduista laboratoriokoekappaleista, joiden sideaineissa on mukana poikkeuksetta ainakin lentotuhkaa määrä, jota suurempaa määrää ei ole yleensä tarkoituksenmukaista käyttää syvästabiloinnissa (200-250 kg/m³). Huomionarvoista on, että kerätyt tulokset edustavat osin stabiloitavuuskokeiden tuloksia, eli suurimmat liukoisuudet omaavia reseptejä ei ole käytetty toteutuneissa kohteissa. Koekappaleissa käytetyissä lentotuhkissa on mukana korkeahkoja haitta-ainepitoisuuksia omaavia lentotuhkia. Suuret lentotuhkamäärät reseptissä vaikuttavat myös seoksen vedenläpäisevyyteen, mikä puolestaan voi vaikuttaa pinta-liukenemistestin tuloksiin.

6.4.2 Kokonaispitoisuudet

Pilaristabilointikohteita (kts. kappale 5.2.1.) vastaavia sideaineräisiä pitoisuusnousuja voidaan nähdä myös stabiloitaessa haitta-ainepitoisia maa-aineksia, esimerkiksi ruoppausmassoja. Ruoppausmassojen läjittämisen ja stabiloimisen tavoitteena on samoin kuin pilaristabiloinnissakin saada teknisesti heikkolaatuinen maa-aines jalostettua rakennuspohjaksi kelpaavaksi alueeksi.

Ruoppausmassat heijastavat yleensä alueen teollisen historian vaikutuksia ja pitoisuuksia. Suurimpia haitta-ainepitoisuuksia onkin tavattu teollisuuden ja tätä palvelevien satamien läheisyydessä. Ruoppaus voidaan käytännössä tarkimmillaankin suorittaa noin 0,3–0,5 m kerrospaksuuksina ja usein ruopattava alue on pinta-alaltaan suuri, jolloin kartoituksessa havaitut korkeatkin haitta-ainepitoisuudet keskiarvoistuvat yleensä kynnyсарvotasoon. Taulukoissa 6.2. ja 6.3. esitetään Turun Lauttarannan ja Kokkolan sataman ruoppausmassan stabiloitavuuskoekappaleista todetut kokonaispitoisuudet verrattuna ruoppausmassan pitoisuuksiin. Lauttarannan tulokset ovat ennakkotutkimuksista, ei siis vielä toteutuneesta stabilointiurakasta. Kokkolan tulokset ovat puolestaan toteutuneen stabilointikohteen laadunvarmistustestin tuloksia.

Haitta-aineita sisältävän ruoppausmassan stabiloinnissa kokonaispitoisuudet nousevat tyypillisesti korkeammaksi kuin puhtaan maan stabiloinnissa. Lauttarannan tapauksessa stabiloidun massan kokonaispitoisuudet ylittivät kynnyсарvon arseenilla (taustapitoisuus), kadmiumilla, koboltilla, kuparilla, lyijyllä ja sinkillä. Näistä vain kadmiumin, lyijyn ja sinkin pitoisuuslisät Naantalın lentotuhkaa sisältävällä sideaineresepillä stabiloidussa kappaleessa on osoitettavissa sideaineräisiksi. Muut pitoisuudet selittyvät ruoppausmassan alkuperäisillä pitoisuuksilla. Oiva-sementtiä ja Terra GTC:tä sisältävillä resepteillä sideaineet eivät aiheuttaneet kynnyсарvo- tai taustapitoisuudesta poikkeavaa pitoisuuslisää.

Kokkolassa stabiloidun massan kokonaispitoisuuksissa mitattiin kynnyсарvon ylittäviä pitoisuuksia arseenilla, elohopealla (yksi näyte), kadmiumilla, lyijyllä (yksi näyte) ja sinkillä. Näistä sinkki on peräisin ruoppausmassasta. Myös muut kohonneet pitoisuudet ovat todennäköisimmin peräisin sekapilaantuneesta ruoppausmassasta. Selkeää yhteyttä sideaineeseen ei voida osoittaa.

Taulukko 6.2 Turku, Lauttaranta. Stabiloituvuuskokeidenyhteydessä määritetyt ruoppausmassan (Lauttaranta, Aurajoki ja Meyer kokoomat) ja stabiloitun ruoppausmassan kokonaispitoisuudet (viitearvot Vna 214/2007).

Näytetunnus	Vertailuarvot tausta pit. kynnysarvo	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
		0,02	12,9	0,005	0,03	8	31	22	101	17	209	103
		2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100
mg/kg												
Lauttaranta kokooma		<0,5	10	<0,1	<0,2	18	84	36	21	42	140	97
Aurajoki kokooma		1	10	0	0	31	93	66	51	42	260	86
Meyer kokooma		<0,5	10	<0,1	0	23	100	61	25	50	210	110
Meyer + Oiva 90		<2	12	<0,04	0	18	66	65	17	39	160	76
Meyer + Oiva +LT 55+200		<2	31	0	2	17	80	110	73	49	460	99
Aurajoki + Terra GTC 200		<2	9	0	1	17	48	58	27	29	170	54
Aurajoki + Oiva 150		<2	9	0	1	21	56	68	37	34	180	69
Lauttaranta + Oiva 55		<2	10	<0,04	0	15	59	38	15	33	110	67

Taulukko 6.3 Kokkola satama. Stabiloitun ruoppausmassan kokonaispitoisuuksia Oiva 60 kg/m³ sideaineresepillä toteutetussa haitta-aineita, erityisesti sinkkiä sisältävän, ruoppausmassan stabiloitikohteessa (viitearvot Vna 214/2007).

Parametri	Yksikkö	R214 s. 0-0,5m	R849 s. 3,0 m	R336 s. 1,5 m	R1178 s. 1,5 m	R 804 s. 3 m
Antimoni	mg/kg ka.	<2	<2	<2	<2	<2
Arseeni	mg/kg ka.	7,3	6,7	8,9	13	21
Barium	mg/kg ka.	52	43	40	55	67
Elohopea	mg/kg ka.	0,097	0,16	0,14	0,21	0,94
Kadmium	mg/kg ka.	1,1	1,3	0,95	1,1	8,5
Kromi	mg/kg ka.	18	18	17	23	16
Kupari	mg/kg ka.	23	18	15	22	56
Lyijy	mg/kg ka.	9,2	9,9	10	14	61
Molybdeeni	mg/kg ka.	<1	<1	<1	<1	<1
Nikkeli	mg/kg ka.	12	11	9,8	14	15
Seleen	mg/kg ka.	<3	<3	<3	<3	<3
Sinkki	mg/kg ka.	290	320	250	270	2200
Vanadiini	mg/kg ka.	30	27	22	31	21
Hehkutushäviö	%	1,4	1,5	2,3	2,9	2,1
TOC	%	<0,5	0,53	0,65	0,98	0,66

6.4.3 Liukoiset pitoisuudet

Kuten kokonaispitoisuuksissa, myös liukoisissa pitoisuuksissa voidaan nähdä pilaristabilointikohteita (kts. kappale 5.2.2.) vastaavia sideaineperäisiä pitoisuusnousuja. Taulukoissa 6.4. ja 6.5. esitetään Turun Lauttarannan ja Kokkolan sataman ruoppausmassan stabiloituvuuskokeissa todetut liukoiset pitoisuudet verrattuna pysyvän ja vaarattoman jätteen kriteereihin. Lauttarannan tulokset ovat stabiloituvuuskokeista ei siis vielä toteutuneesta stabilointiurakasta. Kokkolan tulokset ovat puolestaan toteutuneen stabiloitikohteen laadunvarmistustestin tuloksia.

Turun Lauttarannan tuloksista nähdään molybdeenin, nikkelin, liuenneen orgaanisen hiilen (DOC), kloridin, sulfaatin liuenneiden aineiden kokonaismäärän ylittävän pysyvän jätteen raja-arvon. Lentotuhkaa sisältävässä reseptissä DOC-arvo ylittää vaarattoman jätteen kriteeriarvon. Liuenneen molybdeenin ja nikkelin on havaittu ylittyvän myös pilaristabilointikohteissa (kts. kappale 5.2.2.), joten näiden liukoisuuksien voidaan olettaa johtuvan sideaineesta.

Pääsääntöisesti liukoiset pitoisuudet olivat huomattavan pieniä, alle pysyvän jätteen raja-arvojen. Liukoinen arseeni, nikkeli ja vanadiini voivat osin olla peräisin savesta. Korkeassa pH:ssa niiden liukoisuus lisääntyy. Pysyvän jätteen liukoisuudet ylittyivät molybdeenin osalta muilla kohteessa testatuilla uusiosideaineilla, mutta ei pitkään käytössä olleella Terra GTC:llä.

Sulfaattipitoisuudet stabiloiduissa kappaleissa olivat 500-4300 mg/kg. Sideaineella Terra GTC stabiloidun massan sulfaattipitoisuus oli muilla uusiosideaineilla stabiloituja kappaleita selkeästi suurempi. Kaikkien näytteiden korkeat kloridi- ja sulfaattipitoisuudet viittaavat merellisen ympäristön ruoppausmassoihin.

Liukaisen orgaanisen aineksen (DOC) pitoisuuksissa oli hieman vaihtelua riippuen siitä, millä sideaineella stabilointi oli toteutettu. Liukaisen orgaanisen hiilen pitoisuus vaihteli välillä 420-880 mg/kg. Todennäköisesti orgaaninen aines on peräisin savesta ja sen liukoisuus on lisääntynyt sideaineiden pH:ta nostavan vaikutuksen seurauksena. Stabiloitujen massojen ravisteluliukokset (L/S 2) olivat emäksisiä, pH n.10,3-11,9.

Taulukko 6.4 Turku, Lauttaranta. Stabiloidun ruoppausmassan liukoiset pitoisuudet (2-vaiheinen ravistelutesti (mg/kg ka.)). Tulosten sininen numerointi= pysyvän jätteen liukoisuus ylittyy (VNa 331/2013).

Parametri	Yksikkö	Jätteen kelpoisuus kriteerit kaatopaikalle		Meyer + Oiva 90	Meyer + Oiva +LT 55+200	Aurajoki + GTC 200	Aurajoki + Oiva 150	Lauttaranta + Oiva 55
		Pysyvä jäte	Vaaraton jäte					
		Liukoisuus L/S 10	Liukoisuus L/S 10					
Alumiini	mg/kg ka			29	16			
Antimoni	mg/kg ka	0,06	0,7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Arseeni	mg/kg ka	0,5	2	0,034	0,064	0,035	0,028	0,046
Barium	mg/kg ka	20	100	0,25	1,1	0,43	0,38	0,26
Elohopea	mg/kg ka	0,01	0,2	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Kadmium	mg/kg ka	0,04	1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kromi	mg/kg ka	0,5	10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kupari	mg/kg ka	2	50	0,12	0,12	0,17	0,066	0,23
Rauta	mg/kg ka			<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Lyijy	mg/kg ka	0,5	10	0,022	<0,005	<0,005	0,006	<0,005
Mangaani	mg/kg ka			<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Molybdeeni	mg/kg ka	0,5	10	1,3	1,8	0,31	1,2	1,3
Nikkeli	mg/kg ka	0,4	10	1,8	1,5	1,8	1,6	1,1
Seleen	mg/kg ka	0,1	0,5	<0,04	0,047	<0,04	0,043	<0,04
Sinkki	mg/kg ka	4	50	0,33	0,07	<0,05	<0,05	<0,05
Vanadiini	mg/kg ka	2		0,18	1,2	0,13	0,058	1
		Muut ominaisuudet						
DOC	mg/kg ka	500	800	680	880	750	710	420
Kloridi	mg/kg ka	800	15000	4000	4500	2200	1600	3000
Sulfaatti	mg/kg ka	1 000 ⁽¹⁾	20000	990	2300	4300	500	3200
Fluoridi	mg/kg ka	10	150	9,9	5,4	5,8	11	8,3
Fenoli-indeksi	mg/kg ka	1		19	10	23	43	26
TOC [%]	%	3	5					
pH, loppu	-		≥ 6	11,9	11,4	11,6	11,9	10,3
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS) ⁽²⁾	mg/kg ka	4000	60000	19000	19000	17000	14000	

Kokkolan sataman stabilointityömaan tuloksista nähdään molybdeenin, nikkelin, seleenin, sulfaatin ja liuenneiden aineiden kokonaismäärän ylittävän pysyvän jätteen raja-arvon. Molybdeenin ja nikkelin on havaittu ylittävän myös pilaristabilointikohteissa (kts. kappale 5.2.2), joten näiden liukoisuuksien voidaan olettaa johtuvan sideaineesta.

Pääsääntöisesti liukoiset pitoisuudet olivat huomattavan pieniä, alle pysyvän jätteen raja-arvojen. Stabiloitujen kappaleiden ravisteluliukset (L/S 2) olivat emäksisiä, pH n.10,3-11,9. Kohteessa korkeina kokonaispitoisuuksina mitattu sinkki pidättyi hyvin stabiloinnin seurauksena.

Taulukko 6.5 Kokkolan satama. Stabiloidun ruoppausmassan liukoiset pitoisuudet (2-vaiheinen ravistelutesti, mg/kg ka.). Tulosten sininen numerointi= pysyvän jätteen liukoisuus ylittyy (VNa 331/2013).

Parametri	Yksikkö	Kelpoisuusriteerit kaatopaikalle		KSA-101R Kokooma 3-1+4-2 +Oiva 60 kg/m ³	R214 s. 0- 0,5m	R849 s. 3,0 m	R336 s.1,5 m	R1178 s. 1,5 m	R 804 s. 3 m
		Pysyvä jäte	Vaaraton jäte						
		Liukoisuus L/S 10	Liukoisuus L/S 10						
Antimoni	mg/kg ka	0,06	0,7	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Arseeni	mg/kg ka	0,5	2	0,08	0,011	0,022	0,032	0,036	0,053
Barium	mg/kg ka	20	100	0,31	2,7	0,95	0,27	0,25	0,27
Elohopea	mg/kg ka	0,01	0,2	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Kadmium	mg/kg ka	0,04	1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kromi	mg/kg ka	0,5	10	0,048	0,031	0,017	0,021	0,022	0,037
Kupari	mg/kg ka	2	50	0,98	0,96	1,3	1,2	1,3	3,2
Lyijy	mg/kg ka	0,5	10	<0,005	0,008	0,016	<0,005	<0,005	<0,005
Molybdeeni	mg/kg ka	0,5	10	0,85	0,13	0,14	0,13	0,25	0,22
Nikkeli	mg/kg ka	0,4	10	0,94	0,58	0,74	0,87	1,3	0,89
Seleeni	mg/kg ka	0,1	0,5	0,16	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,079
Sinkki	mg/kg ka	4	50	0,059	0,06	0,063	<0,05	<0,05	0,1
Vanadiini	mg/kg ka			0,2	0,015	0,03	0,12	0,2	0,093
		Muut ominaisuudet							
DOC	mg/kg ka	500	800	340	190	240	310	470	370
Kloridi	mg/kg ka	800	15000		260	320	410	660	490
Sulfaatti	mg/kg ka	1 000 ⁽¹⁾	20000		140	410	630	1000	640
Fluoridi	mg/kg ka	10	150		6,5	7	<5	<5	<5
TOC [%]	%	3	5						
pH, loppu	-		≥ 6	11,6	12,4	12,1	11,7	11,6	11,7
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS)	mg/kg ka	4000	60000		11000	7100	6200	7900	6400

6.5 Haitta-ainepitoisten massastabiloitujen ruoppausmassojen kokonaispitoisuudet ja liukoiset pitoisuudet, yhteenveto

Massa- ja prosessistabilointi jalostaa heikkolaatuisen maa-aineksen, saven, siltin tai liejun kiinteämpään ja kuivempaan muotoon, mikä mahdollistaa alueen rakentamisen mm. satamakentäksi, varastoalueeksi tai muuhun pinta-alaa edellyttävään tarkoitukseen. Massastabiloidun maan kokonais- ja liukoisten pitoisuuksien seurannalla on todennettu erityisesti haitta-aineita sisältävän ruoppausmassan ympäristökelpoisuutta. Näistä kohteissa on kokonaispitoisuus- ja liukoisuustuloksia joko pintaliukenemistestillä tai 2-vaiheisella ravistelutestillä.

Haitta-aineita sisältävän massastabiloidun ruoppausmassan kokonaispitoisuudet:

- Massat heijastavat yleensä alueen teollisen historian vaikutuksia ja pitoisuuksia. Ruoppauksessa ja altaiisiin sijoittamisessa haitta-ainepitoisuudet keskiarvoistuvat yleensä kynnysarvotasoon.

- Stabiloitavan runkoaineen haitta-aineiden takia stabiloidun maan kokonaispitoisuudet nousevat tyypillisesti korkeammaksi kuin stabiloidulla puhtaalla maalla. Kokonaispitoisuudet ovat summa runkoaineen ja sideaineen pitoisuuksista.
- Lauttarannassa stabiloidun ruoppausmassan kokonaispitoisuudet ylittivät kynnyksarvon arseenilla (taustapitoisuus), kadmiumilla, koboltilla, kuparilla, lyijyllä ja sinkillä. Näistä vain kadmiumin, lyijyn ja sinkin pitoisuuslisät lentotuhkaa sisältävällä sideainereseptillä stabiloidussa massassa on osoitettavissa sideaineperäisiksi. Muut pitoisuudet selittyvät massan alkuperäisillä pitoisuuksilla. Oiva-sementtiä ja Terra GTC:tä sisältävät sideaineet eivät aiheuttaneet kynnyksarvo- tai taustapitoisuudesta poikkeavaa pitoisuuslisää.
- Kokkolassa stabiloidun ruoppausmassan kokonaispitoisuuksissa mitattiin kynnyksarvon ylittäviä pitoisuuksia arseenilla, elohopealla (yksi näyte), kadmiumilla, lyijyllä (yksi näyte) ja sinkillä. Näistä sinkki, joka ylitti alemman ja yhdessä näytteessä ylemmän ohjearvon, on peräisin haitta-ainepitoisesta ruoppausmassasta. Myös muut kohonneet pitoisuudet ovat peräisin sekapilaantuneesta ruoppausmassasta. Yhteyttä sideaineeseen ei voitu osoittaa.

Haitta-aineita sisältävän stabiloidun ruoppausmassan liukoiset pitoisuudet:

- Turun Lauttarannan tuloksista nähdään molybdeenin, nikkelin, liuenneen orgaanisen hiilen (DOC), kloridin, sulfaatin liuenneiden aineiden kokonaismäärän ylittävän pysyvän jätteen raja-arvon. Lentotuhkaa sisältävässä reseptissä DOC-arvo ylittää vaarattoman jätteen krieteriarvon. Liuenneen molybdeenin ja nikkelin on havaittu ylittyvän myös pilaristabilointikohteissa, joten näiden liukoisuuksien voidaan olettaa johtuvan sideaineesta.
- Pääsääntöisesti liukoiset pitoisuudet olivat huomattavan pieniä, alle pysyvän jätteen raja-arvojen. Pysyvän jätteen liukoisuudet ylittyivät molybdeenin osalta Terra GTC:tä lukuun ottamatta muilla kohteessa testatuilla uusiosideaineilla.
- Sulfaattipitoisuudet stabiloiduissa kappaleissa olivat 500–4300 mg/kg. Sideaineella Terra GTC stabiloidun massan sulfaattipitoisuus oli muilla uusiosideaineilla stabiloituja kappaleita suurempi. Kaikkien näytteiden korkeat kloridi- ja sulfaattipitoisuudet viittaavat merellisen ympäristön ruoppausmassoihin.
- Liukoisen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuuksissa oli hieman vaihtelua riippuen siitä, millä sideaineella stabilointi oli toteutettu. Liukoisen orgaanisen hiilen pitoisuus vaihteli välillä 420–880 mg/kg. Todennäköisesti orgaaninen aines on peräisin savesta ja sen liukoisuus on lisääntynyt sideaineiden pH:ta nostavan vaikutuksen seurauksena. Stabiloitujen massojen ravisteluliukokset (L/S 2) olivat emäksisiä, pH n. 10,3–11,9.
- Kokkolan sataman tuloksista nähdään molybdeenin, nikkeli, seleenin, sulfaatin ja liuenneiden aineiden kokonaismäärän ylittävän pysyvän jätteen raja-arvon. Pääsääntöisesti liukoiset pitoisuudet olivat huomattavan pieniä, alle pysyvän jätteen raja-arvojen. Stabiloitujen kappaleiden ravisteluliukokset (L/S 2) olivat emäksisiä, pH n.10,3–11,9. Kohteessa korkeina kokonaispitoisuuksina mitattu sinkki pidättyi hyvin stabiloituun massaan.

7 Stabiloidut kaivumassat ja niiden hyödyntäminen

7.1 Stabiloitujen kaivumassojen muodostuminen

Syvästabilointikohteista voi vapautua rakentamisen yhteydessä kaivumassoja, jotka ovat osin tai kokonaan stabiloituja. Kohteesta riippuen stabiloitujen kaivumassojen määrä voi olla suurikin. Määrään vaikuttaa mm. stabiloinnin jälkeen rakennuskohteessa toteutettavat erilaiset kaivannot ja niiden määrät ja pilaristabiloinnin yhteydessä ylösnousseen saven määrä. Pilaristabilointikoneissa on

käytössä 3D-koneohjaus ja 3D-mallinnus, joiden avulla sideaineen syöttö pilareissa voitaisiin lopettaa esim. 0,3 m putkikaivannon alapinnan yläpuolelle (Ketonen 2020).

Stabiloitu materiaali on teknisten ominaisuuksiensa puolesta hyödynnettävissä esim. meluvälillä, penkereissä, maisemointitöissä, kaivantojen täytöissä, yms. Hyödyntämisen edellytyksenä on se, että se on suunnitelmallista, joten rakennussuunnitelmassa tulee mahdollisuuksien mukaan esittää, miten leikattavat tai kaivettavat osin tai kokonaan stabiloidun kaivumaat hyödynnetään kohteessa. Mikäli stabiloitua maata sisältävä kaivumaa toimitetaan maankaatopaikalle, voi sen vastaanottomaksu olla kaksinkertainen pelkkään saveen verrattuna. Lisäksi pilarimetrit vähenisivät, mikä aikaansaisi säästöä tilaajalle. (Ketonen 2020)

Stabiloidun kaivumaan määrään voidaan vaikuttaa mm. siten, että stabilointikohteen maanpinta leikataan ennen stabilointia tulevan rakenteen kannalta sopivaan korkoon. Menettely edellyttää työalustan rakentamista ja stabilointia tämän läpi. Stabiloitujen kaivumassojen määrä pysyy näin maltillisempana, mutta edellyttää tarkempaa suunnittelua ja osin uusia rakentamisen välivaiheita tavanomaiseen menettelyyn verrattuna, jossa leikkaus tulevien kerrosten alapinnan tasoon tehdään stabiloinnin lujittumisen jälkeen. Rakentamisessa syntyvä stabiloimaton pehmeä ylijäämämaa on yleensä vaikeasti hyödynnettävää. Menettely ei sovellu kohteisiin, missä stabilointi toimii kaivannon stabiliteetin varmistajana, esim. kun tehdään tieleikkaus tai muu kaivanto.

7.2 Stabiloitujen kaivumassojen jäteluonne ja ympäristöluvan tarve

Stabiloidun kaivumassan hyödyntämisessä on törmätty hyvin usein ympäristölupamenettelyn tarpeeseen. Tämä siitä huolimatta, että Ympäristöministeriö on määrittänyt 2015 julkaistussa muistiossaan (Ympäristöministeriö 2015) kaivetun maa-aineksen jäteluonteesta seuraavaa: *Keskeisiä arviointiperusteita todettaessa, että kaivettu maa-aines ei ole jätettä, ovat:*

- *Maa-aineksen sisältämät haitta-ainepitoisuudet eivät aiheuta ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa*
- *Jatkokäyttö on varmaa*
- *Jatkokäyttö on suunnitelmallista*
- *Maa-aines voidaan jatko käyttää sellaisenaan ilman muuntamistoimia.*

Stabiloituihin kaivumassoihin edellä esitetyistä kohdista voidaan liittää epäily ympäristön pilaantumisvaarasta, jonka mahdollisuus voidaan poissulkea mm. materiaalin kokonaispitoisuuksien ja liukoisuustestien avulla. Kokonaispitoisuudet on siis syytä varautua esittämään myös tapauksissa, joissa ei olla hakemassa ympäristölupaa. Pitoisuuksien tulee olla luontaisen taustapitoisuuden tasoa tai kynnyksarvon alittavia. Muussa tapauksessa stabiloitu kaivumassa luokitellaan jätteeksi ja ympäristöluvan tarve hyödyntämiselle on selkeä. Esimerkkejä stabiloidun maan kokonaispitoisuuksista on esitetty taulukoissa 5.1 ja 5.2.

Ympäristöministeriön määrittelyn mukaan stabilointi ei ole muuntamistoimi. Muistiossa tarkennetaan muuntamistoimia seuraavasti: *Esikäsittelytoimena tehtävää mekaanista käsittelyä, jossa maa-ainesta pelkästään lajitellaan, seulotaan, sekoitetaan tai murskataan, ei katsota muuntamistoimeksi. Muuntamistoimena ei pidetä myöskään muuta sellaista maa-aineksen käsittelyä, jonka tarkoituksena on ainoastaan parantaa maa-aineksen rakennettavuusominaisuuksia (esimerkiksi stabilointi ja kiinteytys sideaineilla, jotka eivät ole jätettä, pehmeiden aineiden lujittamiseksi), ts. toimenpidettä voidaan pitää tavanomaisena maarakennustoimintaan kuuluvana käytäntönä. Tällaisen toiminnan voidaan katsoa vastaavan tavanomaista, vastaavalle neitseelliselle materiaalille tehtävää käsittelyä, jonka jälkeen aines on sellaisenaan käyttökelpoista (Ympäristöministeriö, 2015).*

Usein pyritään siihen, että kaivettavalle stabiloidulle savelle on osoitettu käyttö samalla työmaalla, jolloin materiaali ei ole missään vaiheessa jätettä. Käyttö on siis varmaa ja suunnitelmallista. Varman jatkokäytön tunnusmerkkeinä pidetään mm. sitä, että maa-aines toimitetaan kaivupaikalta suoraan käyttökohteeseen eikä sitä varastoida pitkään. Yleensä yli vuoden kestävä varastointi katsotaan pitkäaikaiseksi.

Suunnitelmallinen jatkokäyttö osoitetaan todellisen käyttötarpeen osoittamisella sekä materiaalin teknisten ominaisuuksien soveltuvuudella tarpeeseen sopivaksi. Käytännössä tämä tarkoittaa usein sitä, että käyttö perustuu joko maankäyttö- ja rakennuslain (132/2009, MRL) mukaiseen yleiskaavaan, asemakaavaan, lupaan tai ilmoitukseen taikka maantielain (503/2005) mukaiseen tiesuunnitelmaan tai ratalain (110/2007) mukaisesti hyväksytyyn ratasuunnitelmaan taikka maantie- tai rautatiealueella hanketta koskevaan rakentamis- tai parantamissuunnitelmaan. (Ympäristöministeriö, 2015). Myös erilaisten toimintojen ympäristöluvista, vesilainmukaisessa vesiluvassa, maa-aineluvassa tai jätehuoltosuunnitelmissa jatkokäytön suunnitelmallisuus on voitu osoittaa.

Stabiloitujen kaivumassojen hyödyntämisen yhteydessä ympäristöluvan tarve on voinut muodostua alueen herkkyyden perusteella. Esim. mahdolliset ympäristövaikutukset, naapurussuhdelaki ja toiminnon häiritsevyys voi aiheuttaa ympäristöluvan tarpeen. Mikäli ympäristölupa hyödyntämiselle on tarpeen hyödynnettävän määrän ollessa alle 50 000 t/vuosi lupaa haetaan kunnalta ja tätä suuremmalle määrälle Aluehallintovirastolta. Hyödyntämislupia on voitu saada myös toimenpideluvilla ja pienille massamäärille myös ilman mitään lupakäsittelyjä Ympäristöministeriön kriteereiden täytyessä.

7.3 Stabiloitu hapan sulfaattimaa kaivumaana

Mikäli stabiloitavalla alueella on potentiaalisia tai aktiivisia happamia sulfaattimaita, on tärkeää ehkäistä tällaisten HaSu-maiden hapettuminen paikallaan pohjaveden alenemisen tai kaivumaana kuivumisen takia, jotka molemmat voivat aiheutua mm. pohjanvahvistusten tai pohjarakentamisen seurauksena. HaSu-maiden alueelle soveltuvia pohjanvahvistus- tai pohjarakennusmenetelmiä ovat syvästabilointi, esi-/ylikuormitus, paalutus ja keventeet (kokonaiskevennyksessä HaSu-kaivumaat ja niiden kuljettaminen muualle vähentävät menetelmän soveltuvuutta). Massanvaihtoa ja syviä kevennykskaivuja tulee mahdollisuuksien mukaan välttää. Mikäli kaivumaita muodostuu, ja HaSu-maat läjitetään pysyvän vesipinnan yläpuolelle, tarvitaan maamassojen neutralointia kalkitsemalla ja/tai stabiloimalla. Kaikissa ratkaisuissa tulee välttää pohja- tai orsivesipinnan alentamista siten, että HaSu-maat jäisivät kuivatusolosuhteiden muutoksen yhteydessä vesipinnan yläpuolelle ja hapettuisivat.

Syvästabiloitu maa on emäksistä ja sen pH on selvästi suurempi kuin 7. Massastabiloitu kaivumaa on kauttaaltaan käsitelty emäksisellä sideaineella, joten se on käytännössä valmiiksi neutraloitua tulevaa kaivumassojen hyödyntämistä varten. Pilaristabiloitu kaivumaa on stabilointipilareiden ja pilareiden välisen saven seos, jossa pilareiden osuus on tyypillisesti n. 20–30 %-tilavuus. Pilareiden väliseen saveen kaivussa sekoittuneet pilarien kappaleet voivat neutraloida saven, mutta pilareiden väliin voi jäädä maa-ainesta, johon neutralointi ei ole vaikuttanut. Lisäneutraloinnin, kaivumassan tarkemman homogenisoinnin tai mahdollisten peittorakenteiden tarve välivarastoinnissa tai hyödyntämiskohteessa on aiheellista varmistaa tapauskohtaisesti.

7.4 Toteutettuja kohteita

Kohteita, joissa on hyödynnetty stabiloituja kaivumaita, on lukuisia. Hyödyntäminen on tapahtunut samalla työmaalla tai hyödyntäminen on tapahtunut muualle kuljetettuna. Alla on lyhyesti kuvailtu joitakin kohteita, joissa stabiloituja muualta kuljetettuja kaivumaita on hyödynnetty merkittäviä määriä.

Konalan maisemavalli, Helsinki

Konalan maisemavalli on rakennettu rakentamisen tukialueen ja asuinalueen väliin näkö- ja melusuojaksi. Valli valmistui vuonna 2022. Vallin rakentamiselle on haettu ympäristölupa HEL 2015-010280, mihin oli syynä ylijäämämaan, vähäisiä määriä mineraalista purkujätettä sisältävän maa-aineksen, stabiloidun saven sekä betonimurskeen laajamittainen hyödyntäminen. Vallissa hyödynnettiin stabiloitua savea n. 2 000 m³. Rakentamisessa hyödynnetty savi on pilaantumaton tai ns. kynnysarvomaata, jotka on syvästabiloitu. Maisemavallin rakentamisessa käytetty stabiloitu savi tutkittiin haitta-aineiden varalta, jotta varmistettiin, että haitta-aineiden pitoisuudet ja liukoisuudet ovat alle Valtioneuvoston asetuksen 591/2006 ja sen muutoksen Vna 403/2009 mukaisten kivihillen ja turpeen polton tuhkien peitetyn rakenteen raja-arvojen. Maisemavallin läpi suotautuvan veden vaikutuksia pintaveden laatuun tarkkailtiin vesinäytteillä alueen ojien vedestä. (Kolis, 2022)

Sepänmäen meluvalli, Helsinki

Helsingin kaupungin rakennuttamassa Sepänmäen meluvallissa hyödynnettiin Etelä-Suomen AVI:n myöntämän ympäristöluvan (Nro 206/2014/1, Dnro ESAVI/328/04.08/2012) mukaisesti mm. massastabiloitua ruoppausmassaa, pilaristabiloitua kaivumaata, purkubetonia sekä mineraalisia jätejätteitä sisältäviä maa-aineksia. Massastabiloitu ruoppausmassa oli Jätkäsaaresta ja pilaristabiloitu savi lähialueen rakennustyömailta. Stabiloidulle maalle tehtiin laadunvalvontakokeet ympäristöluvan laatuvaatimusten täyttymisen tarkistamiseksi. Uusiosideaineilla stabiloidusta maasta ei havaittu vaatimukset ylittäviä liukoisuuksia. Kohteen vesitarkkailuissa ei havaittu, että meluvallin rakentamisella olisi ollut merkittävää vaikutusta alueen pohja- ja pintavesien laatuun. Pilaristabiloitu kaivumaa soveltui hyvin meluvallin rakentamiseen. (Tengvall & Napari, 2020) ks. liite 2.

Potmäen maisemointitäyttö, Helsinki

Potmäki on peltojen ympäröimä ulkoilukäytössä oleva metsäsaareke, jonka läpi kulkee hiekkapäällysteinen pienehkö tie. Potmäen kaakkoiskulmalla on sijainnut maanottopaikka, joka on täytetty vuosikymmenien aikana sekalaisilla maa-aineksilla. Pilaantuneiden maiden poistamisessa muodostuneet kaivannot on vuonna 2011 täytetty ylijäämämailla, jotka olivat pääasiassa Helsingin kaupungin rakennusviraston työmailta putkikaivannoista yms. kaivettua pilaristabiloitua savea, joka oli välivarastoituna Vuosaarella. Kohteessa hyödynnettyjen stabiloitujen kaivumaiden tilavuus oli n. 4000 m³. Saven teknistä laatua tarkasteltiin silmämääräisesti kuormattaessa. (Forsman, 2012)

Perkkaan koirapuisto, Espoo

Perkkaan koirapuistohankkeessa oli tavoitteena nostaa rakennettavan koirapuiston tasausta meritulvarajan yläpuolelle, rajoittaa painumia, parantaa stabiliteettia sekä hyödyntää viereisellä katurakennustyömaalla massanvaihdossa vapautuvia ylijäämäsavioita. Koirapuiston penkereessä ylijäämäsavien massastabiloinnissa hyödynnettiin sementin, lentotuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen seosta (LT ja RPL Heleniltä). Kohteen ympäristölupa mahdollisti ainoastaan ylijäämämaiden eli paikalla olevan savikerroksen yläpuolelle pengerrytetyn saven massastabiloinnin tuhkasideaineilla. Tämän erikoisen vaatimuksen takia reuna-alueet, joissa stabilointi ulottui alueen alkuperäisen savikerrokseen, stabilointi tehtiin sementillä (syvästabiloinnissa sideaineen laadun vaihtaminen syvyys-suuntaisesti ei ole mahdollista). Massastabiloinnin tilavuus oli n. 13 000 m³, josta ylijäämäsavien osuus n. 6000 m³. Kohteessa tehtiin kattavat laboratorio- ja kenttätutkimukset mm. paino- ja siipikairausten, näytteenoton, lysimetriseurannan, stabiloinnin laadunvalvonnan ja painumamittausten avulla. Tehtyjen tutkimuksien perusteella ylijäämäsavien ja pohjamaan massastabilointi onnistui hyvin. (Harju ym., 2019; Forsman ym. 2013) Savien hyödyntämisellä vältettiin niiden kuljetus ja sijoittaminen maankaatopaikalle, millä vältettiin merkittävästi CO₂e -päästöjen muodostumista (Niemelin ym. 2015).

8 Stabilointi neutralointimenetelmänä

Syvästabilointia, erityisesti massastabilointia, voidaan käyttää happamien sulfaattimaiden haponmuodostuksen torjumiseen ja lieventämiseen. Emäksinen sideaine nostaa stabiloitavan maa-aineksen pH-tasoa ja näin ollen puskuroida mahdollista hapon muodostusta maa-aineksen hapettuessa. Happamien maiden lujittaminen syvästabiloinnilla onnistuu pohjaveden pinnan alapuolisella maa-aineksella yleensä samankaltaisella sideainereseptillä kuin vastaavalla tavanomaisella maalla. Pohjaveden pinnan yläpuolella sen jälkeen, kun maa-ainekset ovat hapettuneet ja happamoituneet, on lujittaminen stabiloimalla vaikeampaa ja stabilointiin joudutaan käyttämään enemmän sideainetta saman lujuustason saavuttamiseksi.

8.1 Neutraloitavat maa-ainekset

Neutraloitavilla maa-aineksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä happamia sulfaattimaita (HaSu), joita Suomen rannikkoalueilla esiintyy luontaisesti. Litorina-meren aikaisissa sedimenttikerroksissa on runsaasti rikkiyhdisteitä, joista vapautuu sulfidien hapettumisen seurauksena haitallisia määriä happamuutta maaperään ja vesistöihin. Happamoitumisen seurauksena maaperästä liukenee ympäristölle haitallisia metalleja, jotka kulkeutuvat vesistöihin heikentäen vesistöjen ekologista ja kemiallista tilaa. Ilmiöstä ja sen huomioimisesta rakennushankkeissa on kerrottu mm. julkaisussa Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin (Autiola ym. 2022). Vastaava kemiallinen rikkiyhdisteiden hapettumisen seurauksena syntyvä haponmuodostus tapahtuu myös useilla kaivosten rikastushiekkoilla ja sivukivillä.

8.2 Neutralointiaineet

Happamien sulfaattimaiden ongelmat on tunnistettu maa- ja metsätaloudessa jo pidemmän aikaa ja niihin liittyen on tehty paljon ohjeistusta ja tutkimusta. Rannikkoalueiden viljely on ollut mahdollista peltojen kalkituksen ansiosta.

Koska kalkituksesta ja sen toimivuudesta HaSu-maan neutralointiin on paljon kokemuksia peltoviljelypuolelta, myös rakennushankkeiden kaivumaiden neutralointia on tehty perinteisillä kalkkituotteilla. Yleisesti hyväksytyjä tuotteita ovat mm. Suuren kalkkitaulukon (2020) materiaalit eri puolilta Suomea (liite 5). Listausta päivitetään aika-ajoin Maatilayrittäjän ammattilehden toimesta. Pääosa tuotteista on kalkkikivipohjaisia, mutta mukana on myös biotiitti, teräs- ja masuunikuona, meesa-kalkki, PCC-kalkin saostusjäännös ja yksi lentotuhka.

Uusiomateriaalien soveltuvuus happamien sulfaattimaiden neutralointiin, erityisesti muutoin kuin pelloilla hyödynnettäväksi, olisi syytä selvittää. Näin saataisiin pienemmän hiilidioksidipäästön omaavia neutralointimateriaaleja käyttöön nykyisin hyväksytyjen ja pitkälti kalkkikivipohjaisten neutraloivien aineiden rinnalle. Materiaalien testaamisen ja hyväksyttävyyden osoittamiseen tulisi luoda kriteerit. Uusiomateriaalien käyttö maarakennuskohteissa neutralointitarkoituksessa toteutuu toistaiseksi kohdekohtaisten ympäristölupien turvin.

Kalkki ainoana neutraloivana materiaalina on luonnonvaroja vähentävä ja tuotantonsa puolesta myös kasvihuonekaasuja lisäävä aine. Maamassojen neutralointivaihtoehtojen selvittäminen kalkkia korvaavilla sivuvirtamateriaaleilla ja jätejakeilla nähdään tarpeellisena. Potentiaalia nähdään erityisesti voimalaitostuhkilla.

8.3 Toteutettuja kohteita

Happamien sulfaattimaiden happamoituminen lisää huomattavasti useiden haitallisten aineiden liukoisuutta, ja joidenkin aineiden huuhtoutuminen näkyi jo varsin nopeasti massanvaihtomassojen läjityksessä, jossa happoa tuottavat materiaalit pääsevät hapettumaan ja massat ovat sade- ja sulamisvesien huuhtomia.

Happamien sulfaattimaiden kaivumassojen neutralointia on toteutettu suuremmissa mittakaavassa tiittävästi Väyläviraston kohteissa. Neutraloinnit on toteutettu kalkkipohjaisilla tuotteilla. Jätejakeiden soveltuvuutta happamien sulfaattimaiden neutralointiin on selvitetty muutaman viime vuoden aikana GTK:n ja Rambollin toimesta laboratoriomittakaavassa.

Auri ym. (2022) selvityksessä, jossa tutkimuskohteet olivat Naantalın Matalahti ja Oulun Rantatoppila, pitoisuusmuutokset näkyivät sekä suotovesitutkimustuloksissa että kokonaispitoisuuksien pienenemisenä hapettuneessa pintakerroksessa. Laboratoriossa tehdyt neutralointikokeet osoittivat, että kalkin ohella tutkitut teolliset sivuvirtamateriaalit (meesapöly, kalkkituhka, tuhka ja uunipölyt) pystyivät ehkäisemään happoa tuottavan materiaalin happamoitumisen 19 viikon hapetusjakson aikana, eikä niiden käyttö lisännyt haitallisten aineiden liukoisuutta.

Vastaaviin tuloksiin päästiin projekteissa, joissa selvityksiä tehtiin eri lentotuhkilla sekä kalkilla (Potila ym. 2022; Ilonen ym. 2023). Inkuboinnin jälkeen materiaaleista testatut liukoisuudet vahvistivat samaa tulosta Auri ym. (2022) selvityksessä todetun kanssa. Koostetaulukoissa 8.1 ja 8.2 on esitetty käytettyjen neutralointiaineiden kokonaispitoisuuksia sekä 19–20 viikon inkuboinnin jälkeen tehtyjen ravistelutestien tuloksia (Auri ym. 2022; Potila ym. 2022; Ilonen ym. 2023).

Ilonen ym. (2023) havaitsivat laboratoriotutkimuksessaan, että hyödynnettävä tuhkamäärä ei saa olla liian suuri. Tuhkan haitta-ainepitoisuudet voivat vaikuttaa liukenevien haitta-aineiden määrään ja koostumukseen, mikäli tuhkaa käytetään liikaa. Kohde- ja jätejaekohtaiset tutkimukset ovat näin ollen tarpeellisia, mikäli esim. hyödynnettävän tuhkan kokonaispitoisuudelle ei esitetä raja-arvoja.

Taulukko 8.1. Neutralointimateriaalien kokonaispitoisuuksia selvityksistä Auri ym. (2022), Potila ym. (2022) ja Ilonen ym. (2023).

Alkuaine (mg/kg ka.)	Potila ym. 2023			Ilonen ym. 2022				Auri ym. 2022							PIMA-asetus
	Tuhka 1	Tuhka 2	Nk vam- pula	Tuhka 1	Tuhka 2	Kuona	Aito plus	Lento- tuhka	Se- mentti	Kuona	Uuni- pöly	Pohja- kuona	Reno- tech mix	Ecolan mix	
(Al)	40000	23000	2300	84000	3000	120000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Sb)	140	1,7	<0,5	8,7	<0,5	0,79	-	3,77	3,61	<0,02	1,46	48,5	0,22	2,74	2/10/50
(As)	88	4,5	<1	70	<1	2,3	-	32,4	22,4	0,82	13,1	11,1	2,82	16	5/50/100
(Hg)	0,62	<0,1	<0,1	0,29	<0,1	<0,1	-	0,839	0,036	<0,005	0,033	0,014	0,44	0,435	0,5/2/5
(Cd)	9,1	11	0,21	2,2	0,63	<0,2	-	4,55	0,41	<0,01	1,14	2,70	0,26	0,53	1/10/20
(Ca)	-	-	-	63000	60000	260000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Co)	39	9,9	1,1	22	5,5	1,6	-	18,7	20,6	2,90	13,8	48,3	3,00	15,7	20/100/250
(Cr)	270	69	9	150	7,5	460	-	64,9	49,1	25,0	29,0	174	33,0	27,2	100/200/300
(Cu)	1100	55	<5	220	39	<5	-	145	137	< 1	30,4	1 730	23,0	60,6	100/150/200
(Pb)	680	31	7,3	150	1,6	<1	-	128	40,0	< 0,1	70,4	886	15,5	21,4	60/200/750
(Mn)	4400	5500	270	2000	4100	6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Mo)	16	7,4	<2	-	-	-	-	9,67	29,6	0,13	5,04	11,7	1,25	10,9	-
(Ni)	210	47	6,6	42	5,1	10	-	61,5	42,8	3,90	37,5	140	6,30	41,1	50/100/150
(Fe)	57000	18000	2800	43000	1500	16000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(S)	17000	14000	1600	2800	1300	2300	-	11300	10500	6970	8300	9960	5410	14700	-
(Zn)	2600	1500	13	1400	300	<5	-	911	268	2,00	79	6170	89	150	200/250/400
(V)	66	21	15	66	3,5	910	-	73,1	118	396	58,8	29,4	436	61,4	100/150/200
Neutraloin- tiskyky (Ca%)	14 %	35,7 %	33 %	6,5 %	30,4 %	29,1 %	38 %	-	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko 8.2. Inkuboitujen näytteiden 2-vaiheisen ravistelutestin L/S 10 liuennneiden aineiden määrät eri tutkimuksissa Auri ym. (2022) (GTK), Potila ym. (2022) ja Ilonen ym. (2023) (Ramboll) verrattuna kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvoihin sekä MARA-asetuksen raja-arvoihin.

	Ramboll 2023							Ramboll 2022				GTK 2022			
Neutraloivan aineen määrä m-%	0	5,9	11,8	2,3	4,6	2,4	4,8	17	4	3	0	0	Vertailuarvot		
Inkuboitu näyte	Hasu II Pori	Ravo-tuhka VK1	Ravo-tuhka VK2	Kyvo-tuhka VK1	Kyvo-tuhka VK2	Nordkalk VK1	Nordkalk VK2	Tuhka 1	Tuhka 2	Aito plus	Hasu-savi 0-näyte	0-näyte	Pysyvä jäte	Vaaraton jäte	MARA-asetus, valli
	mg/kg, LS = 10														
Sb	<0,01	0,57	0,83	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,06	0,7	0,7
As	0,012	0,32	0,41	0,076	0,031	0,049	0,051	0,18	0,11	<0,01	0,017	<0,07	0,5	2	0,5
Ba	<0,05	0,66	0,57	0,24	0,36	0,15	0,12	0,69	0,57	0,7	0,4	0,4	20	100	20
Hg	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,01	0,01	0,2	0,03
Cd	0,057	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,06	0,2	0,04	1	0,04
Cr	0,57	0,097	0,033	0,018	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,012	0,15	<0,1	0,5	10	1
Cu	1,8	0,17	0,23	0,095	0,1	0,053	0,075	0,06	0,089	0,074	2,3	0,5	2	50	10
Pb	<0,005	<0,005	0,007	<0,005	<0,005	<0,005	0,012	0,006	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	0,5	10	0,5
Mo	0,033	1	1,4	0,49	0,46	0,34	0,28	0,18	0,4	0,11	<0,01	<0,05	0,5	10	1
Ni	6,3	0,052	0,065	0,047	0,032	0,028	0,038	0,023	0,028	0,029	5,8	6,4	0,4	10	1,2
Se	0,083	<0,04	0,057	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,043	<0,04	<0,04	<0,04	<0,05	0,1	0,5	1
Zn	13	<0,05	0,076	<0,05	0,057	<0,05	0,09	0,055	0,08	0,11	7,4	27,7	4	50	15
V	0,12	0,25	0,13	0,26	0,066	0,26	0,2	0,097	0,12	0,018	0,031	<0,2	-	-	2
Kloridi	1100	1400	1900	1200	1300	1100	870	110	<50	<50	<50	7637	800	15 000	1800
Sulfaatti	20000	6500	14000	3300	6200	3400	4200	4800	5800	5600	3600	18360	1 000	20 000	3400
Fluoridi	11	14	6,9	7,1	<5	8,9	<5	<5	<5	<5	6,5	8,1	10	150	30
DOC	200	230	200	260	190	250	250	230	400	330	430		500	800	500
TDS								9400	11000	10000	5800		4 000	60 000	-
pH (L/S=8)	3,3	6,1	7,5	8,7	8,3	8,2	5,1	7,4	8,3	7,9	3,4	3,37	-	6≤	-

9 Ympäristöominaisuuksien viitearvoja

Stabiloidulle materiaalille ei ole nykyisin käytössä suoraa sovellettavia ympäristökelpoisuuden raja-arvoja. Toteutetuissa kohteissa ja toiminnan ympäristökelpoisuuden osoittamisessa on sovellettu mm. MARA-asetusta, PIMA-ohjearvoja, kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvoja ja vanhimmissa kohteissa VTT:n ja SYKE:n ohjeistamia diffuusiotestien liukoisuusarvoja. Ympäristökelpoisuutta on, erityisesti haitta-ainepitoisen sedimentin massastabilointikohteissa, perusteltu viime aikoina riskinarvion kautta. Testausmenetelmistä ja riskinarviosta on koottu kuvaukset liitteeseen 1.

Koestabilointikohteissa, joissa on käytetty jätepohjaisia sideaineita, on edellytetty tehtäväksi pohjavesiseurantoja. Pohjaveden pilaantuneisuuden arviointiin ei ole lainsäädännössä ohjearvoja. Yhtenä vertailutasona pitoisuuksien vertailuun on käytetty Valtioneuvoston asetuksessa 1040/2006 esitettyjä pohjaveden ympäristölaatonormeja, jotka on tarkoitettu pohjaveden kemiallisen tilan arviointiin. Ympäristölaatonormien avulla ei voi suoraan määrittellä pohjaveden aiheuttamia terveysriskejä.

9.1 Toteutetuissa kohteissa käytettyjä raja-arvoja

Tiedossa olevien toteutuskohteiden raja-arvoja on koottu liitteiden 2–4 kohdekuvauksiin. Kohdekohtaisten ympäristölupien yhteinen piirre on, että niissä on voitu määrittää raja-arvot, joiden perusteluista heijastuu sijoituskohteen tarve, sijoitettavan materiaalin määrä, ympäristön herkkyyss sekä tehtyjen ennakkoselvitysten laajuus.

Taulukkoon 9.1. on koottu kohdekohtaisia ympäristöluvista esitettyjä raja-arvoja (Lähde <https://ylupa.avi.fi/fi-FI>).

Ruoppausmassojen stabilointi ja luvitus voidaan tehdä useassa vaiheessa, kuten on toimittu esimerkiksi Kokkolan satamassa. Ensimmäisessä ympäristöluvassa stabiloitavien massojen määrää rajoitettiin, mm. menetelmän uutuusarvon sekä erityisen voimakkaiden haitta-ainepitoisuuksien vuoksi. Kohteessa suoritettujen ensimmäisten stabilointien ja siitä suoritettujen laadunvalvontatutkimusten jälkeen uusille alueille saatiin ympäristölupa jo selkeästi suuremmille määrille. Apuna määrittelyssä käytettiin mm. Kohdekohtaista riskinarviota.

Taulukko 9.1 Ympäristöluvista ja koetointailmoituksista poimittuja ympäristökelpoisuuden raja-arvoja ja teknisten kelpoisuuksien kriteereitä syvästabilointikohteissa. M = Massastabilointi ja P = pilaristabilointi.

Kohde	Ympäristökelpoisuuden raja-arvot	Vedenläpäisevyys stabiloidulla koekappaleella testattuna (k-arvo max.)	Muuta huomioitavaa	M / P
Kokkolan satama ^(a)	diffuusiotesti, SYKE raja-arvot (Sorvari, 2000)	k-arvo 5×10^{-8} m/s	Todennettu stabiloituavuuskokeilla	M
Turku Lauttaraanta ^(b)	2-vaiheinen ravistelutesti, pysyvä jäte + korotettuja pitoisuuksia	k-arvo 1×10^{-7} m/s.	Todennettu riskinarviolla. Edellytti lupamuutosta.	M
Rauma, Järviuodon allas ^(c)	2-vaiheinen ravistelutesti, pysyvä jäte	k-arvo 5×10^{-8} m/s	Reseptin soveltuvuus todennettu stabiloituavuuskokeilla. Lupamuutos viireillä	M
Uusikaupunki, Yara ^(d)	Ei määräksiä raja-arvoista. Toteutuksen yhteydessä testattiin liukoisuudet diffuusiotestillä sekä 1-vaiheisella ravistelutestillä	k-arvo 5×10^{-8} m/s	Todennettu stabiloituavuuskokeilla	M
Turku, Pansio ^(e)	Hyväksytty stabilointisuunnitelma	k-arvo 5×10^{-8} m/s	Todennettu stabiloituavuuskokeilla	M
Turku, Topinpuisto ^(f)	2-vaiheinen ravistelutesti, korotetut raja-arvot	--	Todennettu koestabiloinneilla ja stabiloituavuuskokeilla	P
Helsinki, Kalasatama - Pasisila raitiotie ^(g)	Stabiloinnissa käytetyn, uusisideainetta sisältävän reseptin ympäristökelpoisuus varmennetaan hakijan esittämällä hyväksymismenettelyllä (vertailu kaupallisen ja uusiosideaineilla saavutettavien stabiloitujen kappaleiden liukoisuusarvoihin).	--	Jäteperäisestä sideaineesta tulee toimittaa Helsingin kaupungin ympäristöseuranta- ja -valvontayksikköön hyväksyttäväksi erillinen selvitys. Todennettu stabiloituavuuskokeilla	P
Helsinki, Kunnikaantammi ^(h)	Cr, Cu ja Zn kokonaispitoisuudet stabiloidussa maa-aineksessa eivät saa ylittää Vna 214/2007 määritetyjä ylempiä ohjearvoja. Testitulokset stabiloiduista koekappaleista tulee esittää ympäristöseuranta- ja -valvontayksikölle vähintään kaksi viikkoa ennen koetointinnan aloittamista	--	Todennettu stabiloituavuuskokeilla	P

- a) Dnro ESAVI/290/04.08/2010 (määräykset 3.1–3.4) sekä Dnro LASSAVI/79/04.08/2014
 b) Nro 441/2020, ESAVI/12983/2018 ja Nro 378/2022, ESAVI/14726/2022
 c) Dnro ESAVI/20656/2018
 d) Nro 113/2013/2 Dnro ESAVI/279/04.08/2012
 e) Nro 39/2008/2 JA Nro 55/2008/2, Dnro LSY-2008-Y-224
 f) Nro 2/2022 Dnro ESAVI/42643/2021 ja Nro 101/2023 ESAVI/38371/2022
 g) HEL 2021-006654 T 11 01 00 00
 h) HEL 2020-0039719 T 11 01 00 00

Taulukkoon 9.2 on koottu eri sideaineilla stabiloiduista pilari- ja massastabilointikohteista mitattuja liukoisuusarvoja ja verrattu näitä erilaisiin viitearvoihin. Taulukossa on esitetty mm. Topinpuiston koetoiminnan ja Lauttarannan ympäristöluvan raja-arvot. Taulukossa on esitetty myös MASA-asetusluonnoksessa (Ympäristöministeriö 2018) esitettyjä hyödynnettävän haitallisia aineita sisältävän maa-ainesjätteen sekä kiinteytettävän maaperän tai maa-aineksen suurimmat sallitut haitallisten aineiden liukoisuudet maarakentamiskohteissa.

Koostetaulukosta 9.2 voidaan havaita, että MASA-asetusluonnoksen viitearvot sijoittuvat kaato- paikkakelpoisuuden pysyvän ja vaarattoman jätteen viitearvojen väliin. Lauttarannan ympäristöluvassa määrätty raja-arvot, jotka on määritetty kohdekohtaisen riskinarvion perusteella, ovat joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta pysyvän jätteen viitearvon tuntumassa. Korotettu raja-arvo on saatu arseenille, kromille, kuparille, lyijylle, molybdeenille, nikkelille, seleenille ja DOC:lle. Meren läheisyyden vuoksi raja-arvoa ei tarvittu kloridille, fluoridille tai sulfaatile. Sulfaattia esiintyy merellisessä ympäristössä luontaisesti satojen milligrammojen pitoisuuksina. Suomen järvissä luontaiset sulfaattipitoisuudet ovat alhaisia, muutamia milligrammoja. (SYKE 2020)

Verrattaessa viitearvoja puolestaan pilaristabilointikohteiden Topinpuisto (Turku) ja Kuninkaantammi (Helsinki) minimi ja maksimipitoisuuksiin, havaitaan pysyvän jätteen viitearvojen ylityksiä arseenin, lyijyn, molybdeenin, nikkelin, kloridin ja sulfaatin maksimipitoisuuksissa. Massastabiloiduissa kohteissa, joissa runkoaine on sisältänyt haitta-ainepitoisuuksia, pysyvän jätteen viitearvon ylityksiä havaittiin nikkelin minimipitoisuuksissa sekä nikkelin, arseenin, kuparin, molybdeenin, seleenin, DOC:in, kloridin, sulfaatin ja fluoridin maksimipitoisuuksissa.

Sideaineiden ja pH:n nousun aiheuttamaa liukoisuuden kohoamista voidaan edellisen perusteella katsoa tapahtuvan arseenille, molybdeenille ja nikkelille. Pitoisuusnousut jäävät kuitenkin selvästi alle Lauttarannan raja-arvojen sekä MASA-asetusluonnoksen 2018 viitearvojen.

Taulukossa 9.2 esitetyn perusteella voidaan todeta muutamista haitta-aineista seuraavasti:

- Korkeatkin sinkin kokonaispitoisuudet pidättyvät hyvin emäksiseen stabiloituun massaan. Esimerkiksi Kokkolan yli ylemmän ohjearvon kokonaispitoisuudet eivät näy liukoisina pitoisuuksina lainkaan. Vasta kokonaispitoisuuden 2200 mg/kg omaavalla massalla havaittiin 2-vaiheisissa ravistelutesteissä laboratorion määritysrajatasoa olevia liukoisia pitoisuuksia.
- Molybdeeni ja nikkeli liukenivat Kokkolan kohteen emäksisistä seoksista ja ylittivät useissa tapauksissa pysyvän jätteen liukoisuuden raja-arvon, vaikka niiden kokonaispitoisuudet olivat seoksissa varsin alhaisia. Molybdeenille ei ole annettu PIMA-ohjearvoa. Nikkelin kynnyсарvo on 50 mg/kg. Testatuissa Kokkolan seoksissa nikkelin pitoisuus oli 10–17 mg/kg. Kuninkaantammessa nikkeliä ei puolestaan liennut juuri lainkaan, vaikka pitoisuudet olisivat noin nelinkertaisia Kokkolaan verrattuna.
- Muiden haitta-aineiden osalta tulokset eivät olleet johdonmukaisia vaan pikemminkin satunnaista vaihtelua oli havaittavissa. Pitoisuudet ja liukoisuudet olivat varsin alhaisia sekä kokonaispitoisuuksina että liukoisina pitoisuuksina.

Taulukko 9.2 Ympäristö- ja koetointaluvissa käytettyjä liukoisuuden raja-arvoja sekä analysoituja stabiloidun massan liukoisuusarvoja.

Parametri	Kaatopaikkakelpoisuuden viitearvot		MASA-asetusluonnos 2018	Koetointipäätös, Topinpuisto	Ympäristölupa, Lauttaranta	Pilaristabilointikohteet		Massastabilointikohteet	
	Pysyvä jäte	Vaaratön jäte				min	maks	min	maks
	Liukoisuus (mg/kg, L/S 10)								
Anti-moni	0,06	0,7	0,7	0,7	-	<0,03	<0,05	<0,01	<0,01
Arseeni	0,5	2	2	2	1	<0,05	0,8	0,011	0,8
Barium	20	100	100	100	20	0,328	1,05	0,25	2,7
Elohopea	0,01	0,2	0,03	0,03	0,01	<0,002	<0,004	<0,004	<0,004
Kadmium	0,04	1	0,06	0,06	0,04	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005
Kromi	0,5	10	10	10	1	<0,06	0,136	<0,01	0,48
Kupari	2	50	50	50	4	0,084	1	0,12	3,2
Lyijy	0,5	10	10	10	1	0,0145	0,7	<0,005	0,016
Molybdeeni	0,5	10	10	10	10	<0,1	2,16	0,13	1,8
Nikkeli	0,4	10	10	10	10	<0,1	0,8	0,87	1,6
Seleeni	0,1	0,5	1	1	0,5	0,04	0,068	<0,04	0,16
Sinkki	4	50	50	50	4	0,143	<0,8	<0,05	0,1
Vanaadiini	-	-	10	10	5	<0,1	1,7	0,03	1,2
DOC	500	800	-	-	2000	32,3	232	190	880
Kloridi	800	15000	15000	15000	-	18,6	732	260	4500
Sulfaatti	1 000	20000	20000	20000	-	8	3370	140	4300
Fluoridi	10	150	150	150	-	<2,0	10,4	<5	11
pH	-	-	-	-	-	10,8	12,4	10,3	11,9

10 Sideaineet ja ympäristölainsäädäntö

Uusiomateriaaleilla tarkoitetaan yleiskielessä monenlaisia sekundäärisiä materiaaleja, kuten teollisuuden sivuvirtoina muodostuvia tuhkia ja kuonia, betoni- ja tiilimurskeita, rengasrouheita ym., jotka soveltuvat sellaisenaan tai jalostettuina käytettäväksi maarakentamisessa. Termiä *uusiomateriaali* ei sellaisenaan tunneta lainsäädännössä tai standardeissa, mutta se on vakiintunut käyttöön infra-alalla. *Uusiosideaineilla* tarkoitetaan puolestaan syvästabiloinnin sideaineita, jotka sisältävät uusiomateriaaleja eli sivutuote- tai jättepohjaisia teollisuuden sivuvirtoja (esim. kuona, lentotuhka, kipsi). Uusiosideaine voi olla tuotteistettu tai tuotteistamaton.

Jätejakeiden hyödyntämistä edistämään on luotu lainsäädäntöä, konkreettisimmin MARA-asetus (VN 843/2017) ja tulevaisuudessa monen lainsäädännöltään puutteellisen asian toivotaan ratkeavan myös ympäristölainsäädännön ja nk. MASA-asetuksen valmistelussa. Kun halutaan ja on tar-

koituksenmukaista lisätä sideaineissa jäteperäisten jakeiden osuutta, on jätteeksi määrittelyn päättymisen tärkeää. Materiaalikohtaisesti voidaan hakea sivutuotemäärittelyä sideainekäyttöön tai vaativampana menettelynä käynnistää kansallinen ei enää jätettä menettely (EEJ).

Tuotteistuksen lähtökohtana on joka tapauksessa se, että tuote on tasalaatuista, se toimii halutuilla maalajeilla ja sen ympäristökelpoisuus eri sekoitussuhteissa ja tavanomaisissa käyttökohteissa tiedetään.

10.1 Sementtistandardi

Useimmissa stabiloinnin sideaineseoksissa on mukana sementtiä. Sementtien koostumusta ja teknisiä vaatimuksia määrittelee eurooppalainen standardi EN 197-1:2011 "Cement. Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements", joka on vahvistettu Suomessa kansalliseksi standardiksi SFS-EN 197-1 ("Sementtistandardi").

Sementtistandardi määrittelee 27 yleistä sementtiä. Yleiset sementit on jaettu viiteen päätyyppiin, jotka on nimetty etuliitteellä CEM ja roomalaisin numeroin I - V. Jokaiselle sementille on määritetty sementtistandardissa koostumusrajat eri ainesosille (%-kuivamassasta). Sementtien päätyypeissä ainoastaan CEM I:n ei ole määritelty sisältävän uusiomateriaaleja. Sementeissä CEM II – CEM V on määritelty olevan uusioaineita 6–95 % massamäärästä mitattuna. Sementtistandardin mukaisia sementtejä on hyödynnetty vapaasti syvästabiloinnin sideaineena ilman ympäristölupaa.

10.2 Sivutuotemenettely

Suomessa sivutuotteiden käsittelyyn ja hyödyntämiseen liittyy lainsäädäntöä, joka on suunniteltu suojelemaan ympäristöä ja ihmisten terveyttä. Aluehallintovirastot valvovat ja myöntävät luvat sivutuotteiden käsittelyyn liittyville toimijoille.

Sivutuotteet määritellään jätelaissa (646/2011) niin, että ne ovat aineita tai esineitä, joita syntyy tuotannon tai muun toiminnan sivutuotteina ja jotka eivät ole pääasiallinen tuotteen tarkoitus. Ne eivät ole jätettä, vaan niitä voidaan hyödyntää kun:

- aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus,
- ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraa sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muunnettu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti,
- aine tai esine syntyy tuotannon olennaisena osana, sekä
- aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Sivutuote ei ole jätettä eikä sen sääntelyyn sovelleta jätelakia. Sivutuote rinnastetaan mihin tahansa tuotteeseen ja se kuuluu kyseistä tuotetta säätelevien tuotesäännösten piiriin (Koivisto ym. 2016). Olennaista on osoittaa aluehallintovirastolle esitettävässä hakemuksessa sideainekäyttöön tulevan materiaaliin käyttötarve ja kysyntä, siten että materiaalia voidaan käyttää samaan tarkoitukseen kuin vastaavaa tuotetta, eikä tämä edellytä pitkäaikaista varastointia. Materiaalia tulee voida käyttää sellaisenaan, eikä erityisiä teollisia muuntamistoimia tarvita. Tavanomaisia teollisia käytäntöjä, joita ei katsota muuntamistoimiksi voivat olla mekaaninen murskaus, seulonta, suodattaminen, kuivaus ja jatkokäytön kannalta tarpeellisten aineiden lisäys ja laadunvalvontatoimet. Materiaalin synty tuotantoprosessin olennaisena osana sekä sen ympäristökelpoisuus tulee myös osoittaa. Sen tulee täyttää suunnitellun käytön vaatimukset sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset. (Järvinen, 2013)

10.3 EEJ-menettely

Jätteeksi luokittelun päättymistä koskevat kriteerit esitetään jätelain 646/2011 pykälässä 5b. Jäte, joka on kierrätetty tai muuten hyödynnetty, ei ole enää jätettä, jos:

- sitä on määrä käyttää erityisiin tarkoituksiin,
- sillä on markkinat tai kysyntää,
- se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten ja standardien mukainen ja
- sen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Kaikkien perusteiden on täytyttävä samanaikaisesti. Toiminnanharjoittajilla ja viranomaisilla on osittain eriävät käsitykset laissa säädettyjen EEJ- ja sivutuotekriteerien tulkinnasta ja päätösharkinnan luonteesta (UTU työryhmä 2022).

10.4 UTU-työryhmä

Ympäristöministeriö asetti 23.8.2021 uusiomateriaalien tuotteistamista käsittelevän UTU-työryhmän seuraamaan ja kehittämään jätteeksi luokittelun päättymistä (ei-enää-jätettä, EEJ) ja sivutuotteita koskevaa sääntelyä ja hallintokäytäntöjä (UTU-työryhmä, 2023).

Työryhmän tehtävänä oli erityisesti:

- kartoittaa nykyiseen jätteeksi luokittelun päättymistä ja sivutuotteita koskevaan tapauskohtaiseen päätöksentekoon liittyviä kokemuksia ja seurata tapauskohtaista jätteeksi luokittelun päättymistä ja sivutuotteeksi luokittelua koskevaa hallintokäytäntöä,
- tarkastella tapauskohtaisen jätteeksi luokittelun päättymistä ja sivutuotteeksi luokittelua koskevan päätöksenteon menettelyllisiä kehittämismahdollisuuksia (mukaan lukien tapauskohtaisen päätöksentekomenettelyn keventäminen ja keskittäminen yhdelle viranomaiselle) ja tehdä esitys tätä koskevista lainsäädäntömuutostarpeista,
- arvioida tarvetta ja toimintatapoja kansallisten jätelajikohtaisten EEJ-asetusten säätämiselle ja
- seurata EU:ssa tapahtuvaa kehitystä ja tarvittaessa tunnistaa vaikutuskohteita (esimerkiksi liittyen jätelajeihin, joiden osalta EU-harmonisointi olisi tarpeen tai hyödyllinen).

Työryhmän tehtävänä oli ottaa työssään huomioon myös jätteeksi luokittelun päättymiseen ja sivutuotesääntelyyn liittyvä tuote- ja kemikaalilainsäädäntönäkökulma.

Vaihtoehtojen vertailun perusteella (väliraportti 30.6.2022) työryhmä ehdotti, että tapauskohtainen päätös tehtäisiin uudessa, jätelaissa säädettävässä menettelyssä, ja päätöksentekotoimivalta keskitettäisiin yhdelle viranomaiselle. Uusi menettely koskisi sekä EEJ-päätöksiä että sivutuotteeksi määrittelyä. Työryhmä arvioi, että näin saavutettaisiin parhaiten päätöksentekomenettelyn kehittämiseksi asetetut tavoitteet, erityisesti päätöksenteon sujuvuus, ennakoitavuus ja toiminnanharjoittajien yhdenvertaisuus. Uuden menettelyn kehittämisen lisäksi työryhmä ehdotti EEJ- ja sivutuotepäätöksiä koskevan päätöstietokannan perustamista ja kehittämistä, uusiomateriaalien ympäristövaikutusten ja riskienarvioinnin kehittämistä systemaattisemmaksi. Työryhmä tunnisti jatkovalmistelussa tarkemmin tarkasteltaviksi erityisesti seuraavat seikat:

- tapauskohtaisessa päätöksenteossa uuden toimivaltaisen viranomaistahon selvittäminen,

- uuden tapauskohtaisen päätöksentekomenettelyn ja muiden menettelyiden, erityisesti ympäristöluvituksen, välinen tarkempi edellytyssuhde- ja asianosaistarkastelu,
- päätöksenteolle mahdollisesti asetettavan tavoiteajan tarkastelu,
- viranomaisresurssien lisääminen ja niiden tehokas käyttö,
- tapauskohtaista päätöksentekoa koskevien lomakkeiden sekä tietojärjestelmien päivittämistarpeet ja
- kemikaali- ja tuotesääntelyn sekä tapauskohtaisen päätöksenteon rajapintojen tarkastelu.

10.5 Lainsäädännön kehitysnäkymiä

Edellä kuvatut sivutuotestatus ja EEJ-menettely edistynevät lähivuosien aikana UTU-työryhmän esittämällä tavalla. Uusiosideaineille menettely mahdollistaisi niiden käytön ilman kohdekohtaista ympäristölupaa. Menettely olisi edelleen tuottaja- ja laitoskohtaista.

Uusiosideaineiden käytön edistämiseksi on ollut kehitteillä myös nk. MASA-asetus. Ympäristöministeriö ja SYKE valmistelivat vuosien 2015–2018 aikana ehdotuksen uudeksi valtioneuvoston asetukseksi, joka koski maa-ainesjätteen hyödyntämistä maarakentamisessa (MASA-asetus) ilmoitusmenettelynä. Ehdotuksen yleisenä tavoitteena oli rakentamisen ja vastaavan toiminnan yhteydessä syntyvän, jätteeksi luokiteltavan maa-aineksen sekä maaperän kiinteytyksen sideaineeksi soveltuvan jätteen hyödyntämisen turvallinen edistäminen. Asetusehdotukseen saatiin noin 50 lausuntoa, joissa siihen ehdotettiin tehtäväksi huomattavia muutoksia. Ympäristöministeriön ja SYKEN yhteistyönä on valmisteilla täysin uusi lainsäädäntöratkaisu. (Jylhä ym. 2021). Ympäristöministeriön www-sivulla on mainittu ”*Tarkoituksena on, että hallituksen esitys ja valtioneuvoston asetus annetaan syysistuntokaudella 2024*” (<https://ym.fi/rakentamisen-maa-ainesten-hyodyntaminen>).

Asetusluonnoksessa uusiosideaineet on esitetty kiinteytykseen käytettävänä reaktiivisina jätteinä, joiden soveltuvuus kiinteytykseen rakentamistarkoituksessa on osoitettu. Sideaineina käytettäviä jätteitä asetuseruonnoksessa on esitetty taulukossa 10.1. Asetuseruonnoksessa annetaan raja-arvot kiinteytetyn maa-aineksen liukoisille haitta-aineille ja kriteereitä laadunvarmistukseen (Ympäristöministeriö 2018).

Taulukko 10.1 Sideaineina käytettävien aineiden tunnusnumerot ja jätenimikkeet (Ympäristöministeriö 2018).

Tunnusnumero	Jätenimike
10 01 01	kattilatuhka
10 01 02	kivihiilen poltossa syntyvä lentotuhka
10 01 03	turpeen ja käsittelemättömän puun poltossa syntyvä lentotuhka
10 01 05	savukaasujen rikinpoistossa syntyvät kiinteät kalsiumpohjaiset reaktiojätteet (rikinpoiston lopputuote)
10 01 15	rinnakkaispoltossa syntyvä kattilatuhka
10 01 17	rinnakkaispoltossa syntyvä lentotuhka
03 03 09	meesa (kalsiumoksidi)
06 09 04	kipsi (fosforikemikaalien valmistuksessa syntyvä jäte)
10 13 01	polttamattomat raaka-aineseosjätteet
10 13 04	kalkin kalsinointi- ja hydratointijätteet

11 Yhteenveto

Syvästabiloinnin tavoitteena on parantaa pehmeän maa-aineksen (esim. saven) teknisiä ominaisuuksia. Syvästabiloinnissa sekoitetaan maa-ainekseen kuivaa sideainetta, joka reagoi maa-aineksen kanssa muodostaen pystysuuntaisia pilareita (pilaristabilointi) tai lujittuneen maakerroksen (massastabilointi). Pilaristabilointia on tehty Suomessa 1970-luvulta ja massastabilointia 1990-luvun alusta. Menetelmän käyttö on pehmeikkörakentamisessa vakiintunutta ja erittäin tarpeellista rakentamisen siirtyessä enenevässä määrin pehmeiköille.

Stabilointi nk. kaupallisilla sideaineilla, esim. kalkkisementillä, on hyvin CO₂-päästöintensiivistä. Käyttämällä sideaineissa teollisuuden sivuvirtoja ovat CO₂-päästöt oleellisesti pienemmät. Käytössä on joitakin kaupallisia (tuotteistettuja) uusiosideaineita, joiden raaka-aineilla ei ole jätestatusta ja joiden käyttäminen ei edellytä ympäristöluvitusta. Kaupallistettujen uusiosideaineiden valikoiman laajentamiseksi tulee uusiosideaineiden raaka-aineita vapautua jätestatuksesta tai ympäristöluvaprosessin selkeytyä ja nopeutua nykyisestä kierrätystä ja uusiosideaineita helpottavaksi.

Raportissa on esitelty sideaineiden sekä stabiloidun maan sisältämien aineiden kokonaispitoisuuksia ja stabiloidun lujittuneen maan liukoisuuksia. Lisäksi on esitelty syvästabiloiduissa kohteissa tehtyjen ympäristöseurantamittausten tuloksia (pohjavesi, pintavesi, pilareita ympäröivä savikerros, yms.). Raportissa on esitelty 12 pilaristabilointikohdetta, 5 massastabilointikohdetta ja 5 stabiloitujen kaivumaiden hyödyntämiskohdetta, joissa on tehty seurantamittauksia ja tarkkailuja. Osassa näistä kohteista seuranta on toteutettu koetoiminta- ja/tai ympäristöluvan mukaisena tarkkailuna. Useissa Helsingin ja Vantaan kaupungin pilaristabiloiduissa kohteessa on oma-aloitteisena toimintana tehty seurantaa. Uusiosideaineilla toteutettujen kohteiden seurantatulokset vastaavat perinteisillä sideaineilla toteutettujen kohteiden tuloksia. Sekä kaupallisilla että tuotteistamattomilla uusiosideaineilla stabiloidusta maasta on analysoitu tyypillisesti kynnsarvopitoisuuksia sivuavia tai hieman ylittäviä pitoisuuksia, jotka ovat olleet usein samaa tasoa saven luontaisten pitoisuuksien kanssa. Mikäli massastabiloitu runkoaine on ollut jo valmiiksi haitta-ainepitoista, näkyvät kohonneet pitoisuudet myös stabiloidussa massassa.

Liukoiset pitoisuudet ovat syvästabiloidussa maassa yleensä alhaisia. Sideaineiden aiheuttama pH:n nousu sitoo erityisesti sinkin niukkaliukoiseen muotoon. Molybdeenin vaikuttaa muuttuvan alkupe-
räistä liukoisempaan olomuotoon emäksisessä ympäristössä. Kokonaispitoisuudet ovat tutkituissa kohteissa olleet kuitenkin hyvin alhaisia. Ympäristöluvitetuissa kohteissa jalostettujen materiaalien turvallinen sijoittaminen kynnsarvopitoisuudeltaan kohonneille tai liukoisuudeltaan pysyvän jätteen raja-arvon ylittävälle massoille on osoitettu mm. riskinarvion avulla.

Savikoilla, joilla syvästabilointia tyypillisesti tehdään, veden virtaus on hyvin hidasta eli haitta-aineita kuljettavaa elementtiä ei käytännössä ole, joten myös mahdolliset vaikutukset jäävät paikallisiksi ja kuvastavat tavanomaista rakentamisen aiheuttamaa "nuhraantunutta jälkeä". Lainsäädännön kehitys uusiosideaineiden käytön edistämiseksi ja toisaalta stabiloitujen kaivumassojen sijoittamisen helpottamiseksi on tervetullutta ja tarve tälle on akuutti. UTU-työryhmän esittämä sivutuotestatuksen ja EEJ-menettelyn sujuvoittaminen sekä Ympäristöministeriön ja SYKE:n valmisteleman MASA-asetuksen (2018) henkeä tavoitteleva uusi lainsäädäntöratkaisun nähdään erittäin tarpeellisena.

Perustuen tehtyihin seurantoihin, raportissa osoitetaan uusiosideaineiden suunnitelmallisen käytön turvallisuus tapauskuvausten ja niistä koottujen tarkkailutulosten kautta. Todetut vaikutukset jäävät koheesiomailla paikallisiksi, esim. savikerroksessa vaikutuksia on havaittavissa vain muutaman senttimetrin etäisyydellä pilarin ulkokehästä.

Kirjallisuus

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

Auri, J., Kaseva, A., Tarvainen, T., Kronberg, T., Eriksson, J.-E., Mattbäck, S., Nilivaara, R., Boman, A., Hänninen, H. & Suvanto, E. 2022. Maalle läjitetyn happoa tuottavan ruoppausmassan seuranta- ja neutralointitutkimukset. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 29/2022, 61 sivua, 50 kuvaa, 18 taulukkoa ja 3 liitettä. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/29_2022.pdf

Autiola M., Maijala A., Jyrävä H. ja Lahtinen P. 2009. LIFE06 ENV/FIN/000195-STABLE, Demonstraatiohankkeen loppuraportti 31.3.2009. <https://www.yumpu.com/fi/document/view/35031389/hankkeen-loppuraportti-yhteenvetoraportti-pdf-ramboll/475>

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

BY 2022. BY-vähähiilisyysluokitus, Osa 1, Taustaraportti 2022. Suomen betoniyhdistys. 22 s.

EcoIntellect 2023. Tuote-esite (luonnos). 18 s.

Ecolan. 2019. Suoritustasoilmoitus Nro 1. Rev. 19. (15.8.2019) ja "Ecolan InfraStabi65 sideaine infrarakentamiseen" -esite.

Finnsementti Oy, n.d. Tuotteiden tuote-esitteet ja EPD:t. <https://finnsementti.fi/tuotteet/>

Forsman, J. 2012. Potmäki, maisemointitäyttö. Pilottikohteen esittelykortti. LIFE09 ENV/FI/575 ABSOILS.

Forsman, J. 2023. Koestabilointia uusiosideaineilla 2020-luvulla Turussa, Vantaalla, Tampereella, Porvoossa ja Helsingissä. Suomen Geoteknillinen Yhdistys, SGY, Pohjanvahvistuspäivä 24.8.2023, Aalto-yliopisto. <https://sgy.fi/tapahtumat/pohjanvahvistuspaiva-2023/>

Forsman, J. 2023. Pohjanvahvistus, Syvästabiloinnin mahdollisuudet. Luento. Tampereen yliopisto 28.3.2023.

Forsman, J., Korkiala-Tanttu, L. & Piispanen, P. 2018. Mass Stabilization as a Ground Improvement Method for Soft Peaty Soil. Chapter 7 in open access -book "Peat", Intech, p. 107-139.

Forsman, J., Kreft-Burman, K., Lindroos, N., Hämäläinen, H., Niutanen, V. & Lehtonen, K. 2013. Experiences of utilizing mass stabilised low-quality soils for infrastructure construction in the capital region of Finland – case ABSOILS project. The XXVIII International Baltic Road Conference, Vilna, Liettua, 26.-28.8.2013.

Forsman, J., Lindroos, N., & Korkiala-Tanttu, L., 2015. Three mass stabilization phases in the West Harbour of Helsinki, Finland – geotechnical and environmental properties of mass stabilized dredged sediments as construction material. Deep Mixing 2015, 10.-12.6.2015 San Francisco.

Harju, I., Dettenborn, T., Forsman, J., Jyrävä, H. & Lahtinen, P. 2019. Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/168323/vt_2019-07_978-952-317-678-2.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Hassan, M. 2009. Engineering characteristics of cement stabilized soft Finnish clay - a laboratory study. Licentiate study. Helsinki University of Technology. 72 p.

Helsingin kaupunki 2022. Lausunto ympäristöluvan tarpeesta ID 22-03427. Helsingin kaupunki, Kaupunkiympäristön toimiala, Palvelut ja luvat, Ympäristöpalvelut, Ympäristöseuranta- ja -valvontayksikkö. 2.5.2022. 2 s.

Ikävalko, J. 2023. Pilaristabiloinnin kenttä- ja laboratoriolujuuksien suhde koestabilointikohteissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 76 s. + 146 liitettä

Ilonen E., Potila P ja Autiola M. 2023. Talviolosuhteet happamilla sulfaattimailla sekä tuhkat kalkin korvaajina neutraloinnissa. HaKaKo – Happamiensulfaattimaiden kansallinen koetoimintahanke. Tuloraportti 20.10.2023.

Jylhä H., Pyy O., Reinikainen, J., Sorvari, J., Tuomainen, J., Lappalainen, J., Mikkonen, J. ja Rouvinen E. 2021. Pilaantuneiden maa-alueiden hallintomenettelyjen kehittäminen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 10/2021. <https://helda.helsinki.fi/ser-ver/api/core/bitstreams/34519d42-81be-4a85-8c03-1996fcfe69f3/content>

Järvinen, K. 2013a. Jätelain muutokset ja tulkinnat. Ympäristönsuojelun ajankohtaispäivä, Hämeen ELY-keskus 27.11.2013.

Järvinen, K. 2023b. Ympäristöseurannan tuloksia. Malminkentän koestabiloinnin info 25.10.2023.

Karlstedt, P. & Halkola, H. 1993. Ylijäämäsavien massastabilointi. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, tiedote 61/1993, 78 s.

Ketonen, K. 2020. Pilaristabilointijätteen vähentäminen työmaalla. AMK-opinnäytetyö, Hämeenlinnan korkeakoulu, rakennusmestari. 33 s.

Kivi, E. 2021. Pohjanvahvistusmenetelmät Suomessa, käyttömäärät ja hiilijalanjälki. DI-työ, Aalto-yliopisto.

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. [Verkkokoaineisto]. Viitattu 31.05.2022. Saatavilla: https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf

Koivisto, K., Forsman J. ja Vaajasaari K., 2016. Uusiomateriaalien tuotteistamisohje maarakentamiseen. UUMA2-hanke. Uusiomateriaalit maarakentamisessa ohjelma 2013-2017. Raportti 20.5.2016. <https://uusiomaarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2023/10/Uusiomateriaalien-tuotteistamisohje-maarakentamiseen.pdf>

Kolis, P. 2022. Konalan maisemavalli. Kohdekortti: Konalan maisemavalli. Kortti 9-18. Saatavilla: https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Konalan%20maisemavalli%2C%20Kohde-kortti-2022_06_23.pdf

Koskinen, J. 2023. TapoEko, Uuden sideaineen tuotekehitys. UUMA-vuosiseminaari 15.11.2023. <https://uusiomaarakentaminen.fi/osaaminen/uuusiomaarakentamisen-seminaariaineistot/>

Koskinen, M. 2023. Syvästabiloinnin uusiosideaineet, työryhmä 7. UUMA-vuosiseminaari 15.11.2023. <https://uusioamaarakentaminen.fi/osaaminen/uuusiomaarakentamisen-seminaaraineistot/>

Kuusipuro, K. 2022. Nordkalk Terra-tuotteiden hiilijalanjälki pienenee. Esite. www.nordkalk.fi

Kuusipuro, K. 2022. SGY Pohjanvahvistuspäivä 2022. 25.8.2022. Esityskalvot. Saatavissa: <https://sgy.fi/content/uploads/2022/06/kuusipuro-stabilointimaarat-ja-sideaineet-kari-kuusipuro.pdf>

Lahtinen, P., Jyrävä, H. & Kuusipuro, K. 2000. "Deep Stabilisation of Organic Soft Soils". Paper for the Proceedings of the Grouting Soil Improvement Geosystems including Reinforcement of the 4th GIGS, the International Conference on Ground Improvement Geosystems, by the Finnish Geotechnical Society in Helsinki, 7-9. June 2000, pp. 89-98.

Leinonen, T. & Forsman, J. Topinpuisto, Turku: Yhteenveto koestabiloinnin ympäristötutkimuksista. 18.11.2022.

Leinonen, T. ja Forsman J. 2022. Topinpuisto, Turku. Yhteenveto koestabiloinnin ympäristötutkimuksista. Loppuraportti 18.11.2022.

Liikennevirasto 2015. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset – Suunnitteluvaiheen ohjaus, Liikenneviraston ohjeita 10/2015.

Liikennevirasto 2018a. Syvästabiloinnin suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 11/2018.

Liikennevirasto 2018b. Suihkuinjektointiohje. Liikenneviraston ohjeita 16/2018.

Lindroos N., Ronkainen M. ja Järvinen K., Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa, 2016, Ympäristöministeriön raportteja 8/2016. https://energia.fi/files/279/YM_Metsa- ja_energiateollisuuden_jatejakeiden_ymparistokelpoisuus_marakentamisessa_2016.pdf

Lindroos, N. & Salmi, T. 2014. Pansion eristyspengeraltaan pintarakenteiden tarpeellisuuden arviointi, asiantuntijalausunto. 29.8.2014. Turun Satama Oy.

Maijala, A., Forsman, J., Lahtinen, P., Leppänen, M., Helland, A., Håøya, AO & Konieczny, M. 2009. Cement stabilization and solidification - STSO, Review of techniques and methods. Binders, methods and techniques to stabilize / solidify polluted soil and sediment. 2009-01-28. 54 s.

Mäkelä, H., Höynälä, H., Halkola, H. & Kettunen, A. 2000. Viikin savikatu. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, julkaisu 81/2000.

Nguyen, T. 2021. Uusiosideaineet pilaristabiloinnissa, Kuninkaantammen koestabilointi. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 154 s.

Nordkalk. 2019. Käyttöturvallisuustiedote Norkalk Terra GTC. s. 15.

Niemelin, T., Ronkainen, M., Kreft-Burman, K., Forsman, J., & Suominen, M., 2015. Streamlined Life Cycle Case Studies: Utilising Surplus Soils in Civil Engineering Applications in Three Different Pilot Cases. WASCON 2015 - Santander, Spain, 10-12 June 2015.

Oldén, V-P. 2022. Koetoiminnan loppuraportti – Hipunkatu ja Hipunraitti Linnainmaa, Tampere. Tampereen kaupunki, Kaupunkiympäristön palvelualue.

Paatsema, M, & Kangas, H. 2003. Syvästabiloinnin pitkäaikaiset seurantatutkimukset. Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto, Geotekninen osasto, Julkaisu 87/2003.

Parkkinen, E. 1996. Utilization of industrial by-products to strengthen soft clayey and organic soils. Nordiska Geoteknikermötet, Reykjavík. 26.-28.6.1996. s. 1701-1704.

Piispanen, P. 2017. Massastabiloinnin pitkäaikaistoimivuus. Aalto-yliopisto. Diplomityö. 115 s.

Potila P., Ilonen M. ja Autiola M. 2022. Tuhkien käyttömahdollisuuksien selvittäminen happamien sulfaattimaiden käsittelyssä. Tulosraportti. 15.12.2022. Oulun Ammattikorkeakoulu. KASVU-hanke.

Ramboll 2023. TapoEko -maasementin valmistuksen kasvihuonekaasupäästö. 27.4.2023. 1 s.

Ramboll. 2022. Luhtitie työselostus. Ramboll Finland Oy 2022. Espoo.

Ramboll 2015. Mass stabilization manual. Täydennetty kohde-esittelyliitteillä 2018.

Ramboll, 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/images/2012--Ramboll--Tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf

Ramboll, 2014. Massastabilointikäsikirja, http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014_06_24.pdf

Reijonen, I. 2021. Kuninkaantammi. Yhteenveto koestabiloinnin ympäristötutkimuksista. Tutkimusraportti 28.05.2021.

Reijonen, I & Stolze, J, 2022. Kuninkaantammi: yhteenveto koestabiloinnin ympäristötutkimuksista – koetoiminnan loppuraportti. 28.10.2022 https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Kuninkaantammi_Koestabilointi_loppuraportti_28.10.2022.pdf

Sarkila, J., Mroueh, U-M. & Leino-Forsman, H. 2004. Pilaantuneen maan kunnostaminen ja laadunvarmistus. Ympäristöopas 110. Suomen ympäristökeskus. ISBN 952-11-1601-3 (PDF)

SFS-EN 12457-3 Jätteiden karakterisointi. Liukoisuus. Rakeisten jätemateriaalien ja lietteiden liukoisuuden laadunvalvontatesti. Osa 3: Kaksivaiheinen ravistelutesti uuttoliuoksen ja kiinteän jätteen suhteessa 2 l/kg ja 8 l/kg materiaaleille, joiden kiintoaineksen osuus on suuri ja raekoko alle 4 mm (raekoon pienentäminen tarvittaessa).

SFS-EN 14679+AC, 2005. Execution of special geotechnical works. Deep mixing. / Pohjarakennustyöt. Syvästabilointi. Standardi, vahvistettu 30.05.2005.

SFS-EN 197-1, 2012. Cement. Part 1: Composition, specifications, and conformity criteria for common cements. "Sementtistandardi", vahvistettu 23.11.2012.

Sorvari J., 2000. Ympäristökriteerit mineraalisten teollisuusjätteiden käytölle maarakentamisessa, Suomen ympäristö, 421

Suuri kalkkitaulukko, 2020. Maatilyrittäjän ammattilehti Käytännön Maamies. Agraari Oy.
<https://kaytannonmaamies.fi/wp-content/uploads/2020/06/iso-kalkkitaulukko-2020.pdf>

SYKE tiedote. 2020. Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan. SYKE tiedote 3.9.2020.
[Suomen ympäristökeskus > Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan \(syke.fi\)](https://www.syke.fi/fi/mediatiedotteet/2020/09/03/sulfaattikuormitus-voivaaarantaa-vesistojen-tilan)

Tapojärvi 2023. TapoEko -maasementin valmistuksen kasvihuonekaasupäästö, 27.4.2023. 1 s.

Tarvainen, T. ja Auri J. 2019. Turun taajama-alueen maaperän taustapitoisuudet. GTK Työraportti. 97/2019. Geologian tutkimuskeskus. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/97_2019.pdf

Tengvall, J. & Napari, M. 2020. Sepänmäen meluvalli. Loppuraportti. 25.9.2020 Kolis, P. 2022. Sepänmäen meluvalli. Kohdekortti 9–16. <https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Kohdekortti%20Sep%C3%A4nm%C3%A4en%20meluvalli%20Helsinki.pdf>

Tekniikka & Talous 2023. Helpotusta huutavaan materiaalipulaan: lentotuhka ei ole enää jätettä, vaan sementtiä halvempi raaka-aine. Lehtiartikkeli, 4.12.2023. 2 s.

Törnqvist, J. & Juvankoski, M. 2003, KT51 Kirkkonummen syvä- ja massastabiloitu koerakenne: loppuraportti, Helsinki 2003, Tiehallinto, Tekniset palvelut, Tiehallinnon selvityksiä 29/2003. 156 s. + liit. 98. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-080-4, TIEH 3200817

UTU-työryhmä. 2023. UTU-työryhmän mietintöluonnos huhtikuu 2023. <https://ym.fi/en/project?tunnus=YM045:00/2021>

UTU-työryhmä. 2022. Tapauskohtaisen jätteen luokittelun päättymistä ja sivutuotteita koskevan päätöksenteon kehittäminen. UTU-työryhmän väliraportti 30.6.2022. https://api.hankeikuna.fi/asiakirjat/6fc5a18f-7282-45fa-8be4-a54e094ce00e/7ada26ea-6048-4ace-8548-6ed2aea4fef5/KIRJE_20220630110604.PDF

Valjakka, T-W. 2022. Pilaristabiloinnin ympäristövaikutukset pinta- ja pohjavesissä. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo.

Vepsäläinen, P. & Arkima O. 1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. Tielaitoksen tutkimuksia 4/1992. 163 + 8 s.

Valtioneuvoston asetus (2007), Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: finlex.fi

Valtioneuvoston asetus (2013), Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013 Saatavilla sähköisesti osoitteessa: finlex.fi

Valtioneuvoston asetus (2017), Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: finlex.fi

Vulko, V. 2010. Kotkan Sataman autokenttien kunnossapito. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 59 s. + 15 liitettä.

Väylävirasto, 2022. Uusiomateriaalien käyttö väylä rakentamisessa. Väyläviraston ohjeita 20/2022. https://ava.vaylavirasto.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-20_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf

Väylävirasto, 2023. Infrarakentamisen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Luonnos 5.5.2023.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Walavaara, M. & Vahanne, P. 2001. Teollisuusjätteiden kaatopaikkakelpoisuus. VTT tiedotteita. 92 s.

Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J., 1997. Standardoidut liukoisuustestimenetelmät maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien ympäristötestauksessa, VTT Tiedotteita 1801.

Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J., 1997. Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa, VTT Tiedotteita 1852.

Ympäristöministeriö 2018. Lausuntopyyntö. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainestajteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. MASA-asetusluonnos, 2019 <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/ParticipationNonJsShowReport?proposalId=1c6a5969-09d7-4c75-8c80-b405b7063b42>

Ympäristöhallinto 6/2014: Ympäristönsuojeluasetus, 10.4.2014.

Ympäristöministeriö. 2015. Kaivetut maa-ainekset – jäteluonne ja käsittely. Muistio 3.7.2015. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto.

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. 2006, Strength of Stabilised Soil - A Laboratory Study on Clays and Organic Soils Stabilised with different Types of Binder, Doctoral thesis, Building Science.

Stabiloidun ja stabiloimattoman maan ympäristöominaisuuksien testaus- ja osoitusmenetelmät (liite 1.1) ja riskinarvio (liite 1.2)

2-vaiheinen ravistelutesti

2-vaiheisella ravistelutestillä (SFS-EN 12457-3) selvitetään yleisesti materiaalissa olevia liukoisia haitta-ainepitoisuuksia. Tutkittavasta materiaalista otetaan näyte, johon lisätään vettä niin, että veden ja kiinteän aineen suhde on 2 l/kg kuiva-ainetta. Näytettä ravistellaan, jotta vesiliukoiset haitta-aineet liukenevat veteen. Tämän vesi suodatetaan talteen ja näytteeseen lisätään vettä niin, että veden ja kiinteän aineen suhde on 8 l/kg kuiva-ainetta. Ravistelua jatketaan uudella seossuhteella, jolla voidaan varmistaa, että kaikki vesiliukoiset haitta-aineet ovat lienneet veteen. Tulokset ilmoitetaan neste/kiinteä -suhteessa (L/S-suhde) 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

Testi on nopea ja tulokset valmistuvat tyypillisesti laboratoriosta 2 viikon kuluessa. Testi soveltuisi hyvin laadunvalvontamenetelmäksi. Testiä suunniteltaessa on otettava huomioon, että testi soveltuu alle 4 mm raekoon materiaaleille, mutta raekokoa voidaan pienentää keinotekoisesti. Lisäksi materiaalin kuiva-ainepitoisuuden on oltava vähintään 33 %.

2-vaiheisen ravistelutestin analysoitavat parametrit ovat tyypillisesti samat kuin kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä. Tyypillinen parametristaus sisältää seuraavat parametrit: arseeni (As), barium (Ba), kadmium (Cd), kokonaiskromi (Cr_{kok}), kupari (Cu), elohopea (Hg), molybdeeni (Mo), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), antimoni (Sb), seleeni (Se), sinkki (Zn), kloridi (Cl⁻), fluoridi (F⁻), sulfaatti (SO₄²⁻), fenoli-indeksi, liuennut orgaaninen hiili (DOC) sekä liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS).

Esimerkki laajennetusta määrittämisestä: pH, sähkönjohtavuus, vanadiini (V), alumiini (Al), kalsium (Ca), rauta (Fe), mangaani (Mn), magnesium (Mg), natrium (Na) ja kalium (K).

Läpivirtaustesti

Läpivirtaustestillä (CEN/TS 14405) selvitetään haitta-aineita, jotka irtoavat materiaalista sekä missä järjestyksessä haitta-aineet irtoavat materiaalista. Tutkittavasta materiaalista otetaan näyte, joka pakataan kolonniin. Kolonnin läpi johdetaan hitaasti vettä, johon haitta-aineet liukenevat. Veden virtausta hallitaan niin, että kolonnissa on kokeen aikana seitsemän eri neste/kiinteä -suhdetta (L/S-suhde). Näistä seitsemästä suhteesta otetaan näytteet ja tutkitaan liukenevat haitta-ainepitoisuudet. Tulokset ilmoitetaan kumulatiivisissa L/S-suhteissa 2 ja 10.

Testin kesto riippuu testattavan materiaalin rakeisuudesta, tyypillisimmin kestäen viikkoja. Testiä suunniteltaessa on otettava huomioon, että testi soveltuu alle 4 mm raekoon materiaaleille, mutta raekokoa voidaan pienentää keinotekoisesti. Analysoitavat parametrit ovat tyypillisesti samat kuin 2-vaiheisessa ravistelutestissä.

Testimenetelmää käytetään yleisesti materiaalien haitta-aineiden liukoisten pitoisuuksien selvittämiseen ja testaustapa mahdollistaa pidempiaikaisten vaikutusten arvioinnin.

Pintaliukenemistesti

Pintaliukenemistestillä (CEN/TS 16637-2) selvitetään näytteen pinnasta ja sisällä olevasta huokosvedestä liukenevien haitta-aineiden pitoisuutta. Tutkittava näytekappale, jonka pinta-ala tiedetään, upotetaan veteen ja haitta-aineet pinnasta ja näytteen sisältä liukenevat veteen. Vettä vaihdetaan määritellyin aikaväleihin ja vaihdettavasta vedestä analysoidaan haitta-ainepitoisuudet. Yhteensä näytteitä kerätään kahdeksan. Testin tulos ilmoitetaan kumulatiivinen liuenut haitta-ainemäärä 64 vuorokauden mittaisen testin aikana testikappaleen pinta-alaa kohden ($\text{mg}/\text{m}^2/64 \text{ d}$).

Testi kestää 64 päivää, joka poissulkee sen erityisesti nopealla aikataululla tarvittavana laadunvalvontatestinä. Tutkimusmenetelmänä ja yhdessä laadunvalvontaan soveltuvan ravistelutestauksen kanssa menetelmä on käyttökelpoinen. Testimenetelmää käytetään erityisesti silloin, kun halutaan osoittaa ehyen stabiloidun rakenteen liukenemisominaisuuksia. Tyypillisesti pintaliukenemistestiä käytetään, kun ruoppausmassa stabiloidaan merestä eristettyyn läjitysaltaaseen. Pintaliukenemistestin tarkoitusta on kuvattu muun muassa Ympäristöministeriön raportissa 8/2016: Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maanrakentamisessa (Lindroos ym. 2016).

Stabiloitujen ruoppausmassojen kohdalla voidaan käyttää myös muokattua pintaliukenemistestiä (EA NEN 7375:2004), jossa kappale eristetään kaikilta muilta paitsi yhdeltä pinnalta. Näytteitä otetaan vain kolme. Tulokset ilmoitetaan kuten standardissa (CEN/ TS 16637-2) kumulatiivinen liuenut haitta-ainemäärä 64 vuorokauden mittaisen testin aikana testikappaleen pinta-alaa kohti ($\text{mg}/\text{m}^2/64 \text{ d}$).

Analysoitavat parametrit ovat tyypillisesti samat kuin 2-vaiheisessa ravistelutestissä (4.1) ja läpivirtaustestissä (4.2).

Pintaliukenemistestissä määritetyille liukoisuuksille ei ole sitovia raja-arvoja (Lindroos ym. 2016). Kiinteille rakennusmateriaaleille esitettyjä liukoisuustestin enimmäisliukoisuusrajoja-arvoja (VTT:n ja Suomen ympäristökeskuksen oppaat: Wahlström, 1996 ja Sorvari, 2000) voidaan käyttää haitta-aineiden tunnistamiseen, joiden liukoisuus kiinteytetystä materiaalista voi olla merkittävää. VTT:n oppaassa enimmäisliukoisuusraja-arvot on tarkoitettu materiaaleille, jotka sijoitetaan pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen (Ryhmä 1A) tai eristämättömänä ajoittain kosteaan sijoituspaikkaan (Ryhmä 1B). Suomen ympäristökeskuksen enimmäisliukoisuusraja-arvot ovat taas ehdotuksia sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden liukoisuusraja-arvoiksi Suomessa, kun sivutuoterakenne on enintään 0,7 m paksu.

LIITE 1.2

Riskinarvio

Stabiloidun, haitta-ainepitoisen ruoppausmassan sijoittaminen vaatii ympäristöluvan. Sijoituskohteet sijoittuvat useimmiten vesialueen välittömään läheisyyteen, joten menettelyn ympäristökelepoisuuden osoittamiseksi ei ole yleensä riittänyt pelkästään stabiloidun materiaalin tutkimukset. Useissa kohteissa ympäristölupa-aineistona on hyödynnetty vai ympäristöluvan osaksi on laadittu riskinarviota, jolla on voitu osoittaa mm. stabiloidun materiaalin sisältämien haitta-aineiden liukoisuusraja-arvojen turvallinen korottaminen esimerkiksi pysyvän jätteen raja-arvoista, ns. MARA-arvoista tai alueella hyödynnettävän ruoppausmassan korkeahkot kokonaispitoisuudet. Tarkastelu riskinarvioinnin avulla on aina kohdekohtaista.

Riskinarviointia on ohjeistettu Ympäristöhallinnon ohjeessa 6/2014. Ohjeistus on laadittu lähinnä pilaantuneen maa-alueen ja kestävä riskinhallinnan kohteisiin. Ohjetta voidaan soveltaa myös ympäristönsuojelulain edellyttämässä, pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamista koskevissa, arvioinneissa sekä muissa tarkoituksissa, joissa haitallisten aineiden aiheuttamia riskejä ja ympäristön pilaantumista on selvitettävä. Haitta-ainepitoisen ruoppausmassan stabilointi uusiosideaineilla on juuri edellä mainitun kaltainen muu kohde. Määrittelyä on avattu tarkemmin oppaan kappaleessa 4.2.4.

Riskinarvioinnin sisältövaatimukset vaihtelevat tapauskohtaisesti arvioinnin tarkoituksen ja tavoitteiden mukaan. Lähtökohdistaan riippumatta arviointiin tulee aina sisältyä haitta-aineiden lähteiden, haitallisten vaikutusten kohteiden sekä näiden välisen yhteyden ja merkityksen osoittaminen (Ympäristöhallinto 6/2014). Riskinarviossa arvioidaan haitta-aineiden osalta:

- ympäristön laatuun kohdistuvat kulkeutumiskit
- ihmisen terveyteen kohdistuvat terveysriskit
- elolliseen luontoon kohdistuvat ekologiset riskit
- riskinarvioinnin epävarmuudet ja johtopäätökset

Lähtötietoina käytetään mm. seuraavia tietoja:

- haitta-aineiden pitoisuudet ja kokonaismäärät
- maalajit ja maaperäolosuhteet tai merenpohjan sedimentin olosuhteet
- haitta-aineiden ominaisuudet
- taustapitoisuudet
- toimintahistoria ja alueen sekä lähiympäristön nykyinen käyttö
- pohja- ja vajovesiolosuhteet
- pintavesiolosuhteet

Riskinarviota laadittaessa hyödynnetään myös muita ohjeistuksia ja lainsäädäntöä monipuolisesti. Uusiosideaineiden osalta yksi tarkasteltava on nk. MARA-asetus (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (843/2017)).

Paikallaan olevien sedimenttien riskinarvioinnin opasta ollaan juuri julkaisemassa, jonka periaatteita voidaan tarvittavilta osin hyödyntää myös stabiloitujen sedimenttien riskien arvioinneissa. Uusi opas julkaistaneen vuoden 2023 aikana.

Pilaristabilointi, ympäristöseuranta, kohdekuvaus

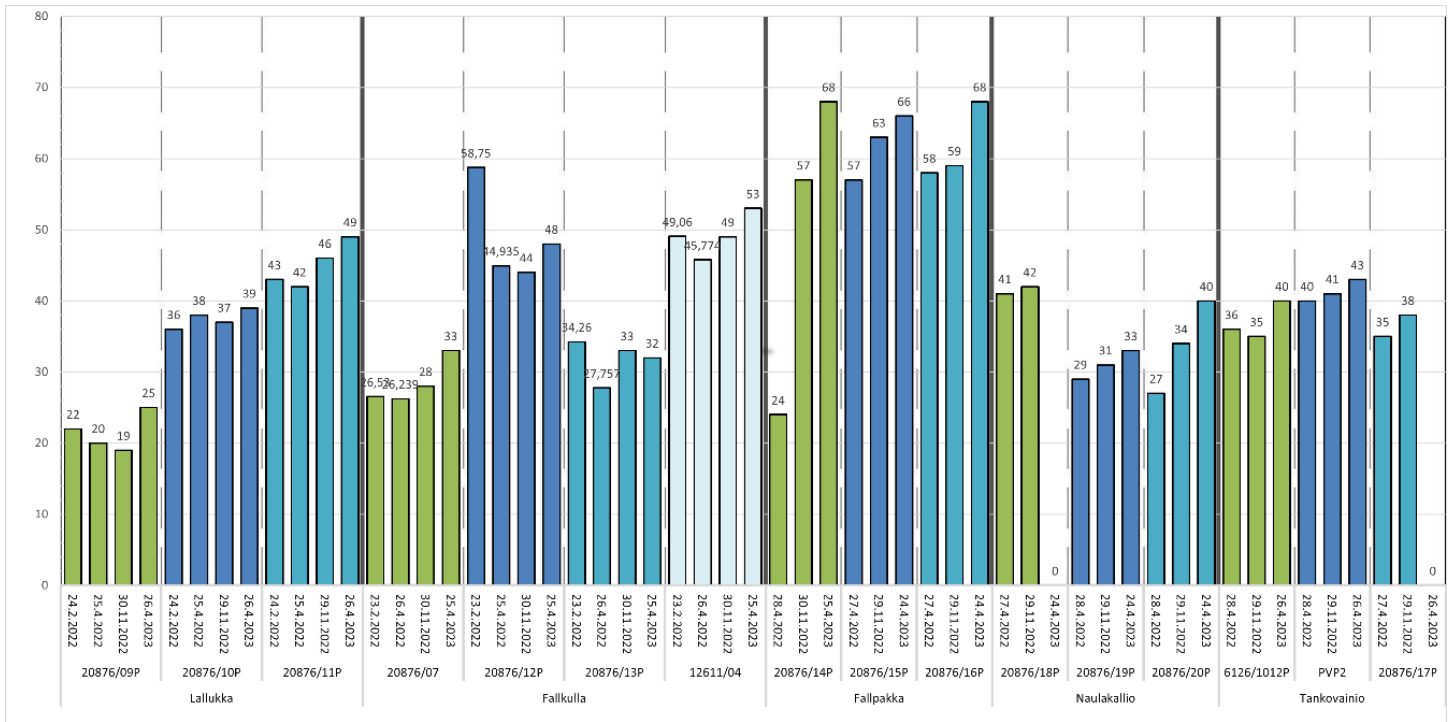
1. Helsingin kaupungin 5 kohdetta

Helsingin kaupungin alueella sijaitsevaa viittä kohdetta on tutkittu diplomityön yhteydessä (Valjakka 2022). Kohteiden seuranta on jatkettu ja jatketaan edelleen stabiloinnin pitkäaikaisten pohjavesivaikutusten todentamiseksi ja seuraamiseksi. Kohteet sijaitsevat Lallukassa, Falkullassa, Fallpakassa, Tankovainiossa ja Naulakalliolla. Seuranta varten pohjavesiputket on asennettu 6-24 vuotta stabiloinnin päättymisen jälkeen. Pohjavesinäytteitä on otettu keväällä ja syksyllä 2022, sekä keväällä 2023. Pohjavesiputket asennettiin pohjavedenvirtaussuuntaan nähden pilaristabiloidun alueen ylä- ja alavirran puolelle. Mittausten perusteella todettiin kalsiumin liukeneminen pilaristabiloinnista. Pohjavesinäytteissä kalsiumin on suurelta osin liukoissa muodossa. Tutkimuksessa havaittu liukoisen kalsiumin maksimipitoisuus on 68 mg/l. Kalsiumille ei ole määritetty Suomessa laatuvaatimuksia tai -suosituksia, eikä sen ole määritetty olevan pohjavettä pilaava aine.

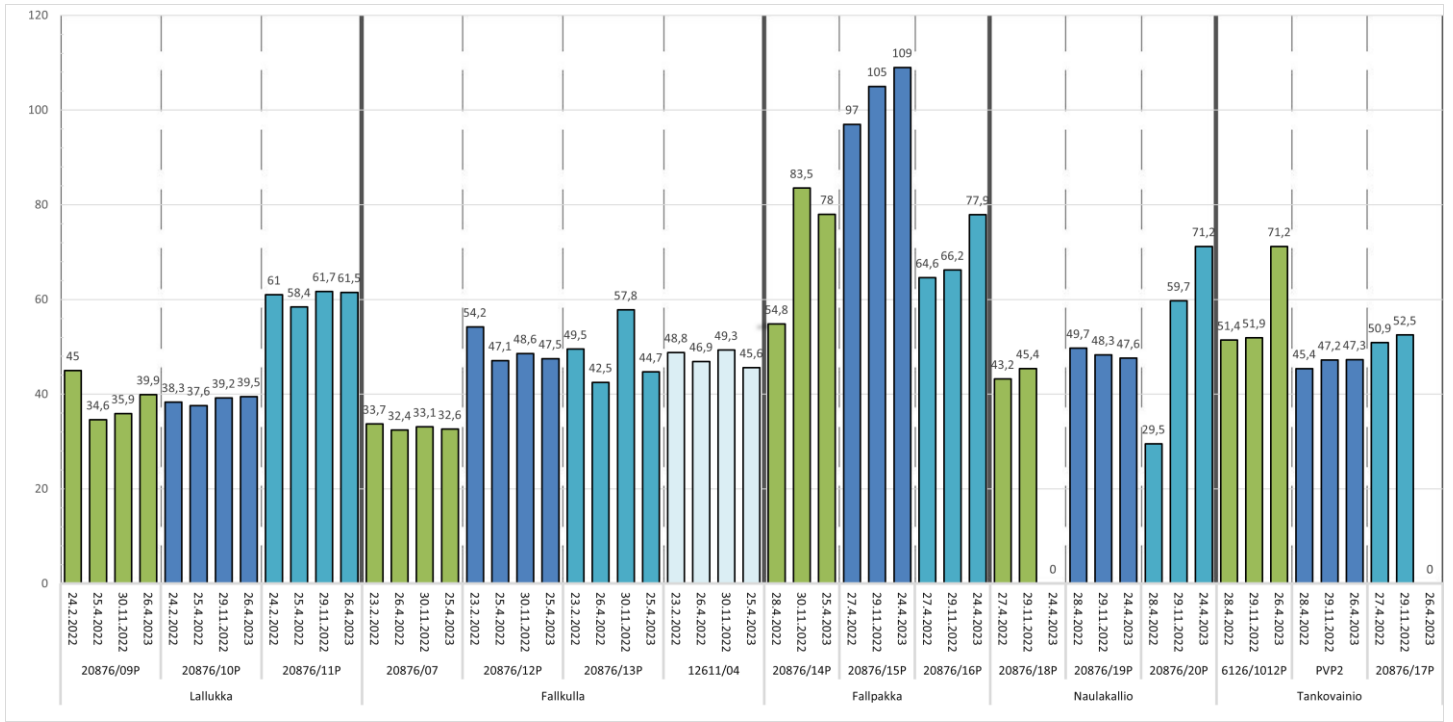
Tutkimuksessa havaittiin kalsiumin lisäksi viitteitä liukoisen nikkelin, arseenin, kromin ja natriumin pitoisuuksien noususta ylä- ja alavirran mittauspisteiden välillä. Tutkituissa kohteissa käytettyjen sideaineseosten pääaine on kalsium ja on oletettavaa, että liukoisen kalsiumin kasvu on sideaine peräistä. Kalsiumia on myös luontaisesti maaperässä, mikä voi selittää osan vaihtelusta. Taulukossa L2.1 on esitetty tilastollisesti merkityksellisesti eroavat mittaustulokset ylä- ja alavirran mittaustuloksista Helsingin kohteissa. Merkitsevyyden raja-arvona on käytetty p-arvon lukemaa 5 %. P-arvo on tilastollinen mittari, joka arvioi kuinka todennäköistä on, että havaitut tulokset olisivat syntyneet satunnaisesti. P-arvon pieni lukema kertoo tilastollisesta todennäköisyydestä, että havainto ryhmien tulosten välillä on eroavaisuus. P-arvo itsessään ei itsessään kerro tulosten syistä tai laajemmin ilmiöstä. P-arvo kuvaa käytettäviä tulos otantaa ja niiden välistä suhdetta. Kuvissa L2.1 – L2.10 on esitetty eri aineiden mittaustuloksia siten, että vihreällä sävyllä on esitetty ylävirran tulokset ja sinisillä sävyillä alavirran mittaustulokset. Eri mittauspisteet on esitetty omilla värisävyillä. Kuvateksteissä on esitetty aineiden pohjaveden ympäristön laatuunormi sekä talousveden laatuvaatimukset ja –suositukset niille aineille, joille sellainen on esitetty.

Taulukko L2.1 Helsinki, 5 kohdetta. Tilastollisesti eroavat pitoisuudet ylä- ja alavirran välillä, mittaustuloksista kevät 2022, syksy 2022 ja kevät 2023 on laskettu keskiarvot. P-arvo on selitetty taulukon yläpuolisissa teksteissä.

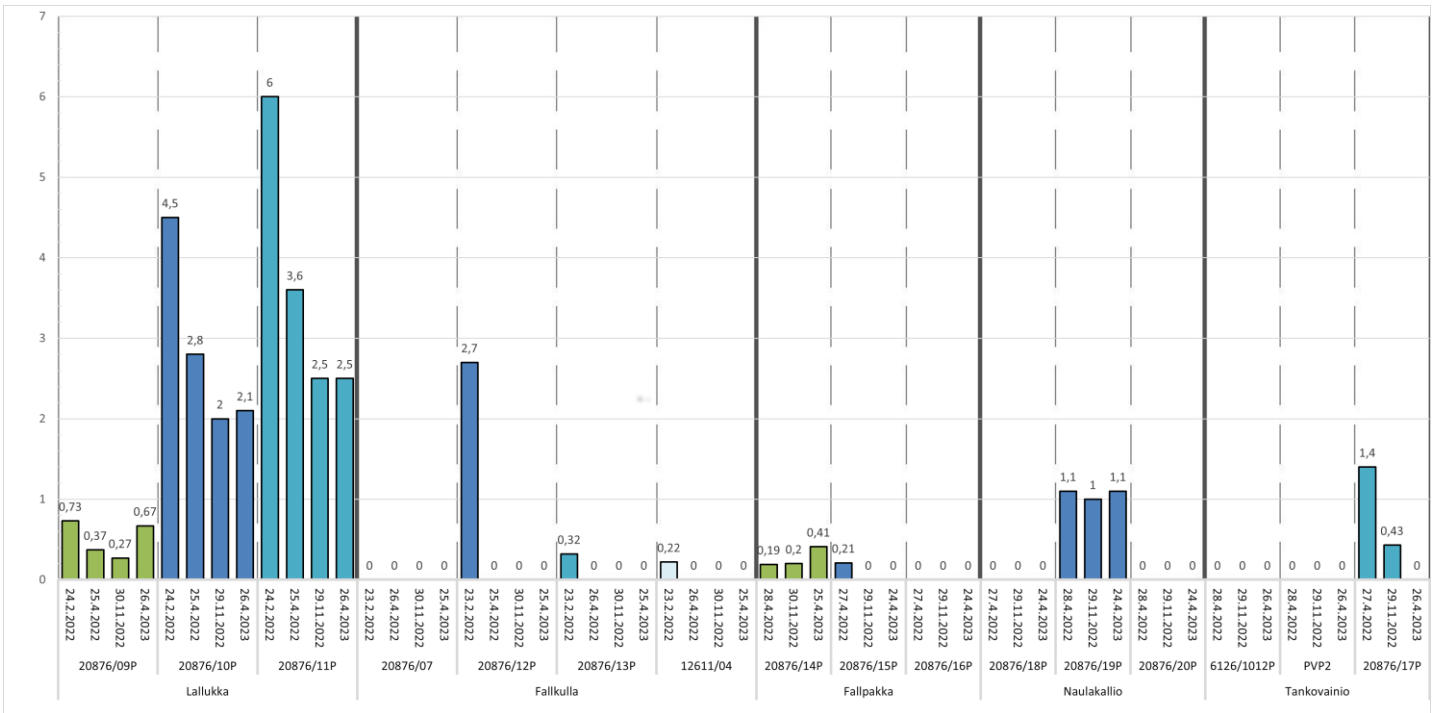
	keskiarvo		keskihajonta		p-arvo
	ylävirta	alavirta	ylävirta	alavirta	
Alkaliteetti [mmol / l]	1,5	2,6	0,5	1,3	0,01 %
Kovuus [mmol / l]	1,2	1,5	0,4	0,6	0,89 %
Sähkönjohtavuus [mS/m]	43,4	53,5	10,8	20,7	2,46 %
Arseeni, liukoinen [µg/l]	2,5	5,7	3,0	5,9	1,40 %
Nikkeli, liukoinen [mg/l]	7,5	11,0	3,3	6,9	1,62 %
Kalsium, liukoinen [mg/l]	34,6	42,8	10,8	14,2	2,70 %
Kromi, liukoinen [µg/l]	1,0	0,2	0,6	0,1	3,30 %
Natrium, liukoinen [mg/l]	36,8	47,3	10,4	26,0	4,20 %



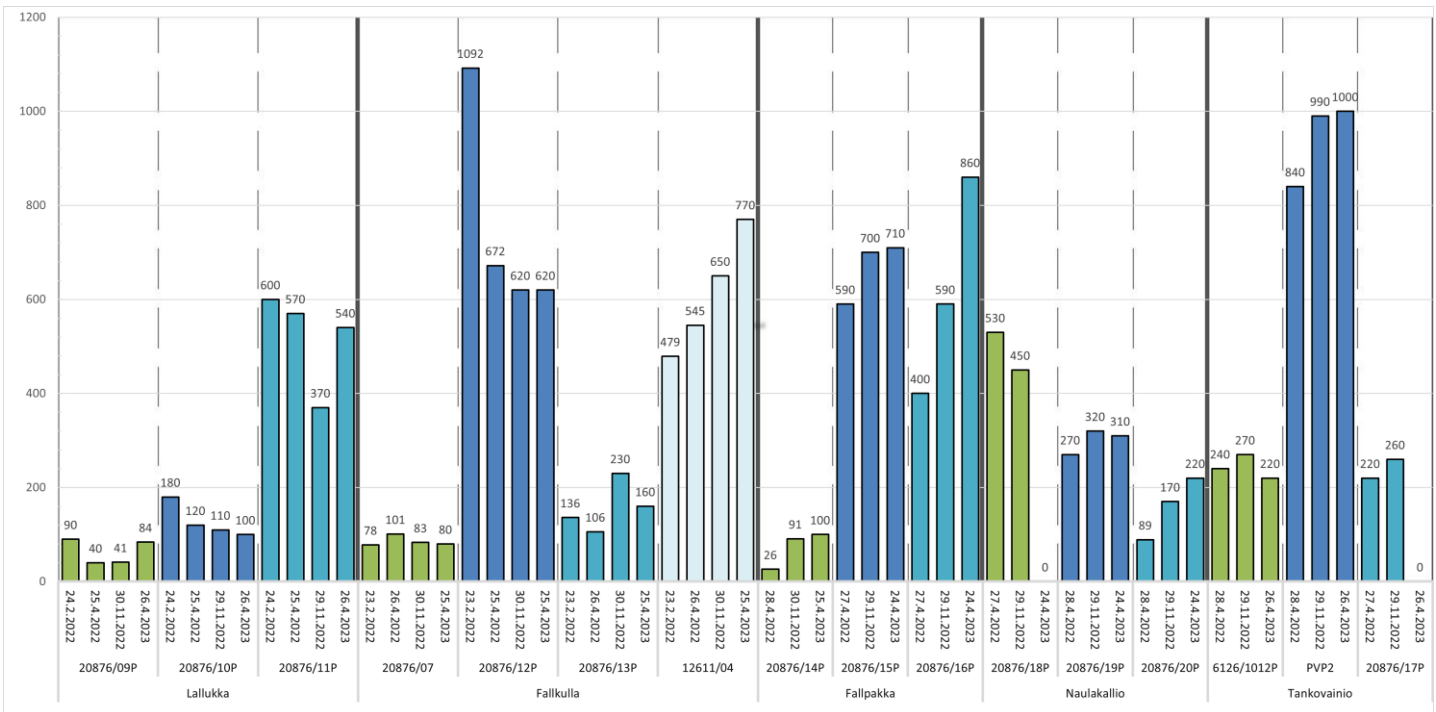
Kuva L2.1. Helsinki, 5 kohdetta. Liukaisen kalsiumin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 2022–2023. Yksikkönä mg/l. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. Ei EQS.-arvoa tai talousveden laatuvaatimusta tai -suositusta



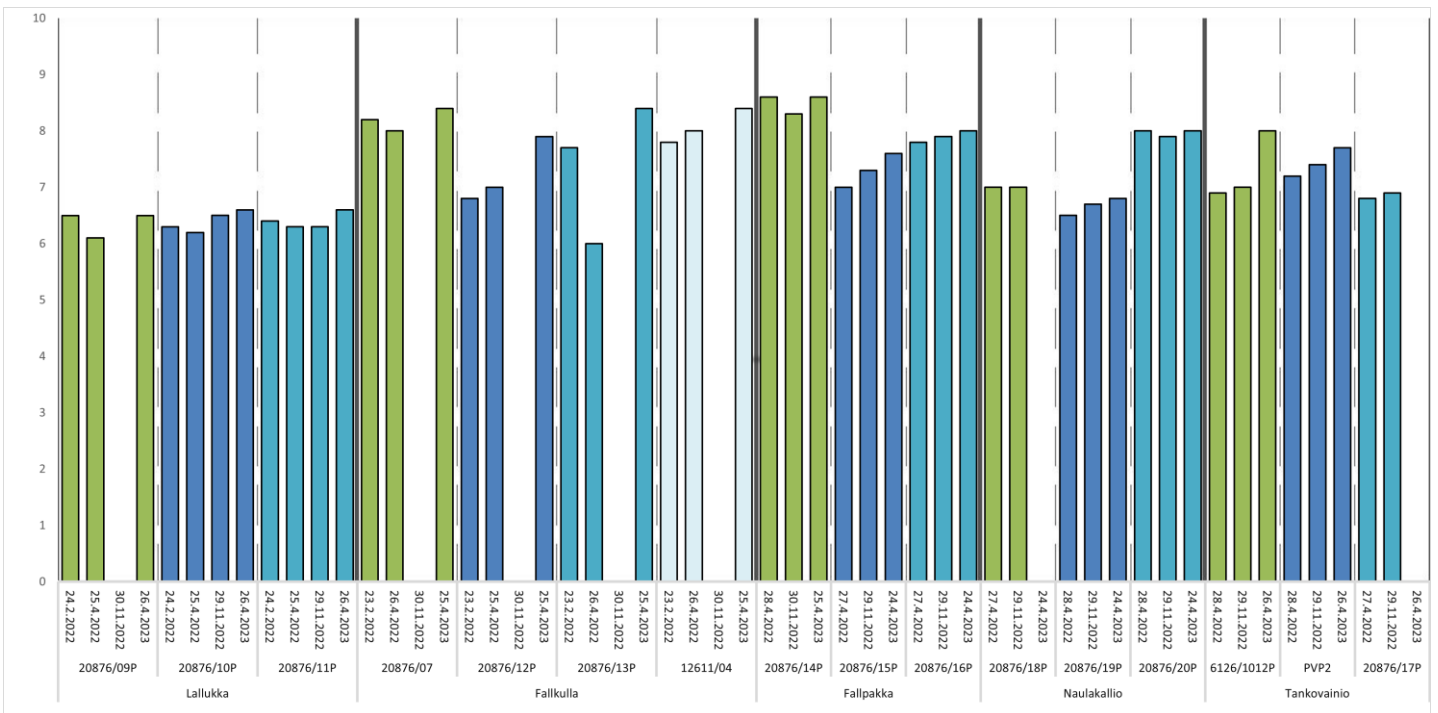
Kuva L2.2. Helsinki, 5 kohdetta. Sähköjohtavuus pohjavesinäytteissä 2022–2023. Yksikkönä mS/m. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. Ei EQS.-arvoa. Talousveden laatuvaatimus tai -suositus 250 mS/m.



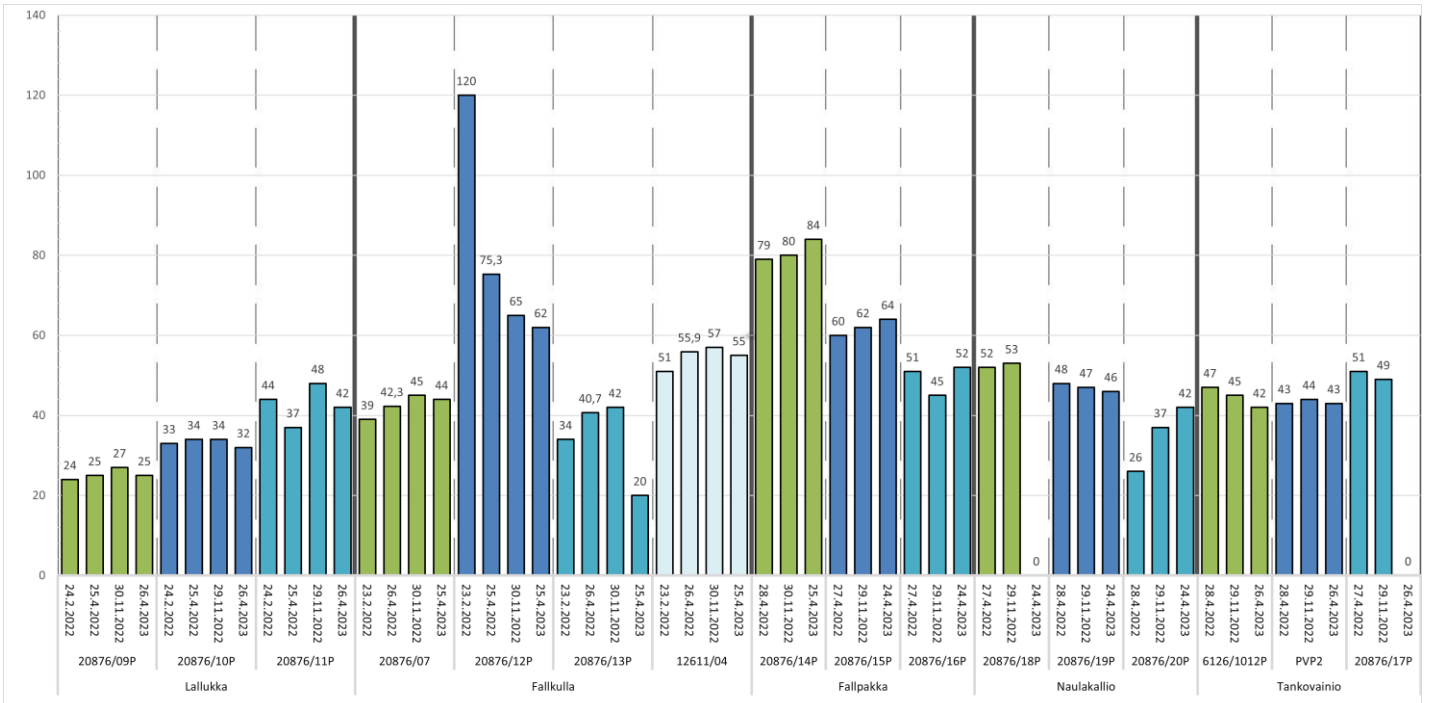
Kuva L2.3. Helsinki, 5 kohdetta. Liukoisin kobolttin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 2022–2023. Yksikkönä mg/l. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. Ei EQS-arvoa. Talousveden laatuvaatimus tai -suositus 2 mg/l.



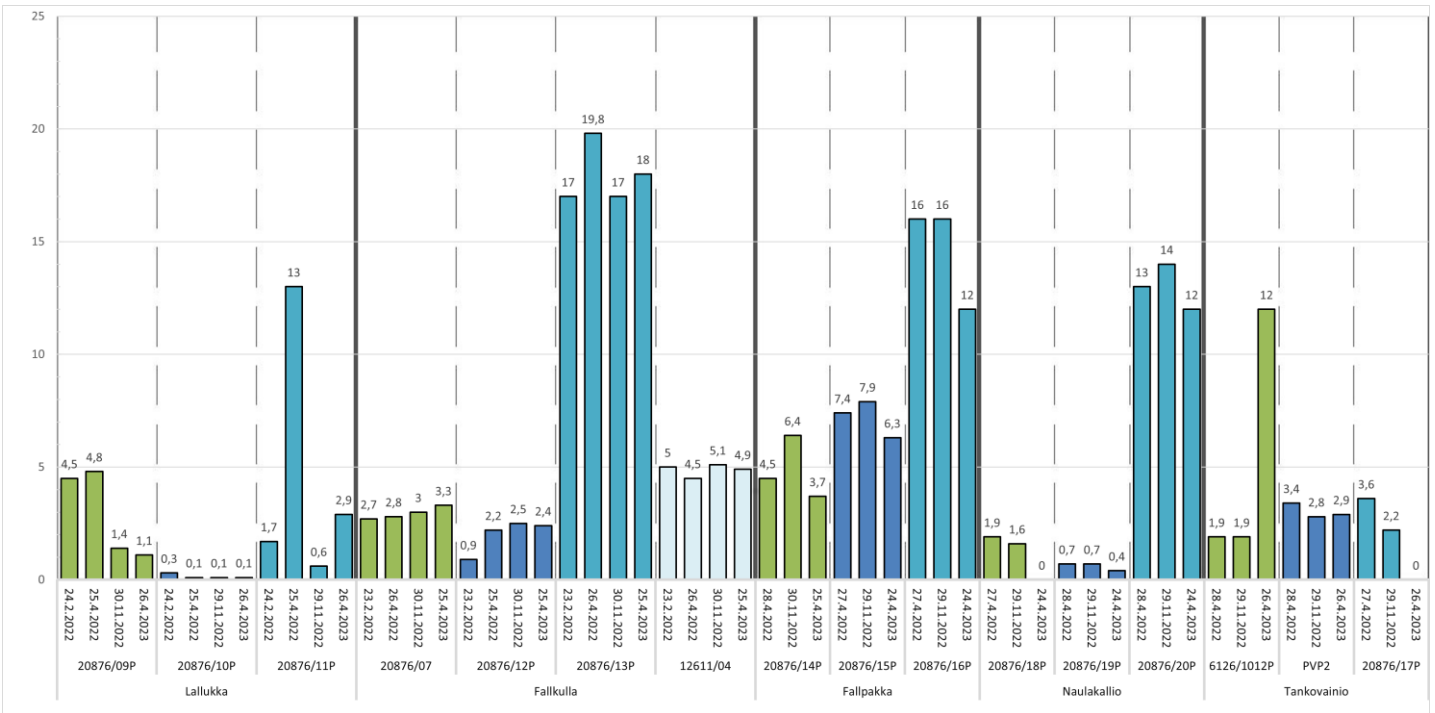
Kuva L2.4. Helsinki, 5 kohdetta. Liukoisin mangaanin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 2022–2023. Yksikkönä µg/l. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. Ei EQS-arvoa. Talousveden laatuvaatimus tai -suositus 50 µg/l.



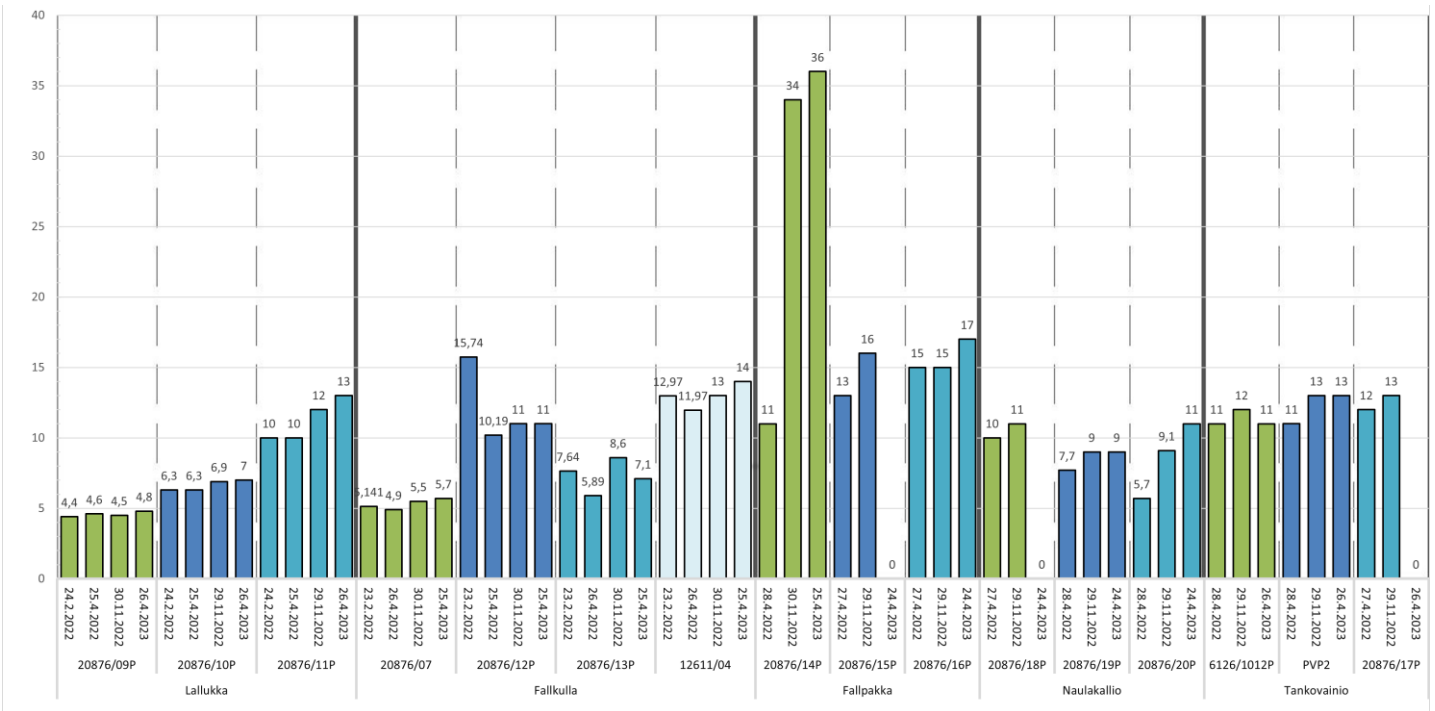
Kuva L2.7. Helsinki, 5 kohdetta. 0.1 pH arvot pohjavesinäytteissä 2022–2023. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. EI EQS-arvoa. Talusveden laatuvaatimus- tai suositus 6,5-9,5



Kuva L2.8. Helsinki, 5 kohdetta. Sulfaatin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 2022–2023. Yksikkönä mg/l. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. EQS = 150 mg/l. Talusveden laatuvaatimus tai -suositus 250 mg/l



Kuva L2.9. Helsinki, 5 kohdetta. Liukoisen arseenin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 2022–2023. Yksikkönä µg/l. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. EQS 5 µg/l. Talusveden laatuvaatimus tai -suoritusarvo 10 µg/l.



Kuva L2.10. Helsinki, 5 kohdetta. Liukoisen magnesiumin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 2022–2023. Yksikkönä mg/l. Ylävirran tulokset vihreillä sävyillä ja alavirran tulokset sinisillä sävyillä. EI EQS tai talusveden laatuvaatimus- tai -suoritusarvoa

2. Kuninkaantammi, Helsinki

Kuninkaantammen koestabilointi toteutettiin toukokuussa 2020. Kohde sijaitsee Kaarelan kaupunginosassa Ellen Thesleffin puiston pohjoispuolella Vedenkierto-kadun paaluvälillä 620–700. Kuninkaantammen koestabilointiin osallistui kolme sideainetoimittajaa kuudella sideainereseptillä (Taulukko L2.2).

Taulukko L2.2. Kuninkaantammi. Sideaineseosten seosaineet ja niiden osuudet sideaineseoksessa (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
Rapid-sementti			20
UPM-Kymmene Oyj	LT KAI	Lentotuhka	70
		Plusementti	30
	LT JAM	Lentotuhka	70
		Plusementti	30

Kuninkaantammen koestabiloinnin ympäristötarkkailun tuloksia on esitetty raportissa Kuninkaantammi: yhteenveto koestabiloinnin ympäristötutkimuksista – koetoiminnan loppuraportti (Reijonen & Stolze, 2022). Koetoiminnan vaikutuksia alueen pohja- ja pintavesiin tarkkailtiin ennen stabilointia ja 2 vuotta sen jälkeen. Pohjaveden laatua seurattiin stabilointialuetta ympäröivistä pohjavesiputkista (7 kpl). Koetoiminnan vaikutusta pintavesiin tarkkailtiin stabilointialueen itäpuoleisessa Rajaojassa. Vesinäytteistä tutkittiin pH, redox, kloridi, fluoridi, typpi, liukoiset metallit, PAH-yhdisteet, öljyhiilivedyt, PCB:t, aromaattiset hiilivedyt, BTEX (bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni, ksyleenit, oksygenaatit ja eetterit).

Ylös nostetuista stabilointipilareista ja niitä ympäröivästä maasta määritettiin kokonaismetallipitoisuudet. Kokonaispitoisuuksien perusteella uusiosideaineilla stabiloiduista pilareista ei havaittu haitta-aineiden kulkeutumista ympäröivään maahan ja pH:ta nostava vaikutus ulottui savimaassa ainoastaan pilareiden välittömään läheisyyteen muutaman senttimetrin etäisyydelle. Ylös nostettujen pilareiden liukoisuudet olivat melko pieniä (3 kk lujittuneet pilarit). Ylös nostettujen stabilointipilareiden (eli stabiloidun saven) metallipitoisuudet olivat kynnys- tai alempia ohjearvoja pienempiä, ja siten myös selkeästi ympäristökriteereissä esitettyjä viitearvoja pienempiä. Testatut sideaineet eivät nostaneet merkittävästi stabiloidun saven kokonaismetallipitoisuuksia ja tulosten perusteella ns. kynnysarvon ylitykset johtuivat savimaan kohonneista taustapitoisuuksista (As, Co, Ni, V). Pitoisuudet stabilointipilareita ympäröivissä maanäytteissä olivat stabiloimatonta maata suurempia. Pohjaveden metallipitoisuuksissa ei pääosin ole havaittavissa selkeää muutosta koestabiloinnin aloittamisen jälkeen. Ainoastaan yhdessä tutkimuspisteessä stabilointialueen eteläpuolella antimoinin, koboltin ja nikkelin pitoisuudet olivat nousseet. Syy pitoisuuden nousuun voi olla tutkimuspisteen pohjoispuolella sijaitseva koestabilointialue tai muu kuormituslähde. Pintavesissä ei havaittu koetoiminnasta aiheutuneita muutoksia. (Reijonen & Stolze, 2022)

Taulukko L2.3. Kuninkaantammi. Metallien liukoiset ja kokonaispitoisuudet (mg/kg kuiva-aineessa) stabiilomassa savessa ja ylös nostetuissa pilareissa (2-vaiheinen ravistelutesti, akkumul. L/S 10, SFS-EN 12457-3 ja kokonaispitoisuudet). Tulosten sininen numerointi = pysyvän jätteen liukoisuus ylittyy (VNa 331/2013). Haka-sulut = toinen mittaus alle määritysrajan. Harmaaksi maalattu solu = kokonaispitoisuus ylittää kynnyksarvon maaperän pilaantuneisuuden tarkastelussa (VNa 214/2007).

Parametri	Kaatopaikkakelpoisuuden viitearvot		Kuninkaantammen savi (2,5 m)		TerraGreen (2,4-3,4 m)		UPM LT JAM (2,1 m)		UPM LT KAI (1,9-2,7 m)		TerraPOZ C312 (2-3 m)		Ecolan stabi80 (2-3m)		GTC (2-3 m)	
	Pysyvä jäte	Tavanomaisen jäte	Kok.pit.	L/S 10	Kok.pit.	L/S 10	Kok.pit.	L/S 10	Kok.pit.	L/S 10	Kok.pit.	L/S 10	Kok.pit.	L/S 10	Kok.pit.	L/S 10
	L/S 10	L/S 10														
Antimoni	0,06	0,7	<1,0	<0,05	<0,50	[0.00800; 0.0120]	0,85	[0.00800; 0.0120]	0,76	[0.00862; 0.0132]	<0,50	[0.00800; 0.0120]	1,64	[0.00800; 0.0120]	1,27	[0.00800; 0.0120]
Arseeni	0,5	2	7,4	<0,1	3,7	0,015	5,91	0,0136	4,41	0,044	4,07	[0.00800; 0.0120]	7,01	0,0303	2,6	[0.00819; 0.0123]
Barium	20	100	246	<4,0		0,741		0,647		0,328		1,05		0,503		0,217
Elohopea	0,01	0,2	<0,2	<0,002	<0,20	[0.0000800; 0.000120]	<0,20	[0.0000800; 0.000120]	<0,20	[0.0000800; 0.000120]	<0,20	[0.0000800; 0.000120]	<0,20	[0.0000800; 0.000120]	<0,20	0,000161
Kadmium	0,04	1	<0,3	<0,01	<0,40	[0.00400; 0.00600]	<0,40	[0.00400; 0.00600]	<0,40	[0.00400; 0.00600]	<0,40	[0.00400; 0.00600]	<0,40	[0.00400; 0.00600]	<0,40	[0.00400; 0.00600]
Kromi	0,5	10	89,9	<0,1	84	[0.0400; 0.0600]	78,5	[0.0400; 0.0600]	91,7	0,136	78,6	[0.0400; 0.0600]	67,8	0,0729	51,2	[0.0432; 0.0635]
Kupari	2	50	56	<0,4	68,5	0,121	52,5	0,115	64,4	0,229	54,1	0,094	48,6	0,0843	39,4	0,137
Lyijy	0,5	10	9,2	<0,1	15,5	[0.00800; 0.0120]	15,2	[0.00800; 0.0120]	14,2	[0.00800; 0.0120]	12,2	0,0145	13,4	[0.00800; 0.0120]	7,7	0,0169
Molybdeeni	0,5	10	<10	<0,1		0,619		0,513		0,807		0,105		2,16		0,351
Nikkeli	0,4	10	51,9	<0,1	48,8	0,05	47,8	[0.0279; 0.0402]	46,9	0,113	39,9	0,0441	37,7	[0.0268; 0.0394]	24,8	0,0958
Seleen	0,1	0,5	<10	<0,03		[0.0400; 0.0600]		[0.0400; 0.0600]		0,0685		[0.0400; 0.0600]		[0.0442; 0.0650]		[0.0400; 0.0600]
Sinkki	4	50	111,4	<0,8	143	0,477	135	0,0975	123	0,272	99,5	0,409	106	0,169	84,1	0,143
Vanadiini			104,1		79,9	0,101	77,3	0,148	92,6	1,03	73	[0.0400; 0.0600]	71,6	0,409	58,3	0,097

3. Topinpuisto, Turku

Topinpuisto on Lounais-Suomen Jätehuollon (LSJH) ja Turun kaupungin kehityskohde, johon tullaan keskittämään kiertotalouden kasvun mahdollistavia toimintoja. Uudet toiminnot tulevat sijoittumaan pääosin pehmeikköalueille, joilla tarvitaan painumien hallitsemiseksi ja stabiliteetin varmistamiseksi esirakentamistoimenpiteitä (käytännössä mm. pilaristabilointia).

Päästötavoitteiden saavuttamisen edistämiseksi Turun Topinpuistossa on toteutettu 03/2022 koestabilointi vähähiilisillä uusiomateriaalipohjaisilla sideaineilla. Koestabiloinnissa käytetyt sideaineseokset ja niiden raaka-aineet on esitetty taulukossa L2.4. Koestabiloinnissa oli suunniteltu käytettävän lentotuhkaa UPM:n Jämsänkosken tehtaalta. Tuhkan toimitti Kaukaan voima.

Koetoiminnan yhteydessä on toteutettu ympäristöntarkkailua pohja- ja pintavesistä. Stabilointipilareista ja niitä ympäröivästä maasta määritettiin kokonaispitoisuudet metalleista sekä molybdeenista, bariumista, kokonaissyaniidista ja PAH-yhdisteistä. Topinpuiston ympäristötarkkailun tuloksia on esitetty raportissa *Topinpuisto, Turku: Yhteenveto koestabiloinnin ympäristötutkimuksista* (Leinonen & Forsman, 2022)

Ainoastaan yksi koetoiminnassa käytetyistä sideaineista oli ei-kaupallinen sideaine, Kaukaan Voiman lentotuhka (KAU LT + CEMII), jolla stabiloitujen savien pitoisuudet alittivat sekä koetoimintapäätöksessä asetetut raja-arvot että MASA-asetusluonnoksen ja tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot. Kaikkien koetoiminnassa käytettyjen sideaineiden vaikutukset stabiloituja pilareita ympäröivään saveen sekä pinta- ja pohjaveteen jäivät vähäisiksi. Liukoisuustulokset on esitetty taulukossa L2.5.

Taulukko L2.4 Topinpuisto. Koestabiloinnissa käytetyt sideaineseokset ja niiden raaka-aineet (Leinonen & Forsman 2022).

Sideainetoimittaja	Sideaine	Koostuvat osat	Osuus sideaineseoksessa [%]
Oy Nordkalk Ab	Terra POZ	Kalkkiuunin sähkösuodin pöly	33
		Poltettu, jauhettu kalkki	33
		Plussementti	33
Oy Nordkalk Ab	GTC	Sammutettu kalkki	33
		Kipsi	33
		Plussementti	33
Oy Nordkalk Ab	Terra Green	Kalkkiuunin sähkösuodin pöly	50
		Plussementti	50
Oy Nordkalk Ab	GTC3	Sammutettu kalkki	33
		Kipsi	33
		Plussementti	33
UPM Kymmene Oyj	KAU+CEM	Lentotuhka	70
		Plussementti	30

Taulukko L2.5. Yhteenveto sideaineiden liukoisuusanalyysien tuloksista.

Parametri	Yksikkö	Jätteen kelpoisuuskaatopaikalle			MASA-asetusluonnos		Koetointipäättös	Topinpuiston savi 3-4 m syksy 2021	A1 2,5-3,5 (Terra POZ)	A5 2,75-3,25 (GTC3)	A3 2,75-3,25 (Terra Green)	A4 2,75-3,25 (KAU LT + CEMII)	B2 2,75-3,25 (GTC)
		Pysyvä jäte	Tavanomainen jäte	Vaarallinen jäte	Kok.pit.	L/S 10							
		Liukoisuus L/S 10	Liukoisuus L/S 10	Liukoisuus L/S 10									
Antimoni	mg/kg ka	0,06	0,7	5	50	0,7	0,7	<0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Arseni	mg/kg ka	0,5	2	25	100	2	2	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Barium	mg/kg ka	20	100	300		100	100	<4,0	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
Elohopea	mg/kg ka	0,01	0,2	2	2	0,03	0,03	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Kadmium	mg/kg ka	0,04	1	5	10	0,06	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kromi	mg/kg ka	0,5	10	70	500	10	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Kupari	mg/kg ka	2	50	100	500	10	50	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Lyijy	mg/kg ka	0,5	10	50	500	10	10	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Molybdeeni	mg/kg ka	0,5	10	30		10	10	0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nikkeli	mg/kg ka	0,4	10	40	150	10	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Seleni	mg/kg ka	0,1	0,5	7		1	1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Sinkki	mg/kg ka	4	50	200	1000	50	50	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Vanadiini	mg/kg ka				250	10	10	<0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Koboltti	mg/kg ka					15000		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Muut ominaisuudet													
DOC	mg/kg ka	500	800	1000				<100	<100	<100	<100	<100	<100
Kloridi	mg/kg ka	800	15000	25000			15000	612	635	601	655	782	591
Sulfaatti	mg/kg ka	1 000 ¹	20000	50000			20000	397	324	283	662	376	335
Fluoriidi	mg/kg ka	10	150	500			150	2,2	2,4	<2	<2	<2	2,5
TOC [%]	%	3	5	6				<0,6	<0,6	<0,6	0,7	<0,6	<0,6
pH, alku (L/S)								7,9	7,7	7,1	7,2	7,4	7,4

Parametri	Yksikkö	Topinpuiston savi 6-7 m syksy 2021	A1 5,5-6,5 (Terra POZ)	A5 5,75-6,25 (GTC 3)	A3 5,75-6,25 (Terra Green)	A4 5,75-6,25 (KAU LT + CEMII)	B2 5,75-6,25 (GTC)
		L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10	L/S 10
Antimoni	mg/kg ka	<0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Arseni	mg/kg ka	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	0,15
Barium	mg/kg ka	<4,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Elohopea	mg/kg ka	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Kadmium	mg/kg ka	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kromi	mg/kg ka	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Kupari	mg/kg ka	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Lyijy	mg/kg ka	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Molybdeeni	mg/kg ka	<0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Nikkeli	mg/kg ka	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Seleni	mg/kg ka	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Sinkki	mg/kg ka	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Vanadiini	mg/kg ka	<0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Koboltti	mg/kg ka	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
DOC	mg/kg ka	101	<100	<100	<100	100	111
Kloridi	mg/kg ka	484	1869	1740	1207	1356	945
Sulfaatti	mg/kg ka	374	422	400	517	<200	<200
Fluoriidi	mg/kg ka	<2,0	<2	<2	<2	<2	2,4
TOC [%]	%	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,7
pH, alku (L/S)		7,3	7,3	7,3	7,3	7,4	7,5

Liukoisuuksien viitearvovertailu (VNa 2013/331):

- xx Täyttää pysyvän jätteen kaatopaikan kelpoisuuskaatopaikan kriteerit
- xx Ylittää pysyvän jätteen kaatopaikan kelpoisuuskaatopaikan kriteerit, mutta täyttää tavanomaisen jätteen kaatopaikan kelpoisuuskaatopaikan kriteerit
- xx Ylittää tavanomaisen jätteen kaatopaikan kelpoisuuskaatopaikan kriteerit, mutta täyttää vaarallisen jätteen kaatopaikan kelpoisuuskaatopaikan kriteerit

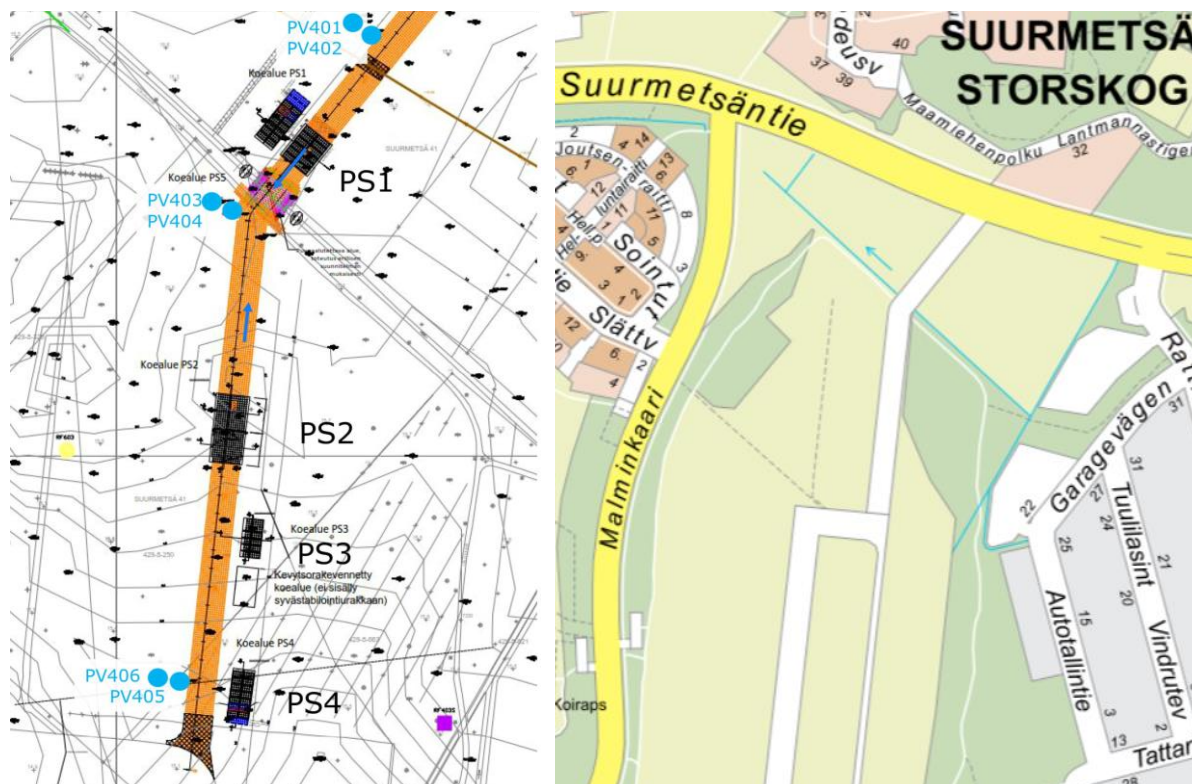
- 1) Jätteen katsotaan täyttävän kelpoisuusvaatimuksen myös, jos sulfaattipitoisuus ei ylitä seuraavia arvoja: 1 500 mg/l (läpivirtaustestin ensimmäinen uutostoissuhteessa L/S=0,1 l/kg) ja 6000 mg/kg (uutostoissuhteessa L/S=10 l/kg; pitoisuuden määrittämiseksi uutostoissuhteessa L/S=0,1 l/kg on käytettävä läpivirtaustestiä: pitoisuus uutostoissuhteessa L/S=10 l/kg voidaan määrittää joko ravistelu- tai läpivirtaustestillä.
- 2) Luenneiden aineiden kokonaismäärän raja-arvoa voidaan soveltaa sulfaatin ja kloridin raja-arvojen sijasta.
- 3) On sovellettava joko hehkutushäviön tai orgaanisen hiilen kokonaismäärän raja-arvoa.

4. Malminkenttä, Helsinki

Helsingin Malminkentällä on toteutettu koestabilointi 08-09/2022, jossa käytettiin seitsemää erilaista uusiosideainetta. Koestabilointi uusiosideaineilla tehtiin kolmelle eri koalueella PS1, PS4 ja PS6 (koalueet PS1 ja PS4 kentän pohjoispuolella ja PS6 kentän eteläosassa). Koestabilointialueilla PS2 ja PS3 keskityttiin stabiloidun rakenteen painumiin yms. geoteknisiin tutkimuksiin.

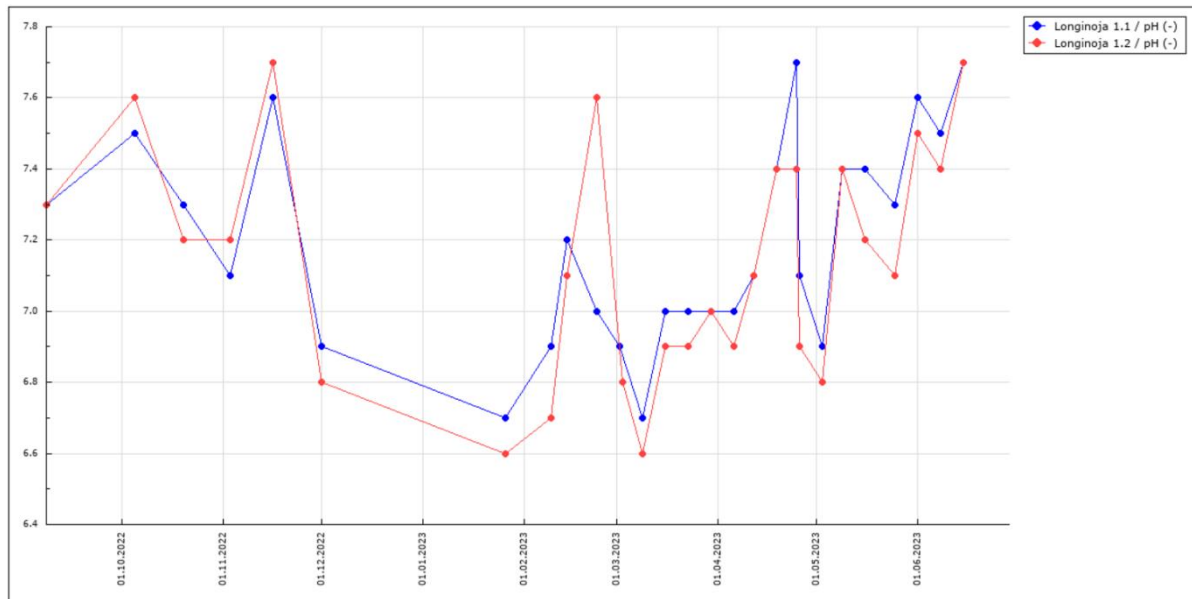
Ennen koestabilointia sideainetoimittajat teettivät alustavat stabiloitavuuskokeet alueelta otetuilla savinäytteillä. Sideainetoimittajat esittivät myös laboratoriotutkimustulokset sideaineiden kokonaispitoisuuksista sekä sideaineella stabiloidun lujittuneen saven liukoisuuskoe tuloksista. Koestabilointikentillä toteutettiin laadunvalvontakairaukset 1, 3 ja 12 kk lujittumisajan jälkeen. Koalueella PS1 nostettiin ylös seitsemän koepilarin yläpää 12 kk lujittumisajan jälkeen 09-10/2023. Koestabiloinnissa toteutuneilla sideaineresepteillä toteutettiin laaja stabiloitavuuskoeohjelma, jonka tuloksia hyödynnettiin osana määritettäessä kenttä- / laboratoriolujuuskertoimet uusiosideaineille. Tämä tutkimus on raportoitu diplomityössä ”Pilaristabiloinnin kenttä- ja laboratoriolujuuksien suhde koestabilointikohteissa” (Ikävalko 2023).

Longinojan veden laatua seurataan jatkuvatoimisilla mittareilla kolmessa pisteessä, joista pohjoinen sijaitsee koestabilointialueiden länsipuolella. Pilaristabiloinnin aikana urakoitsija seurasi Longinojan veden pH-tasoa päivittäin. Tilaaja teetti lisäksi Longinojasta näytteenottoja stabiloituriuran aikana ja jälkeen. Näytetutkimusten tulokset on esitetty kuvissa L2.12 ja L2.13. Mitattu pH:n vaihteluväli on ollut 6,5–7,7. Tuloksista ei ole havaittavissa pilaristabiloinnin vaikutusta Longin ojan veden pH-tasoon tai sen muutoksiin.

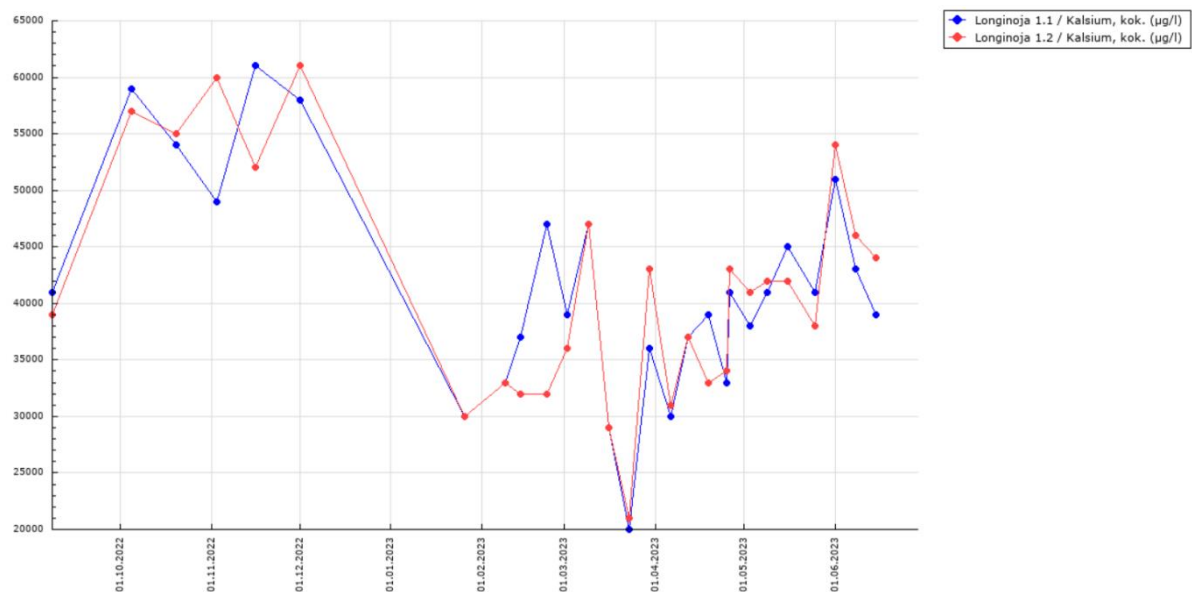


Kuva L2.11 Malminkentän pohjavesiputkien sijainnit pohjavesivirtauksen ”alavirran” puolella. Oranssilla stabilointi. Kontrollipisteenä toimiva pohjavesiputki on idempänä pohjavesivirtauksen ”ylävirran” puolella. Pohjoisen ajoyhteyden mutkan kohdalla virtaa Longinoja kaakosta luoteeseen.

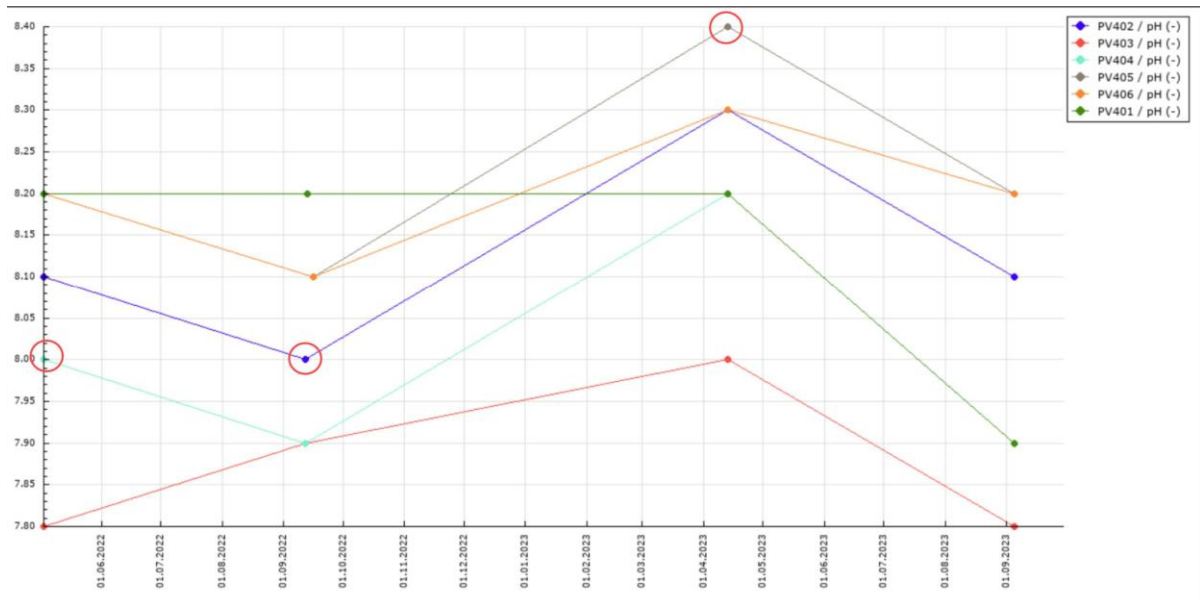
Pohjaveden pitoisuuksia seurataan kuudesta pohjavesiputkesta, jotka on asennettu pareittain (kuva L2.11), sekä kontrollipisteestä. Pohjavedestä on otettu nollanäytteet toukokuussa 2022, stabiloinnin aikana 9/2022, ja seurantanäytteet 4/2023 ja 9/2023. Vaihteluväli pH:ssa on ollut 7,8-8,4 vaihtelun ollessa $\pm 0,2$ yksikköä. Mitatuista kalsiumpitoisuuksista n. 90 % esiintyy liukoisessa muodossa. Nikkeli on sideaineessa esiintyvä aine. Nikkelin pitoisuudet pohjavesinäytteissä on hyvin pienet. Joidenkin seurattujen aineiden pitoisuudet pohjavesinäytteissä on esitetty kuvissa L2.12-L2.16. Seurannan perusteella pohjavedessä ei ole todettu laatumuutoksia.



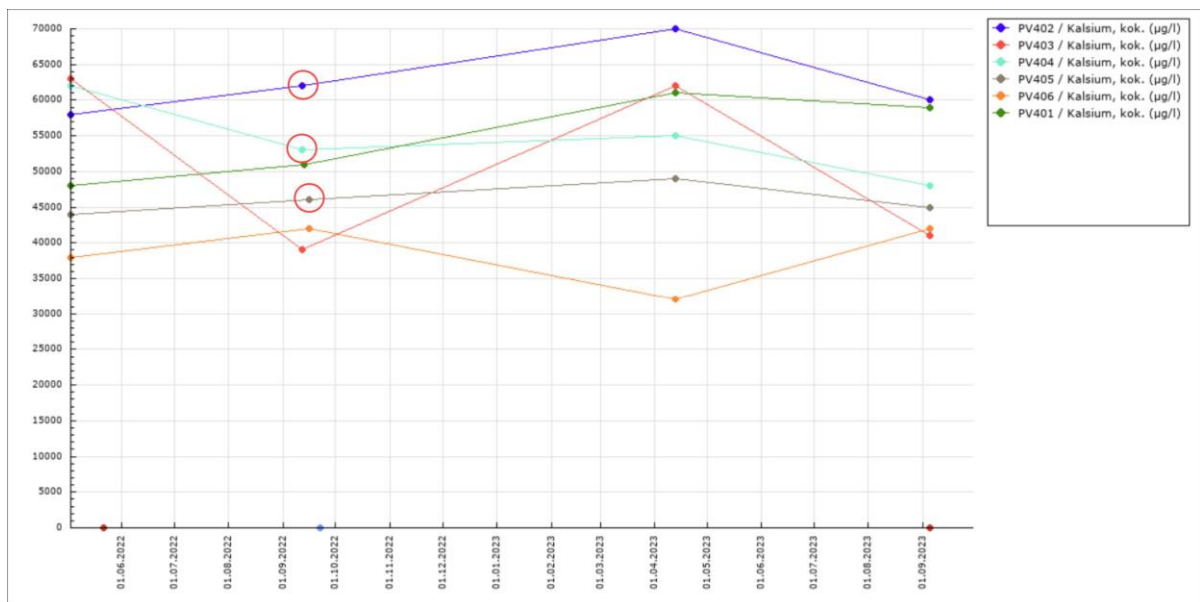
Kuva L2.12 Malminkenttä, Longinoja. pH:n tarkkailutulokset 09/2022–07/2023 (Järvinen 2023).



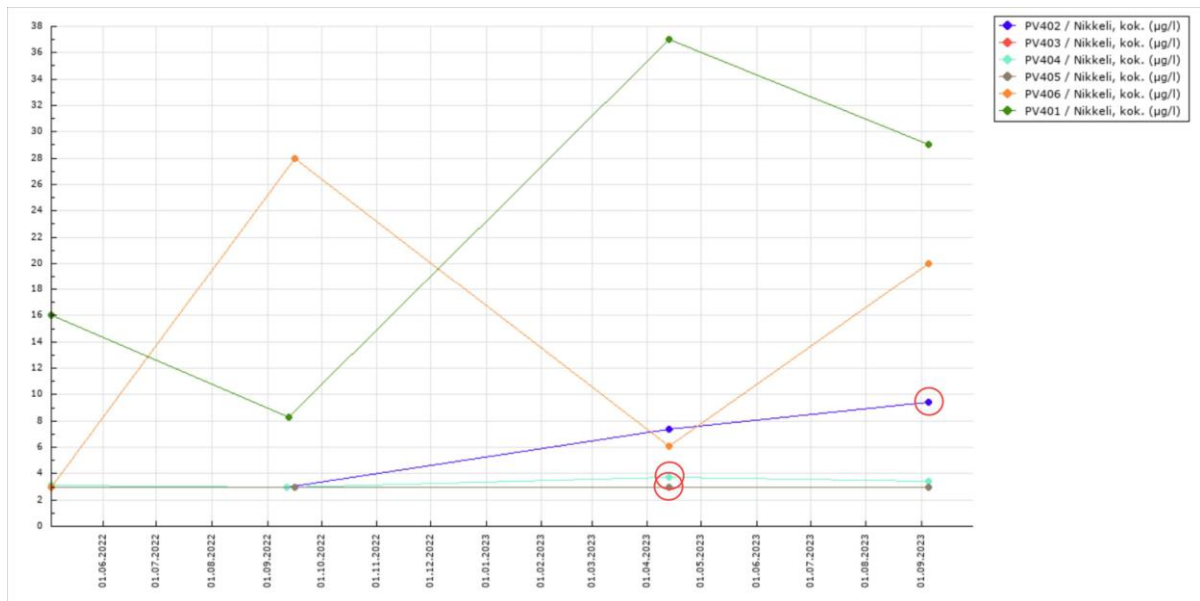
Kuva L2.13 Malminkenttä, Longinoja. Kalsiumin [µg/l] tarkkailutulokset 09/2022–07/2023 (Järvinen 2023).



Kuva L2.14 Malminkenttä. Pohjavesinäytteiden pH 05/2022–09/2023. Stabiilintia lähemmät pisteet korostettu punaisella ympyrällä. (Järvinen 2023)



Kuva L2.15 Malminkenttä. Liukoisin kalsiumin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 05/2022–09/2023. Yksikkönä µg/l. Stabiilintia lähemmät pisteet korostettu punaisella ympyrällä. (Järvinen 2023).



Kuva L2.16 Malminkenttä. Liukoisen nikkelin pitoisuudet pohjavesinäytteissä 05/2022–09/2023. Yksikkönä µg/l. Stabilointia lähemmät pisteet korostettu punaisella ympyrällä. (Järvinen 2023)

5. Länsiranta, Porvoo

Porvoon Länsirannassa on tehty 03/2020 koetoimintana pilaristabilointia, jossa tutkittiin pilaristabiloinnin lujittumista sekä suoritettiin pohjaveden laadun seuranta (Valjakka 2022). Koestabiloinnissa käytettiin sideaineita Nordkalk Terra KC30, Nordkalk Terra GTC ja Ecolan InfraStabi80 (Ikävalko 2023). Sideaineiden koostumukset on esitetty luvun 4 taulukoissa 4.1 ja 4.2.

Koestabiloinnin tavoitteena oli selvittää alueen stabiiloitavuus eri sideaineilla. Alueella esiintyy sulfidisavea. Koealueen 2 molemmiin puoliin asennettiin pohjavesiputket pohjaveden pitoisuusmittauksia varten. Koealueen 2 maanpinta vaihtelee tasoilla +1,4 ja +2,0. Päällimmäinen maakerros on savea ja liejuista savea alapinnan vaihdella tasolla -8 ja -11. Saven pH mitattiin olevan noin 8 ja vesipitoisuuden 80–150 %. Pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa tasolla n. +1,0. Savikerroksen alla sijaitsee kitkamaakerroksia.

Pohjavesinäytteistä ensimmäinen otettiin ennen pilaristabiloinnin aloitusta ja toinen stabilointityön lopettamisen jälkeen. Pohjavesinäytteiden analyysitulokset on esitetty taulukossa L2.6. Pohjavesiputki PVP1 on ylävirran puolella ja PVP2 alavirran (taulukossa 1 ja 2). Pohjaveden mittaustulokset on esitetty taulukossa L2.6. Tuloksista on käytännössä vaikea todeta mahdollista stabiloinnin vaikutusta, koska jo ennen stabilointia alavirran puoleisessa putkessa pitoisuudet olivat järjestään suurempia, jopa moninkertaisia verrattuna ylävirran putkesta analysoituihin pitoisuuksiin.

Laboratoriomittauksessa pH:n arvo mitattiin olevan 6,6 ennen stabilointityötä sekä ylä- että alavirran putkessa. Stabiloinnin jälkeen ylävirralla pH-arvo nousi noin 0,6 yksikköä pysyen tasolla 7,1–7,2. Alavirran puolella pH laski toisessa mittauksessa tasolle 6,0, minkä jälkeen pH nousi stabiloinnin jälkeen vähitellen tasolle 6,3 kahden vuoden aikana. Sulfaatin pitoisuus oli alavirran putkessa lähes kaksinkertainen verrattuna ylävirran putkeen ennen stabilointia. Ylävirran putkessa sulfaatin pitoisuus pysyi vakiona ja alavirran putkessa pitoisuus kasvoi 2-3 -kertaiseksi alkumittaukseen nähden. Kloridin mittaustulokset ylittivät ympäristön laaturaja-arvon jokaisessa mittauksessa. Ennen stabilointia kloridipitoisuus oli alavirran putkessa lähes viisinkertainen verrattuna ylävirran putkeen. Pitoisuus on pysynyt stabiloinnin jälkeen lähes samana kuin ennen stabilointia. Koboltti oli ennen

stabilointia alavirran putkessa vähintään 10-kertainen verrattuna alavirran putkeen ollen mittausjakson määritysrajalla tai sen alittavana pitoisuutena. Alavirran putkessa koboltin pitoisuudet mitattiin alavirrassa ensimmäisenä vuonna kasvavana ylittäen hetkellisesti ympäristön laatustandardien mukaisen raja-arvon. Toisena vuonna koboltin pitoisuus kääntyi laskuun alavirran puoleisessa pisteessä.

Taulukko L2.6 Porvoo, Länsiranta. Pohjaveden laadun mittaustulokset. Putki 1 on pohjaveden virtauksen ylävirran puolella ja putki 2 alavirran puolella. (Ramboll 2023)

PVP pvm.	pH laboratorio		pH kenttä		Cl ⁻ mg/l		SO ₄ mg/l		Al µg/l		As µg/l		Co µg/l		Cu µg/l		Ni µg/l		Zn µg/l	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
9.3.2020	6,6	6,6	7,1	6,4	120	570	39	68	<5	<5	<0,2	4,4	<0,1	1,2	<0,5	<0,5	0,3	2,8	<1,0	1300
15.4.2020	7,1	6,0	6,8	5,6	130	320	38	290	<5	17	<0,2	6	<0,1	2,7	<0,5	0,51	0,3	6,5	<1,0	14000
9.9.2020	7,0	5,9	7,3	5,7	140	390	32	240	<5	40	0,25	8,2	<0,1	2,3	<0,5	1,2	<0,2	8,8	1,9	9800
23.3.2021	7,2	6,1	8,0	6,6	140	400	32	200	<5	23	<0,2	5,7	<0,1	1,9	<0,5	0,64	<0,2	6,2	330	5700
7.9.2021	7,1	6,1	6,9	5,6	140	520	30	190	8,6	<5	<0,2	7,8	<0,1	1,5	<0,5	<0,5	3,5	3,1	20	5000
29.3.2022	7,2	6,3	6,9	6,2	140	530	35	230	<5	5,7	<0,2	9,8	<0,1	1,9	<0,5	<0,5	<0,2	17	2,3	14000
22.3.2023	7,3	6,6	7,1	6,4	130	980	37	120	<5	<5	<0,2	7,4	<0,1	1,1	<0,5	<0,5	0,5	1,5	2	4500

6. Vantaa, Varisto, Luhtitie

Vantaan Luhtitien stabiloinnin pohjavesivaikutuksia on esitetty Valjakan (2022) diplomityössä. Luhtitie stabilointikohde sijaitsee Länsi-Vantaalla Variston ja Myyrmäen kaupunginosissa. Luhtitie katu yhdistää Variston ja Myyrmäen kaupunginosat. Luhtitie jakautuu nykyiseen ja uuteen katuosuuteen. Uusi katuosuus on perustettu pilaristabiloinnille, ja osittain lamellistabiloinnilla (toisiaan leikkaavat pilarit). Stabilointi on toteutettu vuosina 2021–2022. Alueella on myös toteutettu koestabilointia uusiosideaineilla kadun eteläpuolella. Uusi katuosuus on otettu käyttöön syksyllä 2022.

Ylinnä on kuivakuorisavi, jonka paksuus on noin yksi metri. Kuivakuorikerroksen alla on pehmeä savikerros, jonka paksuus vaihtelee ollen keskimäärin n. viisi metriä. Savikerroksen alla on siltti- ja silttinen hiekkakerros, jonka paksuus on n. 1–2 metriä. Alimpana maakerroksena on moreenikerros. (Ramboll 2022).

Luhtitiellä pohjavedestä otettiin kolmesta pisteestä näytteet keväällä 2022. Pohjavesiputki P3 on asennettu pohjaveden virtaukseen ja stabilointiin nähden ylävirtaan. Putket P1 ja P2 ovat pohjavedenvirtaukseen ja stabilointiin nähden alavirran puolella. Vesinäytteet on otettu huhtikuun lopulla 2022, kun stabilointityö oli vielä kesken. Stabilointityö on aloitettu 2022. Tulokset on esitetty taulukossa L2.7.

Tuloksissa ei ole havaittavissa pH-tasossa eroa ylä- ja alavirran putkien välillä. Alavirran vesinäytteet ovat hapettomia, kun ylävirran vesinäytteessä esiintyy happea. Sideaineen pääraaka-aineita havaittiin alavirran näytteissä suurempana pitoisuutena kuin ylävirran näytteissä. Ympäristöraja-arvon (2,0 µg/l) ylittäviä pitoisuuksia esiintyi putkessa P2 koboltin liukoisesta (3,2 µg/l) ja kokonaisuuksissa (3,4 µg/l).

Taulukko L2.7 Varisto (Luhtitie). Pohjavesiseurannan tulokset (Valjakka 2022).

Piste	ylävirta		alavirta		alavirta	
	P3		P1		P2	
ajankohta	27.4.2022		28.4.2022		27.4.2022	
pH [-]	6,6		7		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	
Ca	22		47		26	
Mg [mg/l]	6,8		10		7,3	
SO ₄ [mg/l]	12		40		29	
S [µg/l]	3606		11320		8332	
Cl ⁻ [mg/l]	3,1		12		16	
pitoisuus	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais	liukoinen	kokonais
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
As [µg/l]	<0,1	<0,5	2,4	2,4	0,5	0,8
Cd [µg/l]	<0,024	<0,1	<0,024	<0,1	<0,024	<0,1
Co [µg/l]	<0,15	<0,3	<0,15	<0,3	3,2	3,4
Cr [µg/l]	0,3	<1,0	0,26	1,9	0,3	<1,0
Cu [µg/l]	<1,0	7,1	<1,0	16	<1,0	1,2
Hg [µg/l]	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13	<0,13
Ni [µg/l]	<0,6	<3,0	<0,6	<3,0	4,8	5,2
Pb [µg/l]	<0,15	<0,5	<0,15	<0,5	<0,15	<0,5
Sb [µg/l]	<0,1	<1,0	<0,1	<1,0	0,5	<1,0
Zn [µg/l]	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	16	18

7. Tuusula, Lahelanpelto

Tuusulan Lahelanpellossa heikosti kantavalla savi- ja silttialueella pilaristabiloitiin katualueita, jotka sijaitsevat pohjavesialueella. Pohjaveden laatua ja pitoisuuksia tarkkailtiin rakentamisen yhteydessä noin kahden vuoden ajan. Pohjavettä tutkittiin kuudesta pisteestä, jotka koostuivat: kahdesta pohjavesiputkesta, kolmesta kaivosta, sekä Lahelan vedenottamon raakavedestä. (Kivimäki 2020)

Lahelanpellon maaperä koostuu savikerroksista, joiden yhteispaksuus 6,4–10,6 m. Saven alla sijaitsee 4,5–11,5 m silttikerros. Alueen stabilointi toteutettiin vaiheissa siten, että työ toteutettiin 01–12/2018. Stabiloinnissa käytettiin Terra GTC sideainetta 100 kg/m³. (Kivimäki 2020)

Tutkimukset sisälsivät kentällä mitatut: Lämpötila, pH, sähkönjohtokyky, happipitoisuus. Vesinäytteistä mitattiin laboratoriossa: 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.

Pohjavesinäytteistä otettujen tulosten perusteella todettiin pohjavedessä olevan lievästi kohonneita sinkin, kromin ja bariumin pitoisuuksia, jotka eivät ylittäneet ympäristön laatustandardeja. Näiden metallien arveltiin voivan olla peräisin sideaineesta.

Pohjaveden seurannassa yhdessä mittauspisteessä vesinäyte oli selkeästi emäksinen ja pH vaihteli tasoilla 8,0–8,7. Muissa pisteissä veden pH arvot olivat ennen stabiloinnin aloittamista välillä 6,0–7,0 ja mittausajanjakson päätteeksi pH-arvo oli noussut välille 7,0–7,5. Sulfaatin pitoisuus nousi yhdessä mittauspisteessä 20 mg/l:sta 100 mg/l:aan stabilointityön jälkeen. Muissa ei mittauspisteissä ei havaittu nousua.

8. Strömstad

Åhnberg ja Larsson (2012) esittivät tuloksia pilaristabiloinnin vaikutuksesta pohjaveteen. Tutkimuskohde oli Lounais-Ruotsissa Störmsstadissa sijaitseva koekenttä.

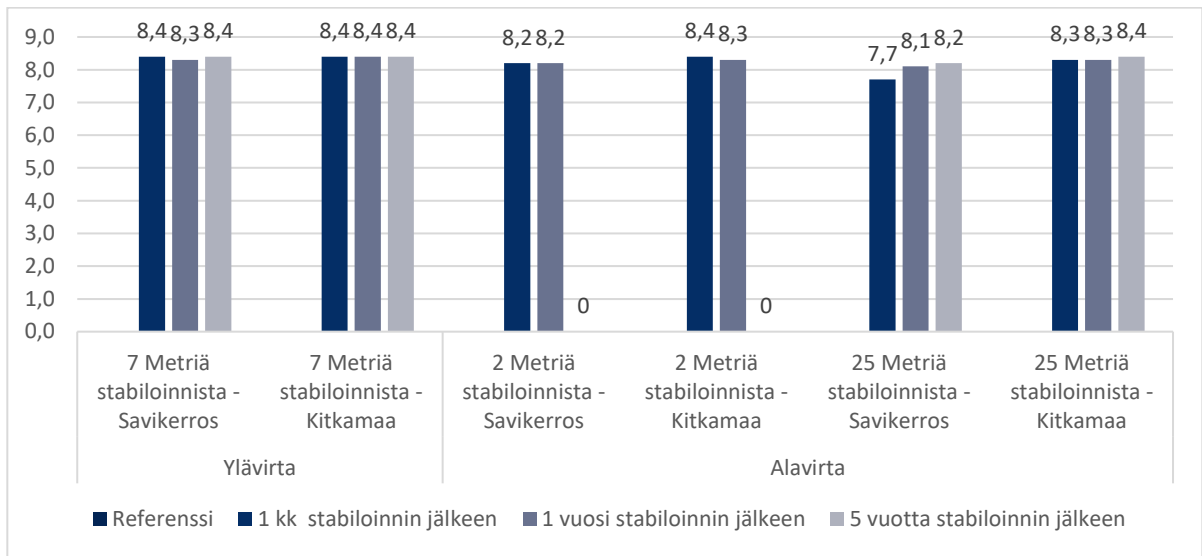
Alueella on ylinnä savikerros, jonka paksuus on 6–15 metriä vesipitoisuuden ollessa 65–90 %. Veden mitattiin virtaavan muutaman senttimetrin vuodessa savikerroksessa, jonka vedenläpäisevyys on noin 10^{-9} m/s. Saven alla on karkearakeisempi maakerros. Koeasetelmassa pilareita stabiloitiin kahdella eri sideaineella ja asennettiin pohjavesiputkia yhteensä 12 kappaletta.

Sideaineina käytettiin kalkkisementti- ja kalkkisementtituhka-seoksia 80 kg/m^3 . 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.

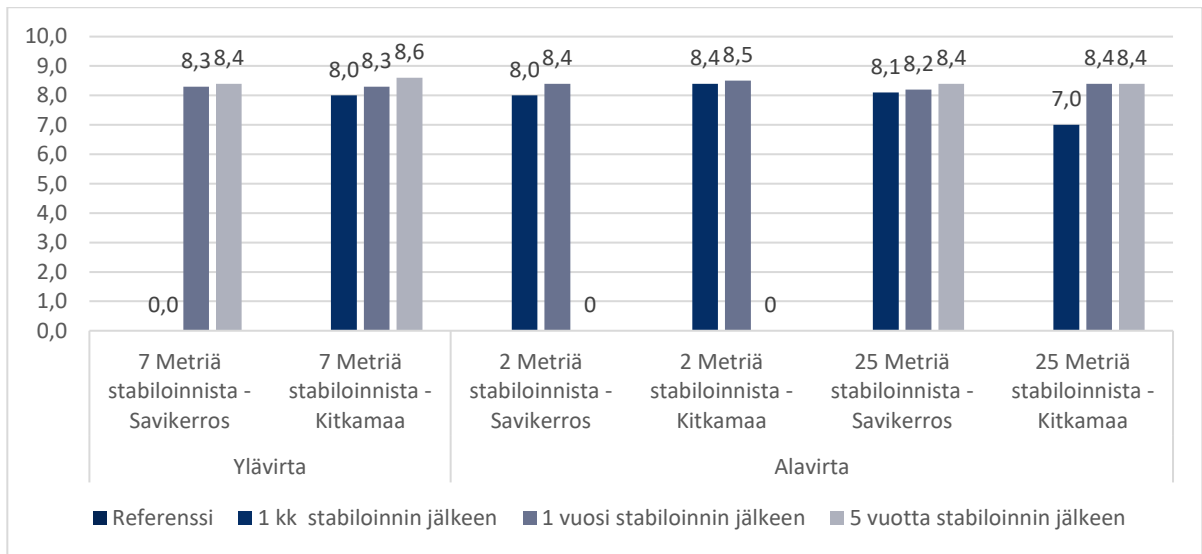
Pohjavesinäytteitä otettiin kahdelta syvyydeltä, kolmen metrin syvyydestä savikerroksesta, sekä syvemmältä karkearakeisemmasta maakerroksesta, jonka syvyys vaihteli tutkimuspisteen mukaan. Ajallisesti näytteitä kerättiin ennen stabilointia ja kuukausi, vuosi ja viisi vuotta stabiloinnin päättymisen jälkeen. Vesinäytteiden tutkimustulokset on esitetty kuvissa L2.17-L2.24.

Pohjavedestä otetuista näytteistä havaittiin kuukauden ja vuoden jälkeen kohonneita magnesiumiarvoja, 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 koho-
neen.

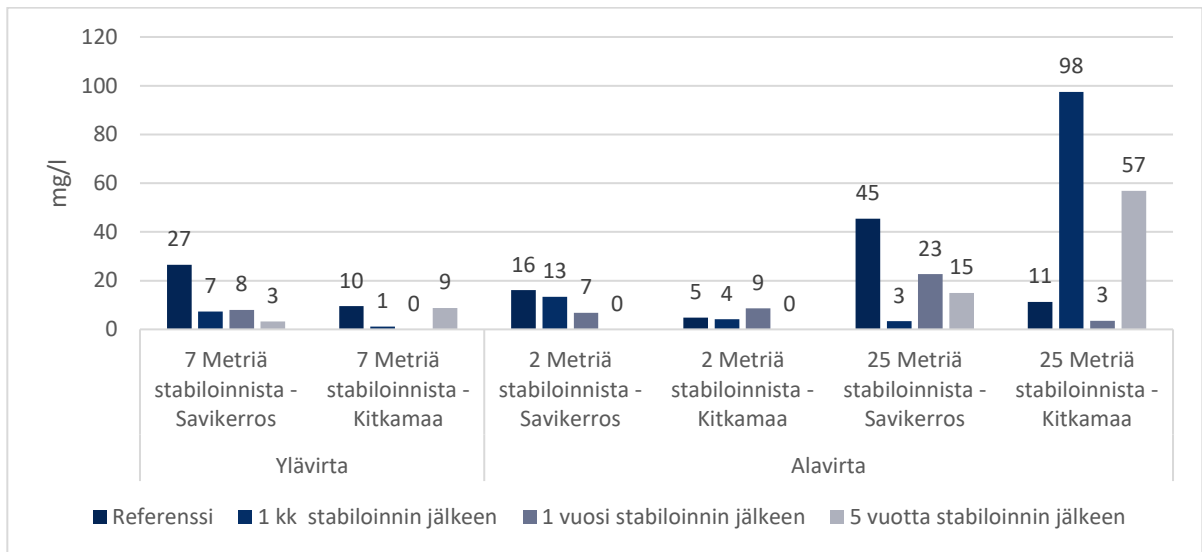
Mitatut pH-arvot olivat tasaiset ja stabiloinnin ei havaittu arvoja muuttavan. Kalsiumin mitatut pitoisuudet muuttuivat vain vähän. Raudan, alumiinin, kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet vaihtelivat, mutta niissä ei havaittu selkeää nousua. Ainepitoisuudet täyttivät yleiset talousvedelle laaditut laatuvaatimukset, joten stabiloinnilla ei nähty olevan merkittävää vaikutusta pohjaveden laatuun.



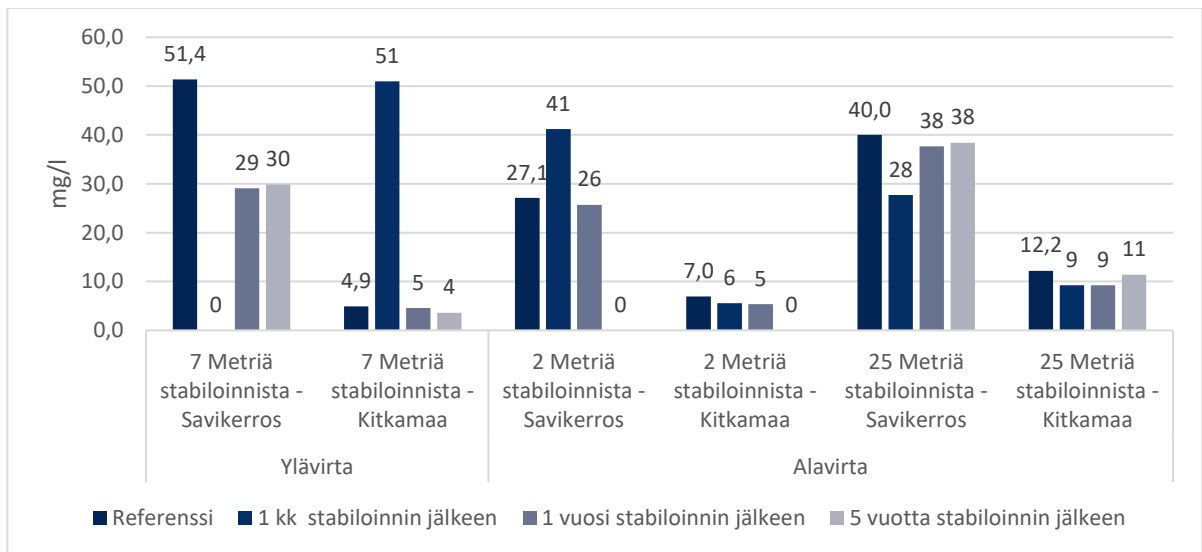
Kuva L2.17 Strömstad. Kalkkimenttipilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden pH. (Åhnberg & Larsson 2012).



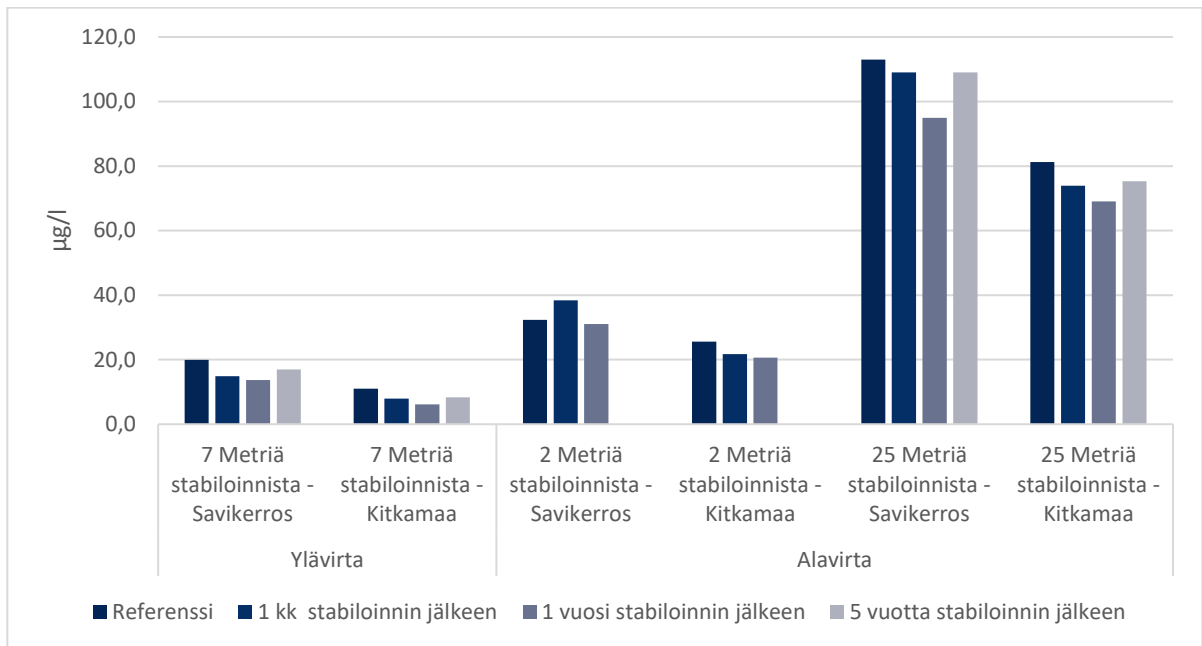
Kuva L2.18 Strömstad. Kalkkimenttituhkapilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden pH. (Åhnberg & Larsson 2012).



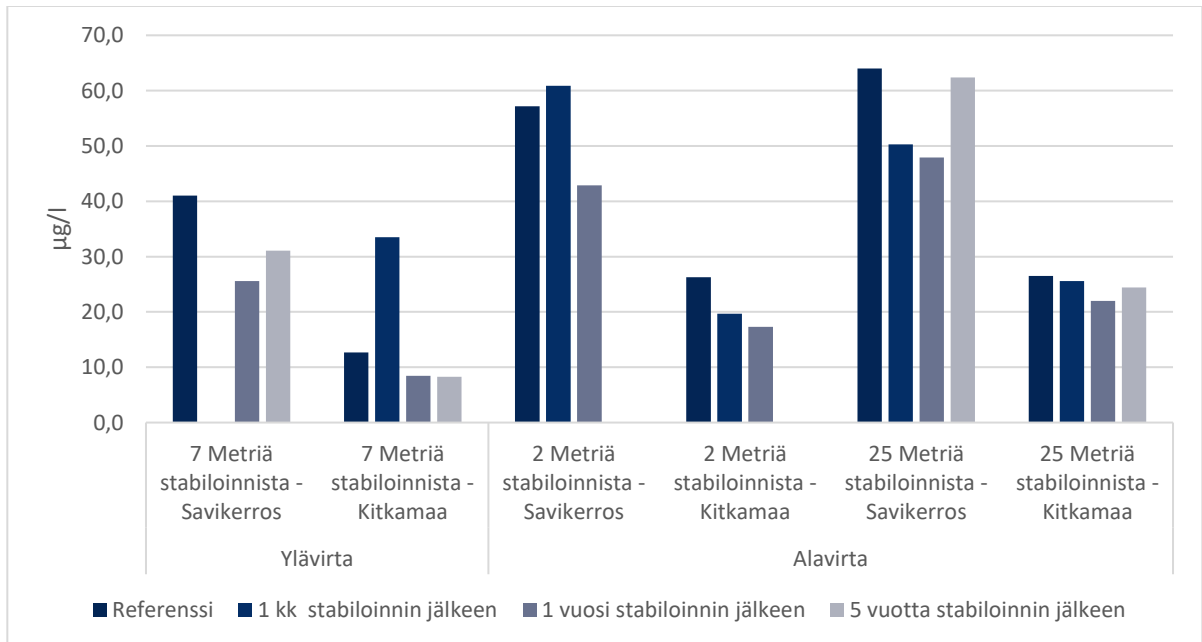
Kuva L2.19 Strömstad. Kalkkisementtipilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden kalsiumpitoisuudet [mg/l]. (Åhnberg & Larsson 2012).



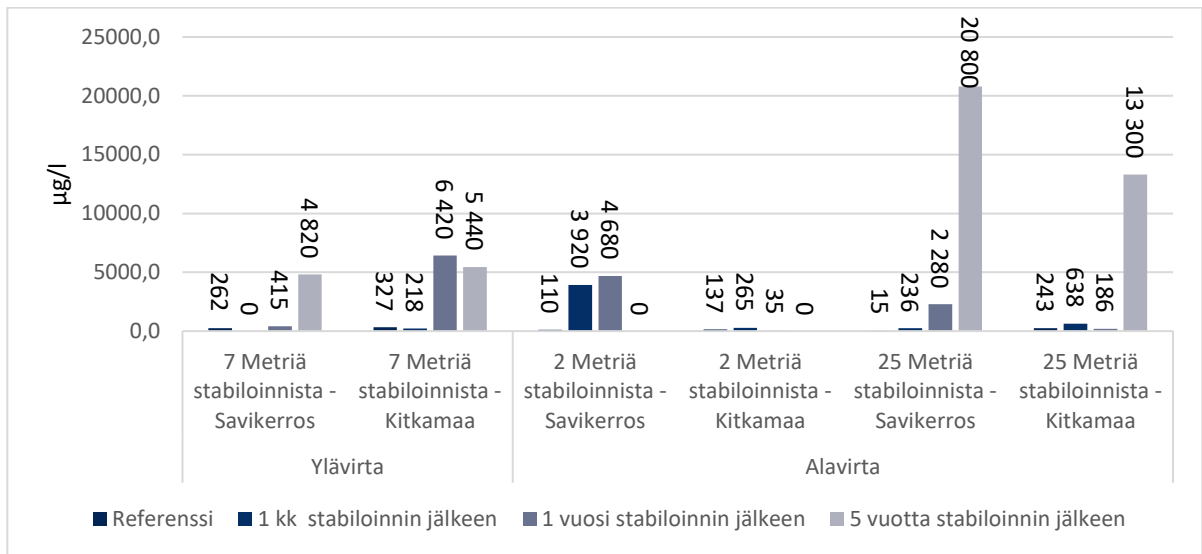
Kuva L2.20 Strömstad. Kalkkisementtituhkapilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden kalsiumpitoisuudet [mg/l]. (Åhnberg & Larsson 2012).



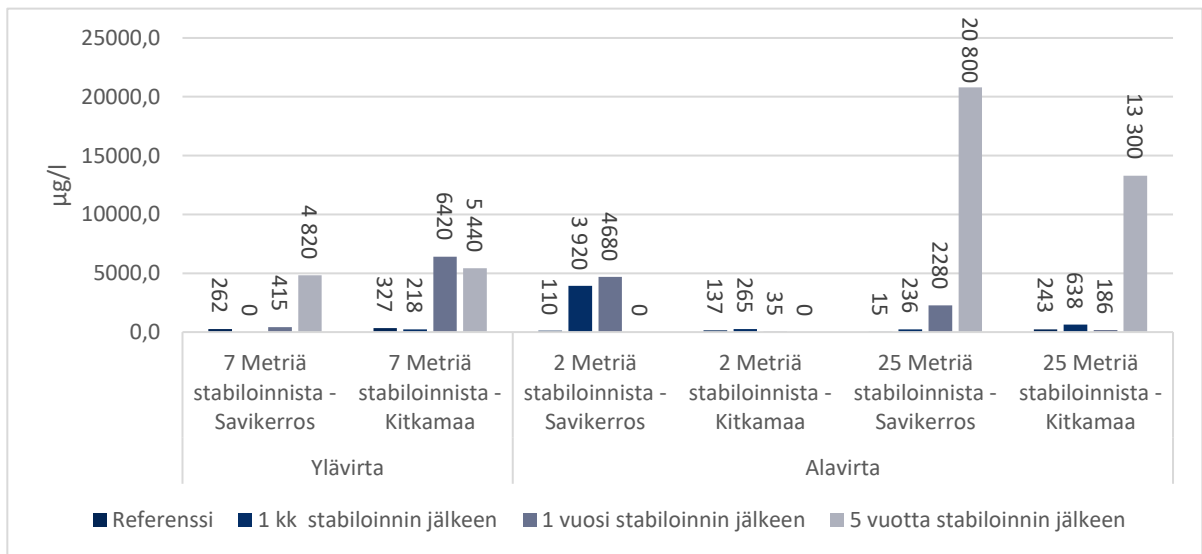
Kuva L2.21 Strömstad. Kalkkisementtipilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden liukoisen kuparin pitoisuudet [µg/l]. (Åhnberg & Larsson 2012).



Kuva L2.22 Strömstad. Kalkkisementtituhkapilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden liukoisen kuparin pitoisuudet [µg/l]. (Åhnberg & Larsson 2012).



Kuva L2.23 Strömstad. Kalkkisementtipilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden liukoisin sinkin pitoisuudet [µg/l]. (Åhnberg & Larsson 2012).



Kuva L2.24 Strömstad. Kalkkisementtituhkapilareiden edustalta otettujen pohjavesinäytteiden liukoisin sinkin pitoisuudet [µg/l]. (Åhnberg & Larsson 2012).

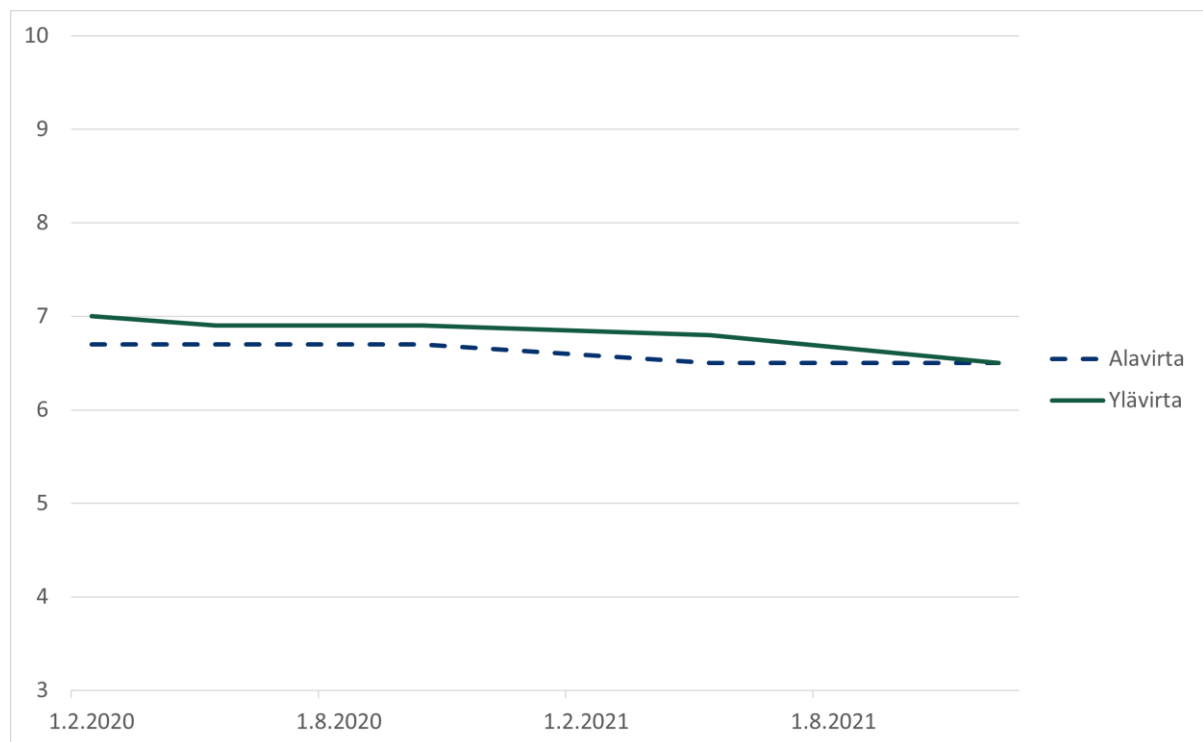
6. Hipunkulma, Tampere

Hipunkulmassa tie ja kevyenliikenteen raitti pohjavahvistettiin pilaristabiloimalla. Sideaineena käytettiin Ecolan InfraStabi80 sideainetta. (Oldén 2022). Sideaineen koostumus on esitetty luvun 4 taulukossa 4.2.

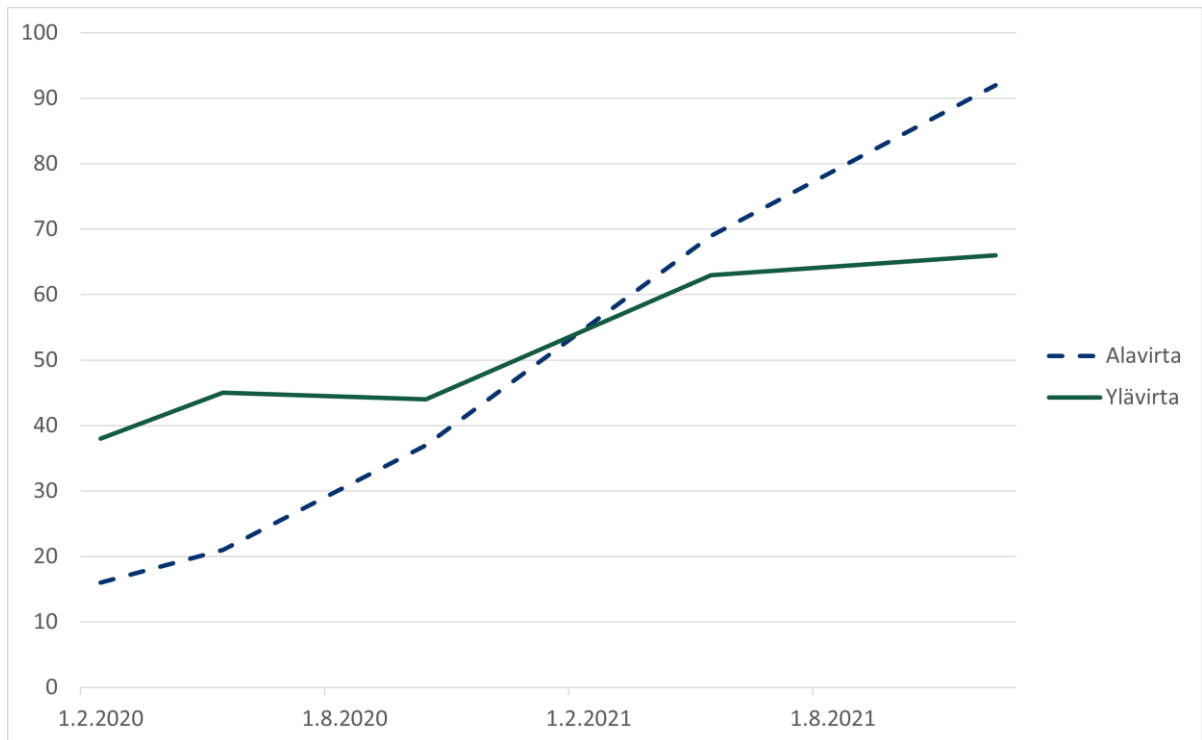
Alueella ylin kerros on kuivakuorisavea, jonka paksuus vaihtelee välillä 0,5–1,5 m. Kuivakuoren alla oli 3–7 metriä paksu savesta, liejuisesta savesta, siltistä, sekä hiekkaisesta siltistä koostuva kerros. Koheesiomaakerroksen alla on hiekkakerros, jonka paksuus oli 2–4 m.

Stabilointi tehtiin maaliskuussa 2020. Stabilointiin vaadittiin koetoimintailmoitus ja pohjavedenseuranta. Pohjavedenseuranta varten asennettiin kaksi muovista (PEH 60 mm) pohjavesiputkea: PVP1 ja PVP2. Pohjavedestä otettiin näytteitä ennen stabiloinnin aloittamista, sekä 1 kk, 6 kk ja 12 kk stabiloinnin jälkeen. Pohjavesinäytteistä analysoitiin pH, sähkönjohtavuus, sameus, väri, kloridi, sulfaatti ja raskasmetallit. Lisäksi mitattiin pohjaveden pinnan taso ja lämpötila. Pohjavesinäytteissä mitatut pitoisuudet täyttivät STM:n määrittämät kaivoveden laatuvaatimukset. Hipunkulman pohjavesituloksia on esitetty kuvissa L2.25 – L2.29 (Oldén 2022)

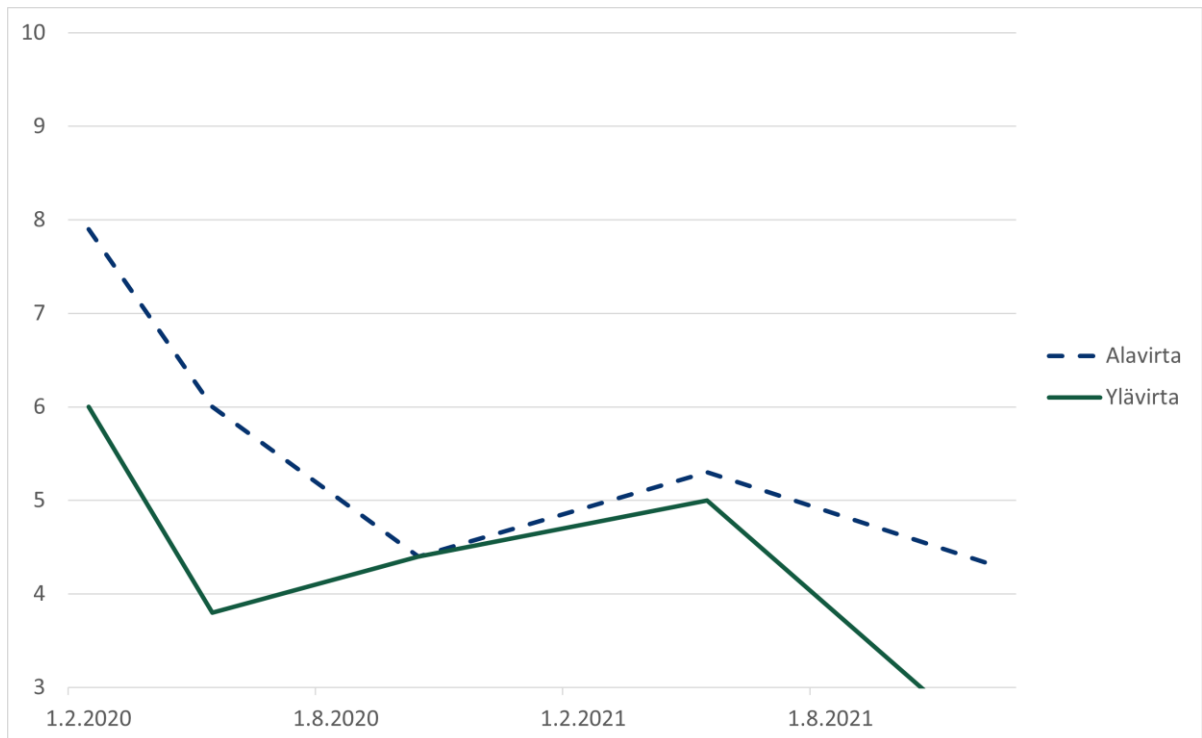
Tulosten perusteella alavirran putkessa sulfaatin ja liukoisen arseenin pitoisuudet kohosivat stabiloinnin jälkeen ylävirran putken pitoisuuksista. Kloridipitoisuudet olivat alun perinkin alavirran putkessa korkeammalla tasolla. Mitatuista pitoisuuksista EQS-pitoisuudet eivät ylittyneet. Talousveden laatuvaatimus tai suositus ylittyi niukasti nikkeliä 1 kk:n kuluttua stabiloinnista. Pitoisuusnousu oli kuitenkin sama sekä ylä- että alavirran putkessa, joten tulos voi olla myös luontaisesta vaihtelusta johtuvaa. Liukoisen arseenin pitoisuus ylittyi alavirran putkessa 12 kk:n kuluttua stabiloinnista otetussa näytteessä, mutta palautui aiemmalle alhaiselle $<5 \mu\text{g/l}$ tasolle seuraavan näytteenoton yhteydessä.



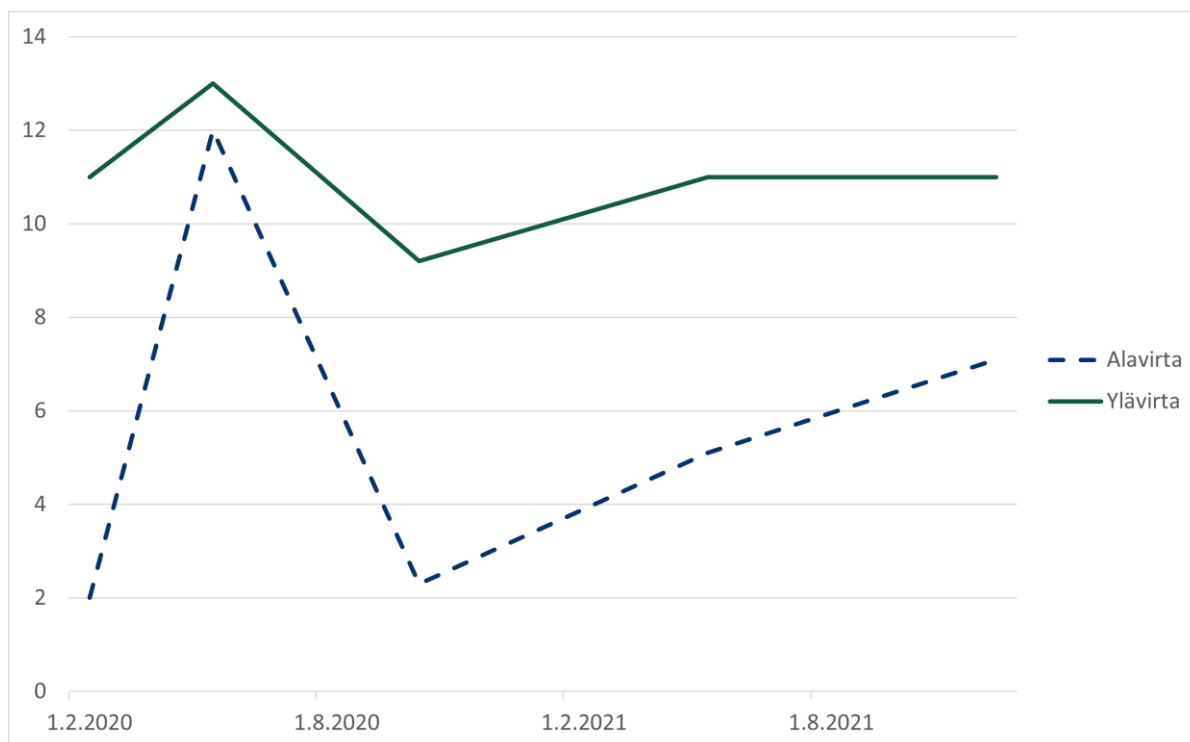
Kuva L2.25. Hipunkulma. Stabiloinnin läheisyydestä otettujen pohjavesinäytteiden pH [-]. (Oldén 2022).



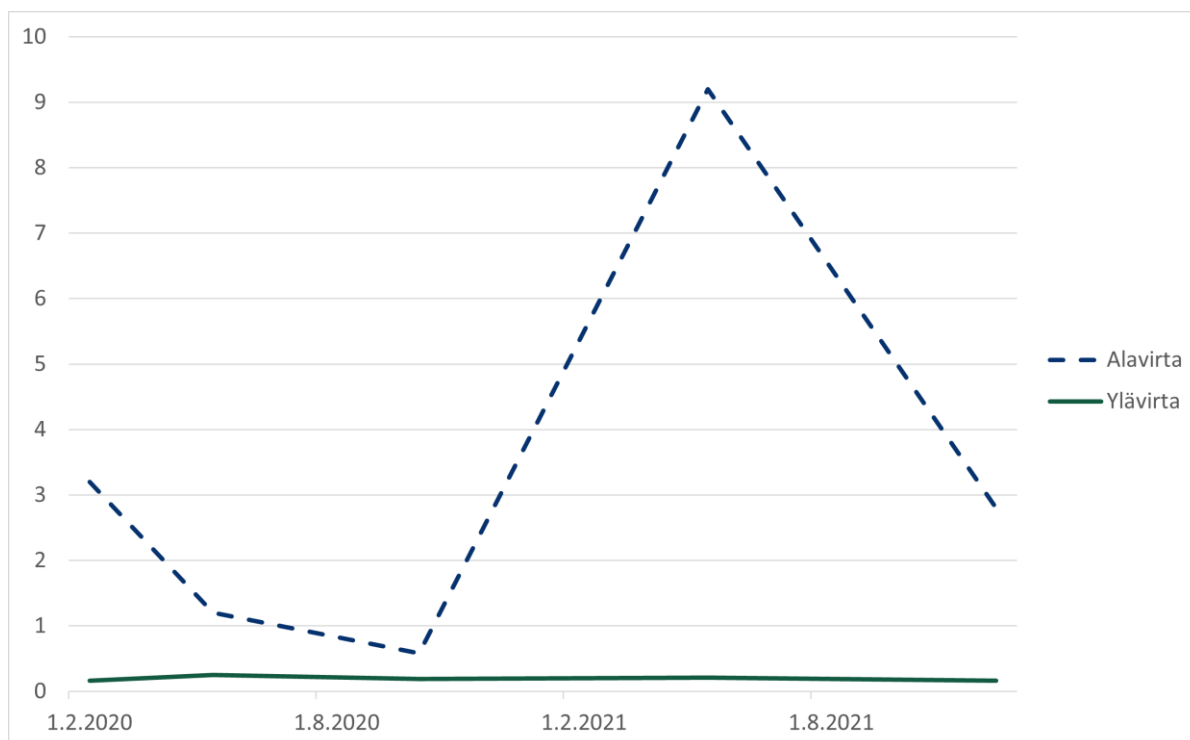
Kuva L3.26. Hipunkulma. Stabiloinnin läheisyydestä otettujen pohjavesinäytteiden sulfaatin pitoisuus. Yksikkönä mg/l. EQS = 150 mg/l. Talousveden laatuvaatimus tai -suositus 250 mg/l. (Oldén 2022).



Kuva L4.27. Hipunkulma. Stabiloinnin läheisyydestä otettujen pohjavesinäytteiden kloridipitoisuus. Yksikkönä mg/l. EQS = 150 mg/l. Talousveden laatuvaatimus tai -suositus 25 mg/l. (Oldén 2022).



Kuva L5.28. Hipunkulma. Stabiloinnin läheisyydestä otettujen pohjavesinäytteiden liukoisen nikkelin pitoisuus. Yksikkönä µg/l. Talousveden laatuvaatimus tai -suositus 10 µg/l. (Oldén 2022).



Kuva L6.29. Hipunkulma. Stabiloinnin läheisyydestä otettujen pohjavesinäytteiden liukoisen arseenin pitoisuus. Yksikkönä µg/l. Talousveden laatuvaatimus tai -suositus 5 µg/l. (Oldén 2022).

Syvästabiloitujen kaivumassojen hyödyntäminen, kohdekuvauksia

1. Sepänmäki meluvalli, Helsinki

Sepänmäen meluvalli Kehä I:n pohjoispuolella on rakennettu vuosina 2016–2019. Meluvallin itäpäässä vallin ydin on massastabiloitua ruoppausmassaa ja länsipäässä pilaristabiloitua kaivumaata. Vallin pohjassa ja tukipenkereissä on käytetty betonimurskettä. Kohteelle on ympäristölupa Etelä-Suomen aluehallintovirastolta (Nro 206/2014/1, Dnro ESAVI/328/04.08/2012), lupa koski uusiosideaineilla stabiloidun saven, betonimurskeen, ylijäämämaan sekä vähäisiä määriä mineraalista purkumateriaalia sisältävän maa-aineksen hyödyntämistä.

Meluvallissa hyödynnetty massastabiloitua ruoppausmassaa (29 540 m³rtd), joka on peräisin Jätkäsaaresta, jossa stabilointiin Jätkäsaaren edustalta ruopattuja massoja stabilointialtaissa vuonna 2014 kolmannessa stabilointivaiheessa (kuva L3.1). Sideaineena stabiloinnissa käytettiin viittä sideaineseosta, joista kaikki sisälsivät uusiomateriaaleja lentotuhkaa (LT, Helen), rikinpoiston lopputuotetta (RPT, Helen) ja palavan kiven tuhkaa (PKT, Eesti Energia). Uusiomateriaalien lisäksi useimmissa sideaineseoksissa oli mukana kalkkisementtiä (KC) ja/tai sementtiä (PlusSe) => LT+KC, LT+KC+RPT, LT+PlusSe, LT+PlusSe+RPT, PKT. Massastabiloinnissa käytettiin yhteensä 3 659 t sideaineita. Ruoppausmassalle tehtiin laboratoriotutkimukset ennen massastabilointia ja laadunvarmistuskairaukset massastabiloinnin jälkeen. Lisäksi tehtiin laboratoriotutkimukset stabiloidulla massalla.

Vallin länsipäässä hyödynnettiin 25 148 m³rtd pilaristabiloitu savea, joka oli peräisin Siltalanpuiston ja Tullivuoren rakennustyömailta ja oli välivarastoitu Kivikonlaitaan välivarastointikentälle. (Tengvall & Napari 2020)

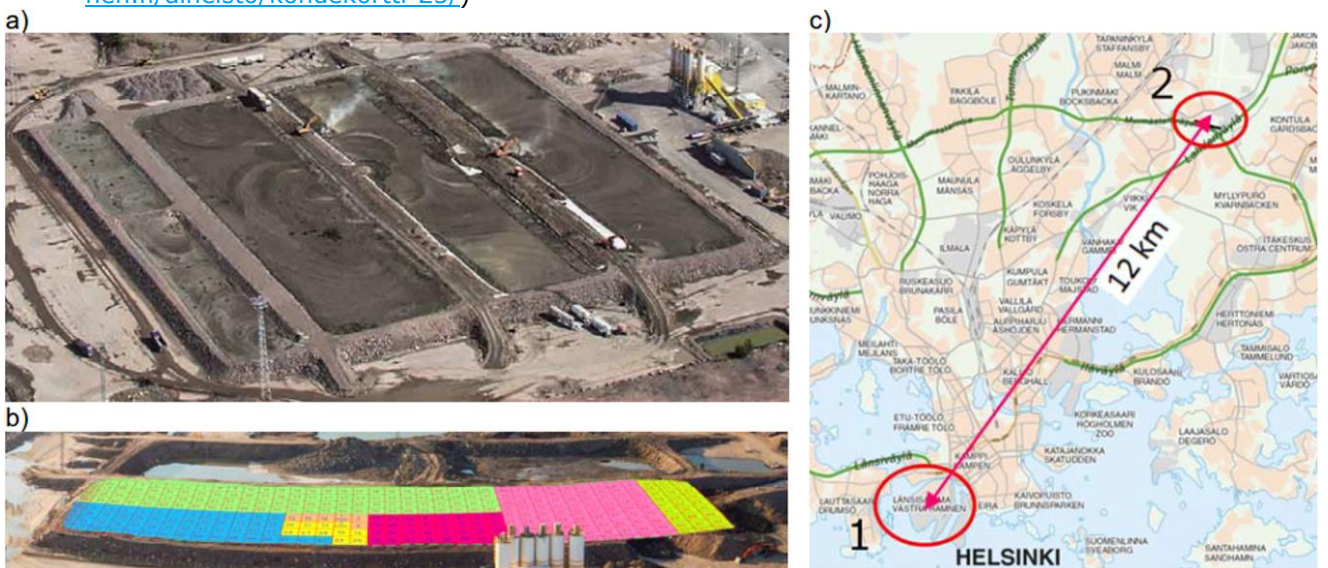
Stabiloidulle maa-ainekselle tehtiin laadunvalvontakokeet ympäristöluvan laatuvaatimusten täyttymisen tarkistamiseksi. Kohteen ympäristöluvassa stabiloidulle ruoppausmassalle ja stabiloidulle savelle on määritetty käytettäväksi eri menetelmiä kelpoisuuden osoittamiseksi:

- Stabiloitujen ruoppausmassojen kelpoisuus tuli osoittaa standardin EA NEN 7375:2004 modifioidun diffuusiokokeen liukoisuuksina (mg/m²). Stabiloidun sedimentin haitta-aineiden liukoisuudet modifioidussa liukoisuustestissä alittivat kaikilla sideaineresepteillä lupapäätöksessä esitetyt haitallisten aineiden raja-arvot.
- Saven stabiloinnissa käytettyjen lentotuhkien (LT ja PKT) ja rikinpoiston lopputuotteen (RPT) ympäristökelpoisuus tuli osoittaa sideaineena. Sideaineiden testaus tuli tehdä eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa annetun valtioneuvoston asetuksen (591/2006) ja sen muutoksen (403/2009) mukaisesti siten, että raja-arvoina käytettiin päällystetyn rakenteen raja-arvoja. Lentotuhkien kokonaispitoisuudet alittivat ko. asetuksen päällystetyn rakenteen raja-arvot. Liukoisuusraja-arvot täyttyivät muutoin paitsi PKT:n sulfaattipitoisuuden osalta. Se ylitti raja-arvona käytetyn 10 000 mg/kg ka ollen 16 000 mg/kg ka. (Tengvall & Napari 2020)

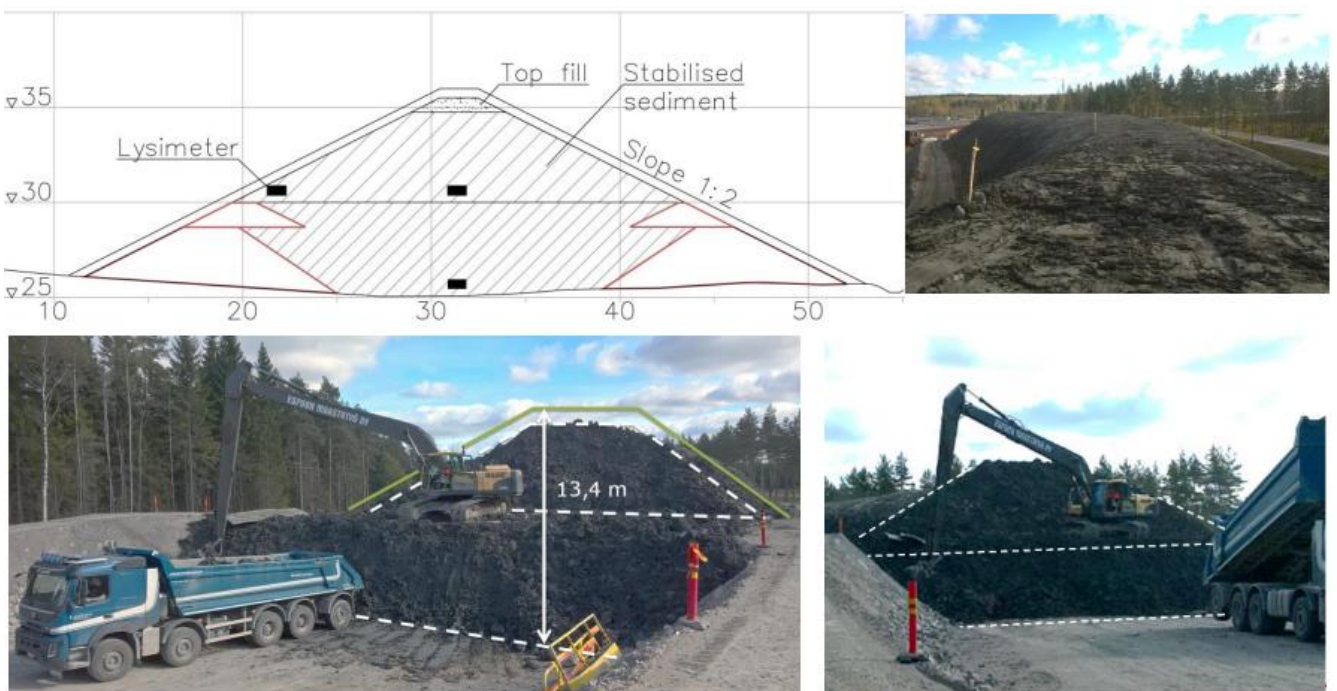
Massastabiloidulla ruoppausmassalla rakennetulla meluvallin osuudella tehtiin rakentamisvaiheessa laadunvalvontakairauksia (pilari- ja pilarisiipikairaus) sekä vesitarkkailua pinta-, pohja- ja suotovesistä. Rakenteeseen on asennettu stabiloidun savikerroksen alle lysimetrit liuenneiden aineiden pitoisuuksien seuraamiseksi rakentamisen jälkeen. Stabiloitu savi on huonosti vettäläpäisevää. Siitä läpi suotautuvan veden määrä on hyvin pieni ja suotovesiä kertyi lysimetreihin vain vähän. Joinakin näytteenotokertoina näytettä ei saatu lainkaan tai tehtäviä analyysejä jouduttiin rajoittamaan vähäisen näyttemäärän vuoksi. Suotovesissä todettiin kohonneita pitoisuuksia metalleja, sulfaattia, kloridia ja syanidia sekä satunnaisesti hyvin pieniä pitoisuuksia öljyhiilivetyjä ja PAH-yhdisteitä.

Alueen pinta- ja pohjaveteen ei aiheutunut merkittävää ympäristökuormitusta. Kohteen vesitarkkailuissa ei havaittu, että meluvallin rakentamisella olisi ollut merkittävää vaikutusta alueen pohja- ja pintavesien laatuun. Vesissä todetut pitoisuudet eivät poikenneet merkittävästi rakentamista edeltävistä pitoisuuksista eikä rakentaminen lisännyt hulevesien määrää. Suotovedestä ei siten ole aiheutunut merkittävää kuormitusta pohja- tai pintavesiin. (Tengvall & Napari 2020)

Massa- ja pilaristabiloitu kaivumaa soveltuivat erittäin hyvin meluvallin rakentamiseen. Kohdetta on esitelty myös UUMA-kohdekortissa Helsinki, Sepänmäen meluvalli (<https://uusiomaarakentamisen.fi/aineisto/kohdekortti-25/>)



Kuva L4.1 Stabilointialtaat Jätkäsaarella (a, b), josta stabiloitu massa kuljetettiin Sepänmäen meluvalliin.



Kuva L4.2 Suunnitelmapoikkileikkaus sekä vallin rakentamisesta massastabiloidulla ruoppausmassalla.

2. Malminkenttä, Helsinki, maakaasuputki, pilaristabiloitujen kaivumaiden hyödyntäminen lopputäytössä

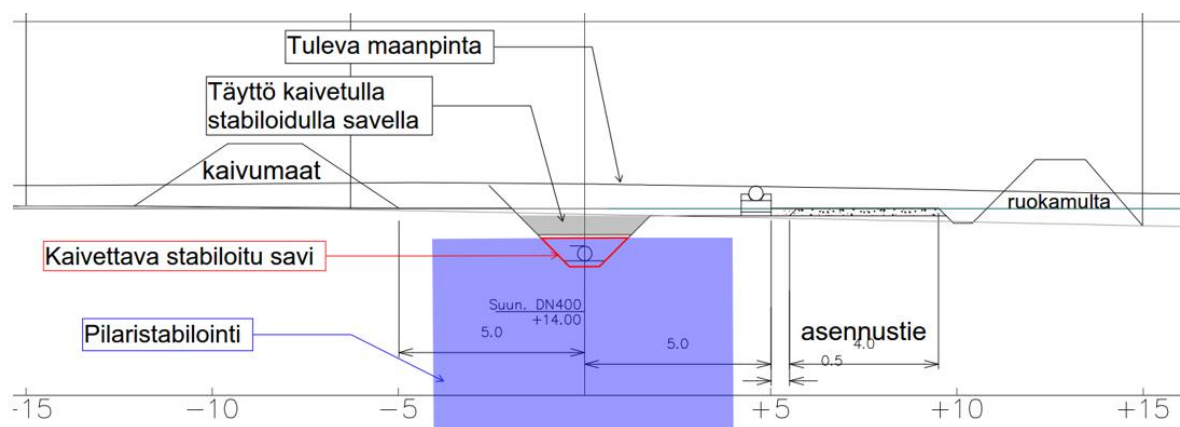
Malminkentällä toteutettiin maakaasuputken siirto vuosina 2022-23. Suuri osuus putkesta sijoittuu pehmeikölle, jossa pohjanvahvistus toteutettiin pilaristabiloimalla (kuva L4.3). Pilaristabiloinnissa käytettiin sideaineena Nordkalk Terra GTC-sideainetta. Putken juoksumetriltä arvioitiin kaivettavan keskimäärin n. 2 m³ savea. Savi sijoitettiin takaisin kaivannon lopputäytöksi. Stabiloidun saven mahdollisiksi ympäristövaikutuksiksi tunnistettiin mahdollinen veden pH:n nousu ja irtoavan kiintoaineksen aiheuttama samentuma. Kaivetut ja täytöissä hyödynnettävät stabiloidut savet eivät sijaitse Longinojan läheisyydessä eikä niistä ole suoraa ojayhteyttä Longinojaan (suojeltu taimenpuro), joten niistä ei voi kulkeutua samentumaa tms. aiheuttavaa kiintoainesta Longinojaan.

Kohteessa tiedusteltiin Helsingin kaupungin ympäristöpalvelulta ympäristölupatarpeesta kaivetun lujittuneen pilaristabiloidun saven (pilarit + pilareiden välinen savi) hyödyntämiselle putkikaivannon lopputäytössä kuvan L4.4 mukaisesti. Tiedusteluun saatiin vastaus: *Helsingin kaupungin ympäristöpalveluiden ympäristöseuranta- ja -valvontayksikkö katsoo, että saatujen selvitysten ja suunnitelmien mukaisesti toteutettuna Malmin kaasuputkilinjan pilaristabiloinnin stabiloitujen savien hyötykäyttö samoilla kaivannoilla ei edellytä ympäristölupaa. Ennalta arvioiden stabiloitujen savien hyötykäytöstä putkilinjalla ei aiheudu ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa tai muuta YSL 27§:n mukaista seurausta. Stabiloituja savia käsiteltäessä on syytä erityisesti huomioida, ettei tästä aiheudu pohja- tai pintaveden pilaantumisen vaaraa, liettymistä tai muutakaan haittaa ympäristölle.* (Helsingin kaupunki 2022)

Kaivetun stabiloidun saven hyödyntäminen toteutettiin suunnitellusti. Toteutuksella ei ollut vaikutuksia ympäristöön tai Longinojan veden laatuun (Longinojassa on jatkuva veden laadun seuranta).



Kuva L4.3 Malminkenttä. Maakaasulinja. Pilaristabiloimalla pohjanvahvistetut osuudet on esitetty keltaisella rasterilla (suunnitelmapiirustus "Maakaasuputken esirakentaminen, 31451/31, FCG, 6.4.2022", osakopio).



Kuva L4.4 Malminkenttä. Maakaasulinja. Poikkileikkaus, jossa esitetty pilastabiloidulta alueelta kaivetun stabiloidun saven (lila rasteri) hyödyntäminen putkikaivannon lopputäytössä (harmaa rasteri).

Ruoppausmassojen massa- ja prosessistabilointi, kohdekuvauksia

1. Lauttaranta, Turku

Turun Lauttaranta on poikkeuksellinen asuntorakentamiseen osoitettu täyttö- ja esirakentamiskohde, jossa tulva-alueelle sijoittuvaa savista maapohjaa korotetaan saven ja ruoppausmassan massastabiloinnin avulla. Massastabiloimalla hyödynnetään Turun vesistö-rakennuskohteista saatavia ruoppausmassoja. Turussa ruoppausmassojen meriläjitys on päätetty lopettaa ja kohde vastaa kaupungin lähes jatkuvaan läjitystarpeeseen.

Kohteeseen on Etelä-Suomen aluehallintoviraston lupamuutospäätöksillä nro 377/2022 ja 378/2022 sekä alkuperäisillä vesi- ja ympäristölupapäätöksillä nro 440/2020 ja 441/2020 mahdollistettu seuraavien kriteereiden mukaisesti massastabiloidun ruoppausmassan käyttö.

- ruoppausmassoja enintään 520 000 m³
- Ruoppausmassan haitta-ainepitoisuudet tulee alittaa VNa 214/2007 mukaiset alemmat ohjearvot, Ohjearvoista saa poiketa seuraavien aineiden osalta ja näiden aineiden pitoisuudet saavat olla enintään seuraavat: kromi 300 mg/kg, kupari 200 mg/kg, nikkeli 150 mg/kg, lyijy 300 mg/kg, sinkki 400 mg/kg ja vanadiini 250 mg/kg
- Lisäksi vesialueen täytössä saadaan käyttää puhtaita maa-aineksia, joiden sisältämät haitta-ainepitoisuudet alittavat edellä mainitun asetuksen mukaiset kynnyсарvot. Kynnyсарvoista saa poiketa seuraavien aineiden osalta ja näiden aineiden pitoisuudet saavat olla enintään seuraavat: arseeni (13 mg/kg), lyijy (101 mg/kg), sinkki (209 mg/kg) ja vanadiini (103 mg/kg).
- Stabiloidun ruoppausmassan tulee alittaa taulukossa 4.1 esitetyt haitallisten aineiden liukoisuudet.

Taulukko L 4.1 Turun lauttarannassa asetetut haitallisten aineiden liukoisuuden raja-arvot.

Parametri	mg/kg kuiva-ainetta (L/S=10 l/kg)
Arseeni, As	1
Barium, Ba	20
Kadmium, Cd	0,04
Kromi, Cr _{kok}	1
Kupari, Cu	4
Elohopea, Hg	0,01
Molybdeeni, Mo	10
Nikkeli, Ni	10
Lyijy, Pb	1
Antimoni, Sb	0,2
Seleeni, Se	0,5
Sinkki, Zn	4
Vanadiini, V	5
Liennut orgaaninen hiili, DOC	2 000

Lauttarantaan läjitettäville ruoppausmassoille on tehty vuonna 2020 stabiloituvuuden esitestausta, jossa runkoaineina oli mukana Meyerin telakan ruoppausmassoja, Lauttarannan reunapenkereen alta ruopattavat massat sekä ruoppauskohde Aurajoesta. Esitestauksessa ympäristökelpoisuutta testattiin kokonaispitoisuusmäärityksin, ravistelutestein sekä pintaliukenemistestein. Sideaineina

testauksessa oli monipuolisesti eri sideaineita mm. Nordkalk Terra GTC, Ecolan InfraStabi, Finnsementti Oiva ja Naantalin voimalaitoksen lentotuhka. Kaikista käytetyistä sideaineista testattiin niiden kokonaispitoisuudet. Laajempi ympäristökelpoisuus testaus toteutettiin vain parhaimmat teknistaloudellisista ominaisuuksista saavuttaneista resepteistä.

Stabiloituvuuskokeiden yhteydessä testattujen ruoppausmassan ja sideaineiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet on esitetty raportin kappaleessa 6.

2. Pansion satama, Turku

Pansion stabilointihanke toteutettiin vuosina 2006–2009 Turun Sataman LIFE Ympäristö -rahoitushankkeena LIFE06 ENV/FIN/000195-STABLE. EU:n lisäksi hanketta rahoitti Turun satama sekä projektikonsortio. Hankkeen tavoitteena oli sitoa oikealla sideainevalinnalla haitta-aineet ja erityisesti TBT niukkaliukoiseen muotoon ja tuottaa stabiloinnilla satamakenttärakenteen edellyttämät tekniset vaatimukset. Hankkeessa testattiin prosessistabilointia ja arvioitiin menetelmän elinkaarikustannuksia ja -ympäristövaikutuksia. Seuraavassa on esitetty poimintoja demonstraatiohankkeen loppuraportista (Autiola et al. 2009).

Demonstraation keskeisiä kehitystyötä edellyttävät havainnot olivat:

- laitteisto toimi vielä panosluonteisesti. Yhden annoksen koko sideaineinen oli noin 6 m³.
- ruoppausmassan syöttöpumppu ja stabiloidun massan uppovalupumppu puuttuivat ja nämä vaativat vielä kehitystä
- sideaineiden syöttö perustuu ruoppausmassan painoon, jolloin massan tiheys tulee olla tiedossa, jotta sideaineiden annostelu olisi riittävän tarkkaa.
- ruoppausmassan laatu vaihtelee suuressa ruoppauskohteessa riippuen ruoppausryöstä ja materiaalista. Tiheydellä ja vesipitoisuudella on havaittavissa jonkinasteinen korrelaatio, jota voidaan hyödyntää sideaineen annostelussa kohdekohtaisesti.
- alhaisen vesipitoisuuden savi ruoppausmassassa on takertuvaa ja holvaantuu laitteiston seinämiin, jos homogenisointia ei ole tehty kunnolla tai sekoitustyö kestää liian kauan. Tähän vaikuttaa myös sideainevalinnat.
- Liian vesipitoinen massa valui laitteiston läpi. Sideaineiden sekoittaminen liian vetiseen massaan oli lähes mahdotonta.
- romumetalli ja erityisesti vaijerit tukkivat tai hirttäytyivät laitteistoon ja aiheuttivat toimintakatkoksia. Romujen siivilöiminen ruoppausmassasta on myös aikaa vievää. Välpä on pidettävä jatkuvasti puhtaana.

Pilottilaitteiston hyvät puolet:

- sideaineiden sekoittuminen ruoppausmassaan oli laatututkimusten perusteella hyvä. Prosessistabiloimalla voidaan säästää oleellisesti sideainekustannuksissa verrattuna massastabilointiin, sillä sekoitustulos on tasalaatuisempaa
- prosessistabiloinnille saavutetaan homogeenisempi laatu massastabilointiin verrattuna, mikä takaa paremman teknisen ja ympäristökelpoisuuden laadun
- laitteistokehitys pakkasen kestävyydelle on onnistunut. Toiminnan pakkasrajat ovat samat kuin ruoppauksessa (-10 °C). Joten toiminnan yhtäaikaiselle toteutukselle ei ole esteitä.

Ruoppausmassan purussa käytettiin pääasiassa kuorma-autoa ja dumperia. Erilaisia putkisiirto- tapoja kokeiltiin kahden viikon ajan, mutta kokeilusta luovuttiin urakka-aikataulun ja stabiloidun massan jäykkyuden vuoksi. Pumppaus- ja putkisiirtojen jatkokehittelyä varten koottiin lista muutujista, jotka kehitystyössä tulee ottaa huomioon:

- Massan notkeus vaihtelee
- Jatkuvatoiminen syöttö edellyttää kehitystyötä
- Putkiston paino on varsin suuri ja vaikeasti liikuteltava
- Jäätymissämahdollisuuden hallinta
- Sideainevalinnat, Pikasementti huono, voi jämähtää putkeen.
- Mahdollisia muita siirtotapoja ovat mm. kourut

Ennakkotutkimuksissa 2006–2007 selvitettiin useiden sideaineiden ja niiden yhdistelmien liukoisuuksia stabiloidusta Pernoon väylän. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin Pernoon väylän sedimenttiä, jonka haitta-ainepitoisuuksista kohonneita oli erityisesti TBT:llä, jonka pitoisuus ylitti meriläjituskelpoisuuden raja-arvon. Testausmenetelmänä käytettiin modifioitua diffuusiotestiä NVN 7347 vuodelta 1999.

Tutkitut stabiloinnin sideaineet olivat yleisementti CEM II/A-M (S-LL) 42,5 N, Fortumin Naantalin jalostamon lentotuhka, poltettu kalkki + Finnstabi, perusmentti CEM II/B-S 42,5 sekä Salvor lisäaine.

Diffuusiotestissä liuenneiden organotinapitoisuudet olivat matalia, eikä sideainekohtaisia eroja pystytty selkeästi osoittamaan. Organotinayhdisteiden liukoisuudet olivat alhaisimpia käsittelemättömällä näytteellä. Syyksi arvioitiin pH-olosuhteet, mitä alhaisempi pH sitä voimakkaampaa on adsorptio mineraaliainekseen. Muita testin keskeisiä tuloksia olivat:

- elohopean, bariumin, molybdeenin, nikkelin, sinkin, vanadiinin ja sulfaatin liukoisuudet ovat pieniä, joten ehjässä kenttärakenteessa ne eivät aiheuta ympäristöriskiä.
- seleenin, arseenin, antimonin, kadmiumin, kromin, kuparin ja lyijyn liukoisuudet ovat alle määritysrajan, joten ne eivät aiheuta ympäristöriskiä

Toisessa vaiheessa vuosina 2007–2008 tutkimukset kohdistettiin Aurajoen alajuoksun sedimentteihin, joilla toteutettiin varsinainen pääpilotti. Myös Aurajoen massojen päähaitta-aineet olivat organotinoja. Teknisiä ominaisuuksia tutkittiin tässä vaiheessa yleisementillä, pikasementillä, maasuonikuonajauheella, Salvor lisäaineella sekä Fortumin Naantalin jalostamon lentotuhkalla kuivana ja kostutettuna. Ympäristökelpoisuustestaus tehtiin teknisesti parhaiten menestyneille resepteille:

- ADJ-1: 60PIKA+150KJ+100 LT
- ADJ-2: 60PIKA+100LT
- ADJ-3: 45PIKA+105KJ+100LT

Taulukko L4.2. Diffuusiotestinäytteiden kumulatiiviset liukoisuudet pinta-alaa kohti ja raja-arvovertailu. Kaikkien testattujen haitta-aineiden liukoisuudet alittivat eri lähteistä kootut liukoisuusraja-arvot.

	Kumulatiivinen liukoisuus [mg/m ²]									Liukoisuus raja-arvo* [mg/m ²]
	ADJ-1			ADJ-2			ADJ-3			
	4 vrk	16 vrk	63 vrk	4 vrk	16 vrk	63 vrk	4 vrk	16 vrk	63 vrk	
TBT	<0.004	<0.009	<0.013	0.007	<0.011	<0.016	<0.004	<0.009	<0.013	0,672 (64 vrk)**
TPhT	0.004	0.011	0.033	0.005	0.010	0.022	0.010	0.031	0.076	0,726 (64 vrk)**
PCB	<0.009	<0.017	0.034	<0.009	<0.017	<0.026	<0.009	<0.017	<0.026	
PAH	0.043	0.078	0.120	0.052	<0.104	<0.156	0.060	0.129	0.198	
Sb	<0.428	<0.863	<1.289	<0.430	<0.868	<1.299	<0.425	<0.862	<1.290	36
As	<0.86	<1.73	<2.58	<0.86	<1.74	<2.60	<0.85	<1.72	<2.58	58
Hg	<0.171	<0.345	<0.515	<0.172	<0.347	<0.519	<0.170	<0.345	<0.516	1.6
Cd	<0.171	<0.345	<0.515	<0.172	<0.347	<0.519	<0.170	<0.345	<0.516	2.1
Co	<0.86	<1.73	<2.58	<0.86	<1.74	<2.60	<0.85	<1.72	<2.58	280
Cr	<0.86	<1.73	<2.58	<0.86	<1.74	<2.60	<0.85	<1.72	<2.58	550
Cu	<8.6	<17.3	<25.8	<8.6	<17.3	<26.0	<8.5	<17.2	<25.8	250
Pb	<0.86	<1.73	<2.58	<0.86	<1.74	<2.60	<0.85	<1.72	<2.58	210
Mo	<1.71	5.19	10.30	<1.72	8.73	24.22	<1.70	6.07	16.34	70
Ni	<1.71	5.19	12.00	<1.72	6.10	19.01	<1.70	20.50	31.63	270
Zn	<4.28	27.79	43.95	<4.30	25.33	45.98	<4.25	15.61	45.55	330
V	<0.86	1.73	5.13	<0.86	<1.74	3.46	<0.85	<1.72	4.29	700

*Liukoisuusraja-arvo kiinteytetyille materiaalille, Sorvari, J., Suomen ympäristö 421/2000
** Vuosaaren TBT-sedimenttien todettu liukoisuustaso

Liukoisuustestauksessa useiden haitta-aineiden liukoisuudet jäivät alle laboratorion määrittämissä rajojen. Organotinayhdisteiden liukoisuudet jäivät alhaisiksi verrattuna Vuosaaren Sataman todettuihin tributyyliitinan (TBT) ja trifenyylitinan (TPhT) liukoisuuksiin. TBT:n liukoisuudet jäivät alle määrittämissä rajojen lukuun ottamatta ADJ-2:n 4 vrk:n näytettä. Myös metallien liukoisuudet jäivät hyvin alhaisiksi verrattuna mineraalisten teollisuusjätteiden liukoisuusraja-arvoihin. Metalleista molybdeenin, nikkelin, sinkin ja vanadiinin pitoisuudet ylittivät laboratorion määrittämissä rajojen. Runkoaineen tai valitun sideaineen laadulla ei havaittu testitulosten välillä merkittävää eroa.

Testattujen koekappaleiden vedenläpäisevyudet täyttivät selkeästi lupamääräyksissä annetun raja-arvon 5×10^{-8} m/s ollen $7,8 \times 10^{-9}$ ja $9,5 \times 10^{-9}$ m/s.

Varsinainen stabilointi eristyspengeraltaaseen toteutettiin 6.10.2008–30.1.2009 prosessistabilointitekniikalla. Ennen stabiloidulla massalla tehtyä täyttöä, eristyspengeraltaan altaan puoleiseen luiskaan on asennettu suodatinkangas ja sen päälle 0,5 m paksuinen hiekkakerros, joten pengerrakenteen pitää hienoaainesta. Sijoitettujen ruoppausmassojen kokonaismäärä on 87 970 m³itd. Ruoppausmassojen stabiloinnin sideaineina käytettiin pääasiassa pikasementtiä, masuunikuonajauhetta, kivihiilenpolton lentotuhkaa ja vähäisemmässä määrin yleissementtiä. Sideaineiden yhteenlaskettu määrä oli 22 346 tonnia. Stabiloidun massan päälle asennettiin suodatinkangas ja sen päälle 2,5-3,0 m paksu hiekka- ja louhetäyttö.

Vuonna 2014 stabilointialtaasta laadittiin riskinarvion perustuva asiantuntijalausunto (Lindroos 2014), jonka tarkoitus oli osoittaa asfaltointitöiden kiireettömyys ja murskerakenteen riittävyys peittorakenteeksi. Riskinarvion tueksi otettiin stabiloidusta massasta näytteitä kokonaispitoisuus- ja liukoisuustestimäärityksiin.

Liukoisuudet tutkittiin 1-vaiheisella ravistelutestillä neste-kiintoainesuhteessa L/S 10 alle 4 mm fraktioon murskatuista näytteistä. Metallien osalta liukoisuudet alittivat pysyvän jätteen liukoisuudet kaikkien muiden tutkittujen alkuaineiden paitsi nikkelin osalta, joka ylitti tai sivusi pysyvän

jätteen liukoisuusraja-arvoa. Nikkelin liukoisuus alitti kuitenkin selvästi tavanomaisen jätteen liukoisuusraja-arvon. PAH-yhdisteiden liukoisuudet alittivat luonnollisesti määritysrajat, koska kyseisiä aineita ei todettu stabiloiduissa ruoppausmassanäytteissä. Organotinayhdisteitä liukeni pieniä pitoisuuksia stabiloidusta ruoppausmassasta. Kokonaispitoisuus ja liukoisuustestien tulosten perusteella stabiloidun ruoppausmassan haitta-aineet ovat pääasiassa kiintoaineeseen sitoutuneina.

Taulukko L4.3. Stabiloiduista ruoppausmassanäytteistä analysoidut kokonaispitoisuudet verrattuna kynnsarvopitoisuuksiin.

Haitta-aine/ ominaisuus	Yksikkö	Kokonaispitoisuus		Maaperän Kynnsarvo VNA 214/2007
		KK1 30.7.2014	KK2 30.7.2014	
Näyte				
pH		-	-	
Orgaaninen hiili, vedetön TOC	m-%	1,7	0,5	
Metallit				
Antimoni (Sb)	mg/kg ka	0,68	<0,50	2
Arseni (As)	mg/kg ka	11	2,9	5
Barium (Ba)	mg/kg ka	330	150	
Elohopea (Hg)	mg/kg ka	0,17	<0,10	0,5
Kadmium (Cd)	mg/kg ka	0,39	<0,20	1
Kromi (Cr)	mg/kg ka	88	45	100
Kupari (Cu)	mg/kg ka	75	32	100
Lyijy (Pb)	mg/kg ka	34	17	60
Molybdeeni (Mo)	mg/kg ka	2,2	<2,0	
Nikkeli (Ni)	mg/kg ka	69	23	50
Seleen (Se)	mg/kg ka	<1,0	<1,0	
Sinkki (Zn)	mg/kg ka	230	130	200
Biosidit (TBT-TPT)				
Tributyylitina	µg/kg ka	88	51	100
Trifenyylitina	µg/kg ka	5	4	100

Taulukko L4.4. Stabiloiduista ruoppausmassanäytteistä analysoidut 1-vaiheisen ravistelutestin tulokset verrattuna liukoisuusraja-arvoihin.

Haitta-aine/ ominaisuus	Yksikkö	1-vaiheisen ravistelutestin liukoisuus L/S 10		VNA 331/2013 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista; liukoisuusraja-arvot	
		KK1 30.7.2014	KK2 30.7.2014	Pysyvä jäte	Tavanomainen jäte
pH		11,2 11,4	10,7 11,3		
DOC	mg/kg ka	930	270	500	800
Metallit					
Antimoni (Sb)	mg/kg ka	<0,020	<0,020	0,06	0,7
Arseni (As)	mg/kg ka	0,021	<0,020	0,5	2
Barium (Ba)	mg/kg ka	0,52	0,3	20	100
Elohopea (Hg)	mg/kg ka	<0,003	<0,003	0,01	0,2
Kadmium (Cd)	mg/kg ka	<0,020	<0,020	0,04	1
Kromi (Cr)	mg/kg ka	<0,020	<0,020	0,5	10
Kupari (Cu)	mg/kg ka	0,025	1,2	2	50
Lyijy (Pb)	mg/kg ka	<0,020	<0,020	0,5	10
Molybdeeni (Mo)	mg/kg ka	0,44	0,16	0,5	10
Nikkeli (Ni)	mg/kg ka	0,93	0,36	0,4	10
Seleen (Se)	mg/kg ka	0,043	<0,020	0,1	0,5
Sinkki (Zn)	mg/kg ka	<0,020	<0,020	4	50
Vanadiini (V)	mg/kg ka	1,2	1,2		
Biosidit (TBT-TPT)					
Tributyyliini	µg/kg ka	0,9	1,5		
Trifenyyliini	µg/kg ka	0,19	0,23		

Stabiloidusta ruoppausmassasta määritettiin puristuslujuuksia ja vedenläpäisevyyskertoimen arvoja. Lisäksi vedenläpäisevyydestin perusteella arvioitiin materiaalin huokoisuutta. Määritetyt lujuudet olivat huomattavan suuria ja ylittävät puristuslujuudelle ilmoitetun tavoitetason 180 kPa (0-2 m syvyydellä stabiloidun massan pintakerroksesta). Määritetyt vedenläpäisevyyskertoimien arvot asettuivat aiemmin täyttötyön laadunvalvonnan aikana määritettyjen vedenläpäisevyyskertoimien vaihteluvälille ($7,6 \cdot 10^{-10}$ - $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s).

Taulukko L4.5. Stabiloiduista ruoppausmassanäytteistä analysoidut puristuslujuudet, vedenläpäisevydet ja huokoisuudet.

Näytepiste	Puristuslujuus [kPa]	Vedenläpäisevyyskerroin, k [m/s]	Huokoisuus, n * [-]
KK1, 30.7.2014	630	$2,2 \cdot 10^{-9}$	0,69
	330	$2,8 \cdot 10^{-9}$	0,63
KK2, 30.7.2014	2180**	ei saatu näytettä muotoiltua testiin	-
	440		

* Huokoisuus ($n = \text{huokostilavuus} / \text{kokonaistilavuus}$) arvioitu vedenläpäisevyydestin perusteella:
 $n = (\text{veden tilavuus täysin vedellä kyllästyneessä kappaleessa testin lopussa}) / (\text{vedenläpäisevyydestikappaleen tilavuus})$

** Näytepisteen stabiloitu ruoppausmassa oli "betonimaista" eli näytepisteessä oli ylimäärin si-deainetta

Riskinarvion tulosten perusteella sekä päällystetystä että päällystämättömästä rakenteesta suotovesien mukana mereen kulkeutuvat nikkelin, TBT:n ja TPT:n pitoisuudet alittavat ekologiset viitearvot eli pitoisuudet eivät nouse meressä tasolle, jossa niistä aiheutuisi riskiä vesieläöille. Näin ollen ekologisten riskien kannalta päällysteen rakentamisella ei ole merkittävää vaikutusta vesieläöiden

altistumisen kannalta. Riskinarvion perusteella päällysteen rakentamisen voi siirtää vaiheeseen, jolloin alue otetaan käyttöön satama-, varastointi- tai muuhun käyttötarkoitukseen.

3. Kokkolan Satama, Kokkola

Kokkolan satamassa toteutettiin vuosina 2021–2022 yhteensä noin 107 000 m³ ruoppausmassan stabilointi Oiva-sementillä noudattaen sideainemäärää 60 kg/m³. Stabilointiallas sijaitsee Kokkolan Syväsataman satamaosassa ja sisälsi vuosina 2018–2019 ruopattua erityisesti sinkillä kontaminoitunutta ruoppausmassaa Kokkolan väylän ja sataman ruoppaus Hankkeesta. Läjitetty massa oli osin ruopattu nk. Suljettavalla ympäristökauhalla ja suurelta osin hopperiruopattua, alun perin hyvin vesipitoista ainesta. Ennen stabiloinnin aloitusta ruoppausmassan annettiin laskeutua ja veden erottua. Ruoppausmassan sisältämän rikki-pitoisuuden vuoksi läjitys aluetta jouduttiin myös kalkitsemaan ennen stabiloinnin aloitusta hapon muodostuksen torjumiseksi.

Stabiloinnin varsinainen tarkoitus oli sitouttaa stabiloimalla sinkkipitoinen ruoppausmassa heikosti liukenevaan muotoon ja samalla nostaa siltipitoisen ruoppausmassan teknisiä ominaisuuksia satamaketään teknisiä vaatimuksia vastaavalle tasolle.

Rikki-pitoisuuden ja pintaosan hapettumisen ja happamoitumisen vuoksi stabiloitavat blokit esisekoitettiin ennen varsinaista sideainesyöttöä.

Laadunvalvonnassa noudatettiin vuonna 2011 hyväksyttyä stabilointisuunnitelmaa. Laadunvalvonta sisälsi mm. Seuraavat testaukset:

- Vesipitoisuuden määrittäminen 74 kpl
- Haitta-ainepitoisuuksien ja kalsiumpitoisuuden määrittäminen kenttäanalyysointilaitteilla 106 kpl
- Kalsiumpitoisuus stabiloituneesta massasta 145 kpl
- Sideainemäärä titraamalla 20 kpl
- Puristuslujuus koekappaleista 104 kpl
- Vedenläpäisevyys koekappaleista 25 kpl
- Liukoisuustestit diffuusiotestillä 13 kpl, ravistelutestillä 5 kpl
- Pilari- ja siipikairauksia (tavoiteleikkauslujuus 50 kPa)

Edellisten lisäksi kohteen vedenlaatua viereisestä läjitysaltaasta ja merialueelta seurattiin hyväksytyt tarkkailuohjelman mukaisesti.

Ympäristöluvassa määrätty ehdot kohteessa täyttyivät. Vedenläpäisevyys ehto täyttyi lähes kaikilla testatuilla näytteillä. Stabiloidun massan ympäristökelpoisuutta testattiin diffuusiotestillä ja kaksivaiheisella ravistelutestillä. Diffuusiotestin tulosten perusteella yksikään haitta-ainepitoisuus ei ylittänyt raja-arvopitoisuuksia. Kumulatiiviset pitoisuudet jäivät testissä kauas raja-arvoista. 2-vaiheisessa ravistelutestissä nikkelin ja kuparin osalta mitattiin liukoisuuksia, jotka ylittivät niukasti pysyvän jätteen raja-arvon. Stabiloitujen kappaleiden kokonaispitoisuudet olivat sinkin osalta odotusten mukaisesti korkeita ylittäen alemman ja ylemmän ohjearvopitoisuuden.

Laadunvalvontatulosten perusteella stabilointi onnistui suunnitelman mukaisesti. Haasteena hankkeessa oli varsin pieni sideainemäärä sekä osittain lajittunut ja karkea silttinen runkoaine, joiden johdosta homogeeninen sekoittumistulos ei ollut itsestään selvää. Homogeenista lopputulosta edesautettiin mm. ruoppausmassan esi- ja jälkisekoituksella.

Kohteen stabiloituneen massan kokonaispitoisuudet ja liukoisuustulokset 2-vaiheisella ravistelutestillä on esitetty raportin kappaleessa 6.

Kalkkitaulukko 2022

		Saataavuus	Neutralointikyky		Kosteus	Hienousaste		Veroton hinta, €/tn				Yksi kalkitusyksikkö peltoon levitettynä				Ravinteet % ka:sta			
Luomu käyttö OK	Talvi-levitys OK	Tuotantopaikka/lastauspaikka/satama	Nopeavaikutteinen	Kokonaisneutralointi		Läpäisy 100 %	Läpäisy 50 %	Lastauspaikalla	Rahti 100 km	Levitys	Pellossa levitettyä	Nopeavaikutteinen neutralointikyky		Kokonaisneutralointikyky		Ca	Mg	Muut ravinteet	
												Määrä	Kustannus	Määrä	Kustannus				%
			%	%	%	seulakoko mm		€/tn	€/tn	€/tn	€/tn	tn/ha	€/ha	tn/ha	€/ha	%	%	%	
Magnesiumia vähän 0-2 %																			
		Soilfood Tehokalkki III	Lappeenranta	40	41	15,0	16,000 mm	0,063 mm	21,50	10,86	7,20	39,56	2,94	116	4,73	187	46	0,5	P 0,35
		Soilfood Maanparannuskalkki V	Kemi	33	36	31,8	6,300 mm	0,150 mm	9,00	11,80	7,20	28,00	4,44	124	6,72	188	40	0,41	P 0,39
		Soilfood Tehokalkki IV	Äänekoski	40	41	15,0	3,000 mm	0,150 mm	23,00	13,48	7,20	43,68	2,94	128	4,73	207	38	0,69	P 0,57
		Soilfood Tehokalkki II	Imatra	39	40	18,0	2,000 mm	0,150 mm	21,50	12,62	7,20	41,32	3,13	129	5,03	208	37	0,4	P 0,7
		Soilfood Maanparannuskalkki VI	Varkaus	39	42	30,0	1,000 mm	0,150 mm	12,50	11,40	11,95	35,85	3,66	131	5,61	201	42	0,3	P 0,06
		Soilfood Tehokalkki I	Loviisa	37	41	15,2	16,000 mm	1,000 mm	24,00	12,68	7,20	43,88	3,19	140	4,75	208	26	0,4	P 0,7
		Soilfood Tehokalkki V	Liminka	38	38	15,9	3,150 mm	0,150 mm	25,70	12,20	7,20	45,10	3,13	141	5,16	233	37	0,28	P 0,92
		Nordkalk Kalsiitti	Parainen	32	33	0,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	3,13	163	5,00	261	32	≤ 2	
		Silikaattikalkki Omya/ E. Gustafsson Oy	Särkisalo	18	20	11,3	4,000 mm	0,150 mm	11,00	11,30	5,00	27,30	6,23	170	9,44	258	18	0,2	
		Nordkalk Kalsiitti	Parainen	32	33	5,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	3,29	172	5,26	275	32	≤ 2	
		Soilfood Ravinnekalkki II	Varkaus	25	31	12,2	1,000 mm	0,250 mm	20,00	11,95	7,20	39,15	4,56	178	6,06	237	12	0,77	P 0,04, K 0,33
		Nordkalk Kalsiitti Plus	Vampula	30	34	5,0	2,000 mm	0,090 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	3,51	183	5,11	267	33	≤ 2	
		Nordkalk Kalsiitti Plus	Pattijoki/Raaha	24	38	5-10	8,000 mm	0,500 mm	23,00	11,80	7,20	42,00	4,50	189	4,69	197	37	< 2	
		Nordkalk Kalsiitti	Tytyri, Lohja	27	34	0,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	3,70	193	4,85	253	35	< 2	
		Nordkalk Kalsiitti	Vampula	27	30	5,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	3,90	204	5,79	302	30	< 2	
		Cresco Normal Kalsium, SMA Mineral	Kalkkima, Tornio	19	38	3-6	4,000 mm	0,500 mm	20,00	11,20	6,10	37,30	5,51	206	4,55	170	37	< 1	
		Nordkalk Kalsiitti	Sipoo	25	33	0,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	4,00	209	5,00	261	31	< 2	
		Nordkalk Kalsiitti	Sipoo	25	33	5,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	4,21	220	5,26	275	31	< 2	
		Mahtikalkki kalkkirouhe, Kalpetek Oy	Jaala	14	42	5,0	> 8,000 mm	4,000 mm	16,00	12,00	6,50	34,50	7,41	256	4,13	142	41	0,5	
		Maatilakalkki, Kone-Laihanen Oy	Lappeenranta	13	31	5-10	6,300 mm	0,125 mm	21,00	12,00	7,50	40,50	8,32	337	5,85	237	22	2,0	
		Nordkalk Kalsiitti	Louhi/Savonlinna	13	34	0-10	5,000 mm	0,500 mm	23,00	11,80	7,20	42,00	8,10	340	5,11	215	30	≤ 2	
		Soilfood PK-hivenkalkki	Imatra	11	18	26,0	*)	*)	27,00	12,60	7,20	46,80	12,29	575	12,39	580	16	1,7	P 0,8; K 2,9; Mn 0,63; B 0,01; Zn 0,03
		Soilfood Kalkkituhka I	Lappeenranta	3	37	10,8	4,000 mm	0,500 mm	17,00	11,80	7,20	36,00	37,37	1 345	5,00	180	35	0,86	P 0,03; K 0,14; Mn 0,03; Zn 0,006, Na 0,02
Magnesiumpitoiset Mg 3-8 %																			
		Ruukki Beston Teräskuona	Raaha	23	36	10,0	2,00 mm 80 %	0,15 mm 25 %	19,00	11,20	6,10	36,30	4,83	175	5,09	185	31	3	
		Ruskealan Se-Peli, Tuhka Hukka Oy	Ruskeala, Venäjä	24	37	5,0	8,000 mm	1,000 mm	15,00	16,00	12,00	43,00	4,39	189	4,69	202	32	3,5	
		Nordkalk Magnesium	Sipoo	24	33	0,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	4,17	218	5,00	261	27	3	
		Nordkalk Magnesium	Vimpeli	17	33	0,0	2,000 mm	0,150 mm	27,00	11,80	7,20	46,00	5,88	271	5,00	230	24	5	
		Nordkalk Magnesium	Vimpeli	17	33	5,0	2,000 mm	0,150 mm	27,00	11,80	7,20	46,00	6,19	285	5,26	242	24	5	
		Kiteen Lämmön Tuhka, Tuhka Hukka Oy	Kitee	16	30	<10	*)	*)	15,00	15,00	12,00	42,00	6,79	285	5,98	251	19	3,2	P 1,7, K 11, Mn 1,1, S 0,5
		Nordkalk Magnesium	Vampula	18	30	0,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	5,56	290	5,50	287	19	7	
		Ruukki Beston Masuunikuona	Raaha	13	38	10,0	4,000 mm	1,000 mm	17,00	11,20	6,10	34,30	8,55	293	4,82	165	28	6	
		Nordkalk Magnesium	Vampula	18	30	5,0	2,000 mm	0,150 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	5,85	305	5,79	302	19	7	
		Paltamon kalkki, Juuan dolomiittikalkki Oy	Paltamo	12	30	1,0	2,500 mm	0,250 mm	25,50	11,50	8,00	45,00	8,42	379	5,56	250	19	5	
		Cresco Special Mg 8, SMA Mineral	Loukolampi, Pieksämäki	12	32	0,0	1,000 mm	0,090 mm	30,00	11,20	6,10	47,30	8,33	394	5,16	244	19	8	
		Cresco Special Mg 8 kostea, SMA Mineral	Loukolampi, Pieksämäki	12	32	3-6	1,000 mm	0,090 mm	30,00	11,20	6,10	47,30	8,73	413	5,40	255	19	8	
		Nordkalk Magnesium	Varmo, Kitee	10	35	5,0	3,150 mm	0,500 mm	20,97	11,80	7,20	39,97	10,53	421	4,96	198	23	8	
		Cresco Optimal, SMA Mineral	Kalkkima, Tornio	13	37	5-10	4,000 mm	0,500 mm	25,00	15,00	10,90	50,90	8,32	423	4,82	245	25	6	
		Cresco Normal Mg 8 0-3mm, SMA Mineral	Loukolampi, Pieksämäki	8	32	4-6	4,000 mm	0,500 mm	21,00	11,20	6,10	38,30	13,16	504	5,43	208	19	8	
		Soilfood Ravinnekalkki I	Äänekoski	8	31	8,5	3,150 mm	1,000 mm	21,00	13,00	7,20	41,20	13,66	563	5,82	240	20	5,7	P 0,04; K 0,27; Zn 0,05
		Nordkalk Magnesium	Lappeenranta	10	32	5-10	6,300 mm	0,125 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	10,81	565	5,57	291	23	5	
		Cresco Normal Mg 8 0-4mm, SMA Mineral	Loukolampi, Pieksämäki	5	32	4-6	5,600 mm	1,000 mm	20,00	11,20	6,10	37,30	21,05	785	5,43	202	19	8	
		Juuan kalkki, Juuan dolomiittikalkki Oy	Juuka	5	23	3,0	2,500 mm	0,250 mm	24,50	11,50	8,00	44,00	20,62	907	7,40	325	15	5	
Dolomiittikalkit, Mg 10-12 %																			
		Cresco Special Mg 10 SMA Mineral	Kalkkima, Tornio	15	36	0,0	1,000 mm	0,045 mm	30,00	11,20	6,10	47,30	6,67	315	4,58	217	19	10	
		Cresco Special Mg 10 kostea, SMA Mineral	Kalkkima, Tornio	15	36	3-6	1,000 mm	0,045 mm	30,00	11,20	6,10	47,30	6,98	330	4,80	227	19	10	
		Cresco Normal Mg 10 0-3mm, SMA Mineral	Kalkkima, Tornio	5	36	4-6	4,000 mm	0,500 mm	17,50	11,20	6,10	34,80	21,05	733	4,82	168	19	10	
		Nordkalk Dolomiitti ****)	Kaskinen/Sipoo/Lappeenranta	7	40	5-10	3,150 mm	0,500 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	15,44	807	4,46	233	20	12	
Savimaan rakenteen kohentamiseen soveltuvat rakennekalkit																			
		Nordkalk Fostop Rakennekalkki	Tytyri, Lohja	38	39	0,0	0,250 mm	0,032 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	2,63	137	4,23	221	39	≤ 2	
		Soilfood Rakennekalkki V	Loviisa	40	45	16,9	8,000 mm	0,150 mm	36,00	12,20	7,20	55,40	3,01	167	4,41	244	44	0,43	P 0,4
		Soilfood Rakennekalkki III	Loviisa	40	45	16,9	8,000 mm	0,150 mm	36,00	12,20	7,20	55,40	3,01	167	4,41	244	44	3,6	P 0,4
		Soilfood Rakennekalkki IV	Rauma	41	48	20,3	4,000 mm	0,500 mm	36,00	11,30	7,20	54,50	3,06	167	4,31	235	46	0,63	P 0,61
		Nordkalk Fostop Rakennekalkki	Vampula	35	35	10-15	3,150 mm	0,125 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	3,27	171	5,39	281	35	≤ 2	
		Nordkalk Fostop Rakennekalkki	Sipoo	26	35	10-15	3,150 mm	0,500 mm	33,23	11,80	7,20	52,23	4,40	230	5,39	281	35	≤ 2	
Rakeistetut kalkitusaineet																			
		Calciprill SZ, Agro-Tuonti Oy	Vaasa	35	52	<1	**)	**)	210,00	25,00	6,00	241,00	2,87	692	3,20	771	37	0,6	
		Nordkalk AtriGran rakeinen	Parainen, Sipoo	36	37	2,0	***)	***)	234,00	25,00	6,00	265,00	2,83	751	4,55	1 206	35	< 1	
		Nordkalk AtriGran Mg rakeinen	Parainen, Sipoo	36	37	2,0	***)	***)	247,00	25,00	6,00	278,00	2,83	788	4,55	1 265	35	10,0	
		Calciprill S14, Agro-Tuonti Oy	Vaasa	15	22	<1	**)	**)	261,00	25,00	6,00	292,00	6,72	1 962	7,56	2 208	32		S 14
		Magnum 12 Granul GH, Agro-Tuonti Oy	Ylistaro	10	38	0,1	5,000 mm	**)	261,00	25,00	6,00	292,00	10,01	2 923	4,35	1 269	20	12	

<p>Kalkitusaineiden luokitus, tyyppinimi</p> <ul style="list-style-type: none"> Kalkkikivi Mg-pitoinen kalkkikivi, Mg 2-10 % Dolomiittikalkkikivi, Mg vähintään 10 % Kalkkipitoinen kiviaines Teräs- ja masuunikuona Meesakalkki PCC-kalkin saostusjäännös Puun ja/tai turpeen tuhka Tuhkapitoinen kalkkirae Kalkkiven jalostuksessa syntyvä sivutuote tai sellaisten seos 	<p>pH-staattimenetelmällä määritetty</p>
--	--

LIITE 6. Stabiilointikohteiden pintaliukenemistestien tuloksia.

	Antimoni (Sb)	Arseeni (As)	Barium (Ba)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleen (Se)	Sinkki (Zn)	Tina (Sn)	Vanadiini (V)	Kloridi	Fluoridi	Sulfaatti
Raja-arvo 1 [mg/m ²]	3,7	41	600	0,4	1,1	29	140	51	120	14	50	1,4	200	29	230	18000	1300	27000
Raja-arvo 2 [mg/m ²]	12	140	2000	1,4	3,8	95	480	170	400	48	170	4,8	670	95	760	54000	4400	80000
Raja-arvo 3 [mg/m ²]	36	58	2800	1,6	2,1	280	550	250	210	70	270	14	330	280	700	-	2800	-

Raja-arvoina on esitetty sekä VTT:n (T2086 VTT 2001, s.C3, taulukko 2) että SYKE:n (J. Soravari, 2000) esittämät raja-arvot kiinteiytyneille materiaaleille:

Raja-arvo 1: Hollantilaiset enimmäispitoisuusohjeet, Ryhmä 1A

Raja-arvo 2: Hollantilaiset enimmäispitoisuusohjeet, Ryhmä 1B

Raja-arvo 3: SYKE:n esittämät enimmäispitoisuusohjeet

Kokkola, sabiilointicase 2011. Kumulatiivinen liukoisuus pinta-alaa kohti [mg/m²]. Sideaine: LT 150-200 kg/m³

Haitta-aine	Arseeni (As)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Nikkeli (Ni)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)
4	0,6	0,1	0,1	0,3	0,6	3,15	0,3	0,6	4,45	0,95
17	1,3	0,1	0,1	0,65	1,3	7,45	0,65	1,65	14,8	2,95
Keskiarvo (2 kappaletta) 63	2,9	0,2	0,2	0,95	1,95	15,35	0,95	3	29,8	7,35

Kokkola, sabiilointicase 2021-2022. Kumulatiivinen liukoisuus pinta-alaa kohti [mg/m²]. Sideaine: Oiva-sementti 60 kg/m³

Koekappale	Haitta-aine	Antimoni (Sb)	Arseeni (As)	Barium (Ba)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleen (Se)	Sinkki (Zn)	Tina (Sn)	Vanadiini (V)	Kloridi	Fluoridi	Sulfaatti	TOC
Keskiarvo (13 kappaletta)	4	0,02	0,03	0,46	0,002	0,002	0,02	0,04	0,54	0,01	0,10	0,15	0,02	0,22	0,02	0,10	544	9	131	113
	16	0,03	0,08	1,04	0,003	0,005	0,06	0,08	1,48	0,02	0,23	0,40	0,06	0,46	0,05	0,32	1 250	20	327	334
	64	0,05	0,22	1,99	0,005	0,007	0,15	0,12	2,88	0,02	0,54	1,07	0,11	0,82	5,81	0,74	2 715	31	1 230	654

Turku Pansio. Kumulatiivinen liukoisuus [mg/m²]. Sideaine: 55 Pika+105KJ+100LT

	Antimoni (Sb)	Arseeni (As)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)
4	0,7	1,3	0,5	0,5	1,3	2,6	13,1	2,6	3,1	5,2	21,0	2,6
17	1,3	2,6	1,0	1,0	2,6	5,2	25,8	5,2	6,0	10,3	41,3	5,2
Keskiarvo (2 kappaletta) 63	2,1	4,3	1,9	1,9	4,3	9,4	42,9	9,4	11,6	18,9	74,6	9,4

Rauman satama. Kumulatiivinen liukoisuus pinta-alaa kohti [mg/m²]. Sideaine: P5+ Plus 30 + LT1 300 ja P5+ Plus 30 + LT1 200 +K12 200

	Antimoni (Sb)	Arseeni (As)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Nikkeli (Ni)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	
Sideaine: P5+ Plus 30 + LT1 300												
1 kappale	4	5,9	0,7	0,1	0,1	0,3	0,7	14,5	0,3	4,6	3,3	0,7
	17	14	1,3	0,1	0,1	0,7	1,3	54,9	0,6	15,8	27,5	2,5
	62	38,1	2,6	0,2	0,2	1,2	1,9	87,5	1	32,1	60,8	5,8
Sideaine: P5+ Plus 30 + LT1 200 +K12 200												
1 kappale	4	7,3	0,7	0,1	0,1	0,3	0,7	2,6	0,3	1,3	3,3	0,7
	17	19,7	1,3	0,1	0,1	0,7	1,3	6,6	0,7	5,2	26,8	1,3
	62	52,3	2,6	0,2	0,2	1	2	29,9	1,1	15,2	100,2	3,3

Lauttaranta: Kumulatiivinen liukoisuus pinta-alaa kohti [mg/m²]

	Antimoni (Sb)	Arseeni (As)	Barium (Ba)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleen (Se)	Sinkki (Zn)	Tina (Sn)	Vanadiini (V)	Kloridi	Fluoridi	Sulfaatti	pH	Johtokyky
Mayer + Oiva 90 kg/m ³	64	0,32	0,40	3,6	<0,1	<0,06	0,90	0,49	8,6	<0,1	10	<1	<1	<0,3	11	27 126	343	14 922	8,5	40,1
Mayer + Oiva 55 + LT 200 kg/m ³	64	0,84	4,0	13	<0,1	<0,06	0,52	0,67	8,4	<0,1	15	<1	1,9	<0,3	22	30 829	<320	39 618	9,2	27,6
Aurajoki + Oiva 150 kg/m ³	64	<0,3	0,34	5,8	<0,1	<0,06	0,70	0,40	12	<0,1	10	<1	<1	<0,3	4,4	32 033	634	20 251	11,4	0,9

	Strontium (Sr)	Alumiini (Al)	Tallium (Tl)	Uraani (U)	Beryllium (Be)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Boori (B)	DOC	Kalsium (Ca)	Kalium (K)	Magneesium (Mg)	Natrium (Na)	Fosfori (P)	Rikki (S)	Pii (Si)	Titaani (Ti)	Typpi (N)
Mayer + Oiva 90 kg/m ³	64	77	958	<0,06	<0,06	<0,3	<1	9,0	4 449	24 860	10 832	36	27 493	32	14 196	1 632	<9,6	1 185
Mayer + Oiva 55 + LT 200 kg/m ³	64	120	610	<0,06	0,083	<0,3	<1	67	3 826	15 246	23 916	104	34 051	146	27 553	2 323	<10	862
Aurajoki + Oiva 150 kg/m ³	64	116	1 125	<0,06	<0,06	<0,3	<1	6,7	10 284	37 622	12 568	<16	24 528	<32	-	1 059	<10	1 648

min	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	544,3	9,1	130,9
maks	52,3	140,0	2800,0	1,9	3,8	280,0	550,0	250,0	400,0	70,0	270,0	29,8	670,0	280,0	760,0	54000,0	4400,0	80000,0
ka	11,4	12,7	602,9	0,4	0,6	20,0	57,2	38,5	41,8	15,8	30,2	7,7	97,6	68,3	84,4	20812,3	1192,1	22934,9

Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa -selvitys

Vuonna 2016 laaditussa tutkimusraportissa selvitettiin metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuutta maarakentamisessa varsin laajasti eri maarakennussovellutuksiin. Raportin tietoja on hyödynnetty mm. MARA-asetuksen (Vna 843/2017) uudistustyössä. Seuraavaan on tiivistetty tutkimusraportista (Lindroos et al. 2016) tulokset, jotka koskevat jätejakeiden sideainekäyttöä massastabiloinnissa.

Tuhkan käyttöä sideaineena massastabiloinnissa tutkittiin testauksessa ravistelutestein, läpivirtaustestein ja pintaliukenemistestien ja tuloksia verrattiin aiemman Mara-asetuksen (VNa 591/2006 ja VNa 403/2009) kriteereihin. Massastabiloinnin runkoaineina käytettiin savea ja silttiä runkoaineen rakeisuuden vaikutuksen selvittämiseksi haitta-aineiden liukoisuuksiin. Tuhkan (100 kg/m^3) lisäksi sideaineena käytettiin sementtiä (20 kg/m^3), jotta kaikissa näytteissä olisi teknisessä mielessä soveltuva puristuslujuustaso. Vertailun helpottamiseksi sideainemäärät olivat kaikissa seoksissa samat. Puristuslujuuksia määritettiin myös ilman sementtilisäystä käyttäen sideaineena pelkkää tuhkkaa, mutta tällöin puristuslujuudet jäivät liian alhaisiksi osassa näytteistä. Tutkimuksessa oli mukana yhdeksän tuhkalaatua, rikinpoiston lopputuote, kaksi runkoainetta ja kaikkiaan 14 tutkittua seosta.

Ravistelu ja läpivirtaustestin tutkimustuloksina voitiin todeta:

- Massastabiloiduissa savinäytteissä ja silttinäytteissä haitta-aineiden liukoisuudet olivat merkittävästi pienempiä kuin tuoreissa tuhkanäytteissä.
- Kaikki testatut sementti-tuhkasideaineilla stabiloidut savi- ja silttinäytteet alittivat Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot.
- Mara-asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin erityisesti molybdeenillä mutta yksittäisiä ylityksiä oli myös seleenillä, antimonilla, vanadiinilla ja kloridilla.
- Haitta-aineiden liukoisuudet olivat hyvin samalla tasolla massastabiloiduissa savi- ja silttinäytteissä, joissa sideaineena oli käytetty samaa tuhkalaatua. Muutaman haitta-aineen osalta havaittiin pieniä, käytännössä merkityksettömiä runkoaineista aiheutuvia liukoisuuseroja.
- Rikinpoiston lopputuotteen käyttö massastabiloidun saven sideaineseoksessa lisäsi sulfat- ja kloridin liukoisuutta, mutta liukoisuudet alittivat kuitenkin Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot.

Pintaliukenemistestin tuloksista voitiin todeta:

- Verrattaessa runkoaineen (siltin ja saven) vaikutusta haitta-aineiden liukoisuuksiin havaitaan, että haitta-aineiden liukoisuudet pintaliukenemistestissä olivat pääasiassa varsin samalla tasolla massastabiloiduissa savi- ja silttinäytteissä, joissa sideaineena oli käytetty samaa tuhkalaatua (LT4 ja LT7). Muutaman haitta-aineen osalta havaittiin runkoaineista aiheutuvia liukoisuuseroja. Runkoaineen ollessa siltti orgaanisen hiilen liukoisuus (DOC) oli selvästi suurempi ja tämän seurauksena myös kuparin ja nikkelin liukoisuudet olivat suurempia siltillä kuin savella. Massastabiloidussa savessa puolestaan antimonin, bariumin ja vanadiinin liukoisuudet olivat jonkin verran suurempia kuin siltissä.
- Verrattaessa tuloksia pintaliukenemistestissä hyödynnettäviin liukoisuusraja-arvoihin (hollantilaisiin ja SYKE:n oppaan raja-arvoihin) havaittiin että tuhkasementti-sideaineella

massastabiloidusta savesta tai siltistä liukenee enimmäisliukoisuusraja-arvot ylittäviä anti-monipitoisuuksia. Tuhka-sementti-rikinpoiston lopputuote –sideaineella massastabiloidusta savesta liukenee antimonin lisäksi enimmäisliukoisuusraja-arvon ylittävä pitoisuus sulfaattia.

Tutkimuksen johtopäätöksissä mainitaan, että tuhkien hyödyntäminen sideaineina massastabiloinnissa on haitta-aineiden liukoisuuksien kannalta selkeästi turvallinen menetelmä ja se soveltuu tulosten perusteella tuhkan laadusta riippuen ainakin päällystettyihin rakenteisiin ja joillakin tuhka-laaduilla myös peitettyihin rakenteisiin. Sideainesovelluksissa rakenteessa käytettävän tuhkan määrä on huomattavasti pienempi kuin massiivituhkarakenteissa, joten myös liukoisuudet ovat pienempiä ja siten ympäristön kannalta turvallisempia. Tuhkien käyttö sideaineena massastabiloinneissa on perusteltua, mikäli rakenteiden tekninen kelpoisuus on osoitettavissa. Reaktiiviseksi havaitut puuaineksen polton lentotuhkat toimivat hyvin massastabiloinnin sideaineina teknisessä mielessä.