

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Katri Harju

# **Movax -tuotteiden ja tekniikan käyttömahdollisuudet pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeissa**

Työn tarkastaja:  
Työn ohjaajat:

Professori Lassi Linnanen  
Tutkijatohtori Ville Uusitalo  
Diplomi-insinööri Mika Koskinen

# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikka

Katri Harju

## **Movax Oy:n tuotteiden ja tekniikan käyttömahdollisuudet pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeissa**

Diplomityö

2016

72 sivua, 21 kuvaa, 4 taulukkoa, ja 8 liitettä

Tarkastaja: Professori Lassi Linnanen  
Ohjaajat: TkT Ville Uusitalo  
Diplomi-insinööri Mika Koskinen

Hakusanat: reaktiiviset seinämät, pohjavesi, rakennusmenetelmä, maanrakennus, kunnostaminen

Keywords: reactive walls, groundwater, construction method, civil engineering, remediation

Työn tavoitteena on tarkastella erilaisia in-situ -kunnostusmenetelmiä maaperän ja pohjaveden kunnostushankkeissa ja niiden toteutusvaihtoehtoja sekä vertailla niitä keskenään. Työssä tarkastellaan myös lainsäädännön ja eri menetelmien kehittymistä, niiden tulevaisuuden näkymiä sekä pohditaan yrityksen tuotteiden liiketoimintamahdollisuuksia tämän pohjalta. Tietoa kerätään kirjallisuudesta sekä tapaustutkimuksista ja niitä peilataan yrityksen sisällä olevaan hiljaiseen tietoon. Löydettyä kirjallisuustietoa sekä tapaustutkimuksia on analysoitu SWOT-analyysien sekä ryhmittelyjen avulla.

Työn tuloksena on esitetty vaihtoehtoinen tapa asentaa reaktiivinen seinämä pohjaveden kunnostushankkeissa yrityksen tuotteiden ja putkipaalujen avulla. Lisäksi työn pohjalta voidaan koota materiaalia ja lisätietoa asiakkaille sekä myynnin ja markkinoinnin tukemiseen. Tulosten pohjalta voidaan arvioida, että kyseinen menetelmä tukisi myös kestävä kehityksen periaatteita kunnostushankkeen toteutus- ja asennusvaiheessa. Menetelmän avulla voitaisiin mahdollisesti vähentää reaktiivisten seinämien asentamiseen liittyviä ympäristövaikutuksia.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Environmental technology

Katri Harju

### **Movax Ltd's products and technology access to remediation projects of contaminated land and groundwater**

Master's thesis

2016

72 pages, 21 figures, 4 tables and 8 appendices

Examiners: Professor Lassi Linnanen  
D.Sc. Ville Uusitalo  
M. Sc. Mika Koskinen

Keywords: reactive walls, groundwater, construction method, civil engineering, remediation

Aim of the study is to look at a variety of in-situ -method for remediating contaminated soil and groundwater areas. Remediation methods and their implementation options are compared with each other. This study discusses the development of legislation and the different methods, their future prospects and the business opportunities for the company's products. Information collected from the literature and case studies are mirrored to tacit knowledge within the corporates expertise. The information found from the literature data, as well as case studies have been analyzed in the SWOT analysis as well as groupings form.

An alternative way to install reactive walls in groundwater remediation projects using the company's products and pipe piles are presented in this work. The results can be utilized in corporate marketing and sales by providing customers more information on the possibilities of products. Based on the results, it can be estimated that the construction method would support the principles of sustainable development in remediating projects. The method could potentially reduce the environmental impacts during the installation of reactive walls.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Movax Oy:lle vuonna 2016. Työssä tarkastellaan yrityksen tuotteiden käyttömahdollisuuksia ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta.

Haluan kiittää Movax Oy:tä mahdollisuudesta tehdä diplomityö ja saattaa näin myös opintoni päätökseen. Erityiset kiitokset diplomi-insinööri Mika Koskiselle, joka ohjasi työtäni. Lisäksi haluan kiittää myös muita Movaxin henkilöitä, jotka ovat minua auttaneet työni aikana. Kiitokset myös professori Lassi Linnaselle ja tutkijatohtori Ville Uusitalolle, jotka ohjasivat ja tarkastivat työni.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni tuesta, kannustamisesta ja kärsivällisyydestä opintojeni aikana.

Hämeenlinnassa 6.4.2016

Katri Harju

## SISÄLLYSLUETTELO:

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
ALKUSANAT .....	4
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Tutkimuksen tausta .....	10
1.2 Tutkimusongelma.....	10
1.3 Tavoitteet.....	10
1.4 Tutkimusmenetelmät .....	11
1.5 Rajaukset.....	12
1.6 Tulosten sovellettavuus.....	13
2 PILAANTUNEIDEN MAA-ALUEIDEN JA POHJAVESIEN KUNNOSTAMINEN .....	14
2.1 Lainsäädäntö ja sen kehittyminen .....	16
2.2 Kunnostusmenetelmät ja -tekniikat sekä niiden kehitys .....	18
2.2.1 Maaperän stabilointi.....	21
2.2.2 Reaktiiviset seinämät pohjaveden kunnostushankkeissa .....	26
2.3 Kustannustehokkuus .....	30
2.4 Tulevaisuuden näkymät .....	31
3 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	33
3.1 Laadulliset menetelmät .....	33
3.1.1 Kirjallisuustutkimus .....	33
3.1.2 Hiljaisen tiedon reflektointi.....	33
3.2 Kirjallisuustutkimuksen otanta.....	34
3.3 Tulosten yleistettävyys.....	37
3.4 Analysointimenetelmät .....	38
4 TUOTTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN KUNNOSTUSHANKKEISSA .....	40
4.1 Tuotettu uusi tieto .....	44
4.2 Tuotteiden soveltuvuus .....	45
4.2.1 Pystysuorat seinämät.....	48
4.2.2 Reaktiiviset seinämät .....	51

4.3 Case – Orivesi .....	54
4.4 Markkinoinnin ja myynnin tukeminen .....	57
4.5 Lisäarvo asiakkaille.....	58
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	60
5.1 Vertailu ja yhtymäkohdat aiempaan tutkimukseen .....	60
5.2 Objektivisuus .....	63
5.3 Reliabiliteetti ja validiteetti .....	63
5.4 Herkkyystarkastelu.....	64
5.5 Avaintulokset .....	64
5.6 Tulosten uutuusarvo .....	66
5.7 Tulosten yleistettävyys ja hyödynnettävyys.....	66
5.8 Jatkotutkimusaiheet.....	66
6 YHTEENVETO .....	69
LÄHTEET .....	70
LIITTEET .....	73

## SYMBOLILUETTELO

### Määritelmät

Haitta-aine	Aine tai yhdiste joka joutuessaan maaperään ja pohjaveteen aiheuttaa ympäristö- ja/tai terveysriskin. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskien-hallinta. 2014, 16)
In-situ	Pilaantunutta maata ei kaiveta pois tai siirretä muualle, vaan käsitellään haitattomampaan muotoon alkuperäisellä paikalla. (Burkalovs et al. 12-16).
Kestävä kehitys	Kestävällä kehityksellä pyritään turvamaan hyvät elämisen edellytykset nyt ja tulevaisuudessa ottaen huomioon sosiaaliset, ympäristölliset sekä taloudelliset seikat. Kestävästä kehityksestä on yhteiskunnan ohjattua ja suunniteltua muutosta, joka voi tapahtua kansainvälisesti, alueellisesti ja paikallisesti. (Mitä on kestävä kehitys. Ympäristöministeriön www-sivusto. <a href="http://www.ymparisto.fi">http://www.ymparisto.fi</a> . 10.2.2016)
Kunnostaminen	Riskinhallintakeino. Riskinhallintakeinon avulla on tarkoitus poistaa tai minimoida haitta-aineesta muodostuva ympäristö-/terveysriski. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskien-hallinta. 2014, 13)
Maaperä	Maankuoren ylin kerros, joka on kallioperän ja maanpinnan välissä ja muodostuu irtomaalajeista, orgaanisesta aineksesta, huokosvedestä ja ilmasta sekä eliöistä. (YSL 5§ 10).
On/off-situ	Pilaantunut maa-aines kaivetaan pois ja käsitellään joko paikan päällä sille tarkoitettulla laitteistolla tai kuljetetaan muualle käsitte-lyyn. (Burkalovs et al. 12-16).
Pilaantunut alue	Maa-alue, joka on pilaantunut ympäristölle ja/tai terveydelle haitallisilla aineilla tai yhdisteillä ihmisen toiminnan seurauksena. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta. 2014, 13)
PIMA-ilmoitus	Ilmoitus pilaantuneen maaperän puhdistamisesta. (Ilmoitus pilaantuneen maaperän puhdistamisesta. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu www-sivusto. <a href="http://www.ymparisto.fi/">http://www.ymparisto.fi/</a> . 10.2.2016)
Pohjavesi	Maa- tai kallioperässä oleva vesi. (YSL 5§ 11).

Pohjavesialue	Geologinen alue, joka on rajattavissa. Rajatulla alueella oleva maaperän muodostuma tai kallioperän vyöhyke, jossa on merkittävää pohjaveden virtausta tai mahdollisuus pohjavedenottoon. (YSL 5§ 12)
Ponttiseinä	Maahan lyödään tai tärytetään upotettavia pontteja. Ponttien avulla voidaan muodostuu yhtenäinen seinämärakenne lukkoprofilien avulla. (Kaivanto-ohje. 2014, 47)
Pysyvät ponttiseinämät	Tukiseinämien voidaan katsoa olevan pysyviä rakenteita kun niiden käyttöaika on yli 2 vuotta. (Kaivanto-opas. 201, 58)
Stabilointi	Maaperässä olevien haitta-aineiden leviämisen estäminen erilaisin menetelmin. (Burkalovs et al. 12-16)

### **Lyhenteet**

BAT	Paras käytettävissä oleva tekniikka
BTEX	Bentseeni, tolueni, etyylibentseeni, ksyleeni
MTBE	Metyylitertbutyylietteri
PAH	Polyaromaattiset hiilivedyt
TAME	Tert-amyyli-metyylietteri.
TBT	Tributyylitina
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet



## 1 JOHDANTO

Tämä tutkimus käsittelee Movax -tuotteiden ja tekniikan käyttömahdollisuuksia pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeissa. Movax Oy valmistaa ja toimittaa kaivinkoneasenteisia pontin- ja paaluniskijöitä, paalutusvasaroita, maaporia ja lisäksi uutena tuotteena mastoja. Yrityksen tuotteita ja tekniikkaa käyttävät erilaiset maanrakennusalan urakoitsijat eripuolilla maailmaa.

Tutkimuksen päätavoitteena on koota ja kerätä olemassa olevasta kirjallisuustiedosta sekä case-esimerkkien avulla tietoa, miten yrityksen tuotteita ja tekniikkaa voitaisiin hyödyntää pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostushankkeissa, erityishuomiota kiinnitetään pohjavesien kunnostushankkeisiin. Tutkimuksella pyritään parantamaan tuotteiden markkinointia ja myyntiä sekä laajentamaan tuotteiden käyttömahdollisuuksia myös ympäristörakentamisessa. Yrityksen tuotteita on tähän asti käytetty pääosin perinteisten maanrakennushankkeiden toteutuksissa ja ympäristönsuojelullinen näkökulma on jäänyt vähemmälle.

Tutkimuksessa keskitytään pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien aiheuttamien ympäristö- ja terveysriskien poistamiseen ja minimointiin erilaisin in-situ -kunnostusmenetelmin, joissa voitaisiin hyödyntää yrityksen tuotteita. Pohjavesien kunnostushankkeet ovat tärkeitä, sillä pohjavedet ovat yksi tärkeä juomavesiemme lähde eripuolilla maailmaa. Pohjavesien pilaantuminen on usein seurausta alueella aiemmin olleesta toiminnasta ja pilaantuminen on tapahtunut vuosien saatossa. Lisäksi lainsäädännössä määritellään velvoitteet ja vastuut maaperän ja pohjavesien kunnostukselle sekä kansainvälisesti että kansallisesti.

Tutkimus suoritetaan kirjallisuustyönä. Kirjallisuuslähteistä kerätään ja kootaan jo olemassa olevaa tietoa, jota voidaan hyödyntää yrityksen toiminnassa. Aiempia aiheeseen liittyviä tieteellisiä tutkimuksia ja kirjallisuutta on olemassa runsaasti, mutta se on hajanaista ja sellaisenaan hankalasti käytettävissä. Lisäksi aiemmissa tutkimuksissa ei niinkään ole kiinnitetty huomiota eri kunnostusmenetelmien vaihtoehtoihin toteutus- tai asennustapoihin ja erilaiset tekniset ratkaisut maaperässä tehtävälle kunnostukselle ovat jääneet vähäiselle huomiolle.

## **1.1 Tutkimuksen tausta**

Työn teettäjällä Movax Oy:llä ei ole käytössään koottua tietoa tuotteidensa käyttömahdollisuuksista ympäristönsuojeluun tarkoitetuissa hankkeissa. Yrityksen sisällä ei ole aiemmin tehty aiheeseen liittyen vastaavanlaista tutkimusta. Tiedot tuotteiden käytöstä ympäristönsuojelun parissa perustuvat asiakaskontakteihin ja heiltä saatuun tietoon hankkeiden toteutuksista. Yritys on aiemmin keskittynyt tuotteillaan enimmäkseen infra- ja maanrakennusalan erilaisiin rakennushankkeisiin ja niissä usein käytettäviin tilapäisiin ja pysyviin tukiseinämiin, joista on paljon case-esimerkkejä ja kokemusperäistä tietoa. Ympäristörakentamisen ja -suojelun hankkeet ovat enimmäkseen liittyneet tulvapatojen ja -seinämien asentamiseen Movax-tuotteilla, joista löytyy useita esimerkkejä sekä kokemusta eri puolilta maailmaa. Muutamia käyttökohteita löytyy pilaantuneen maaperän stabiloinnista, suojaseinämien rakentamisesta haitta-aineiden leviämisen estämiseksi maaperässä ja pohjavedessä. Koska ympäristörakentaminen ja ympäristönsuojelulliset näkökulmat ovat selvästi jääneet vähemmälle huomiolle, halutaan siihen panostaa nyt enemmän ja tutkimus keskittyy yrityksen tuotteiden käyttömahdollisuuksiin ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta.

## **1.2 Tutkimusongelma**

Tässä tutkimuksessa tutkitaan mitä erilaisia käyttömahdollisuuksia Movax Oy:n tuotteilla voisi olla pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeisiin. Erityistä huomiota kiinnitetään pohjaveden kunnostushankkeisiin liittyvistä mahdollisuuksista ja niihin soveltuvista Movax-tuotteista.

## **1.3 Tavoitteet**

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää mitä hyviä ja huonoja puolia on käytettäessä ja toteutettaessa eri kunnostusmenetelmiä maaperän ja pohjavesien kunnostushankkeissa sekä vertailla niitä keskenään löydetyn tiedon avulla. Myös lainsäädännön merkitystä ja kehittymistä peilataan eri kunnostusmenetelmien kehittymiseen ja arvioidaan eri menetelmien tulevaisuuden näkymiä. Lisäksi löydetyn tiedon avulla pohditaan, mitä uusia liiketoimintamahdollisuuksia yrityksen tuotteilla voisi olla maaperän ja pohjavesien kunnostushankkeiden parissa.

## **1.4 Tutkimusmenetelmät**

### **Laadulliset menetelmät**

Tässä tutkimuksessa käytetään tapaustutkimuksia, kirjallisuustutkimusta sekä hiljaisen tiedon reflektointia.

### **Kirjallisuustutkimus**

Kirjallisuustutkimuksessa sovelletaan sekä toteavaa että ohjaavaa tutkimusta. Toteavassa tutkimuksessa on tarkoitus kerätä ja koota tietoa ponttiseinämien käytöstä pilaantuneen maaperän stabiloinnissa haitta-aineiden ja pilaantuneen pohjaveden leviämisen estämiseksi ja ohjaamiseksi. Lisäksi tietoa kerätään ja kootaan reaktiivisten seinämien asennustapojen osalta ja sovelletaan sitä tutkittaessa maaporan käyttömahdollisuuksia kyseisten seinämien asentamiseksi ja toteuttamiseksi. Tässä tapauksessa voidaan soveltaa ohjaavaa tutkimusta, sillä tarkoituksena on hakea myös uusia ideoita asennusmenetelmäksi. (Eskelinen & Karsikas 2012, 91)

Kirjallisuustutkimuksessa löydetyn tiedon käyttämiseksi ja analysoimiseksi käytetään SWOT-analyysyjä ja ryhmittelyjä eri kunnostusmenetelmien vertailemiseksi ja jäsentelemiseksi keskenään. Lainsäädännön kehittyminen ympäristönsuojelussa voidaan kuvata aikajanelle, jonka avulla pyritään esittämään luonnonsuojelun tason kehittymistä myös tulevaisuudessa. (Eskelinen & Karsikas 2012, 92)

### **Tiedonkeruun toteutus**

Tutkimuksen tiedonkeruu suoritettiin kolmella eri tavalla. Ensimmäisessä vaiheessa etsittiin tutkittua tietoa aiheeseen liittyen tieteellisistä tietokannoista sekä kansallisesta lainsäädännöstä. Pääosin kaikki kirjallisuustieto on haettu Scopuksesta, joista osa löydetystä tiedosta on linkittynyt ScienceDirectiin. Toisessa vaiheessa käytiin yrityksen tuotteiden avulla toteutettuja erityyppisiä hankkeita läpi, joista rajattiin tarkemman tarkastelun kohteeksi ne, joita on selkeästi toteutettu vähiten. Lisäksi tarkemman tarkastelun kohteeksi otettiin tapaukset, joissa pääosassa on ollut jokin ympäristönsuojelullinen näkökulma.

## **Hiljaisen tiedon reflektointi**

Tutkimuksessa pyritään myös refleктоimaan yrityksen sisällä olevaa hiljaista tietoa. Hiljainen tieto perustuu yrityksen työntekijöiden kokemukseräiseen tietoon aiemmista projekteista, ammattiosaamiseen sekä asiantuntemukseen.

Kirjallisuudesta ja toteutuneista hankkeista löytyneen materiaalin pohjalta tehtiin haastattelua yrityksen työntekijän kanssa hänen kokemuksistaan maaperän ja pohjaveden kunnostushankkeissa. Lisäksi työssä on hyödynnetty tutkijan omia kokemuksia ja näkemyksiä asiaan liittyen perustuen aiempaan työkokemukseen.

Haastattelututkimuksessa on sovellettu sekä teema- että avointa haastattelua. Suurin osa haastattelusta oli lopputyön aiheen mukaisia ja pohjautuivat ainakin osittain kirjallisuustiedosta löytyneisiin havaintoihin, joissa pyrittiin selvittämään työntekijöiden kokemuksia tuotteiden käytöstä ympäristönsuojelun parissa sekä Suomessa että kansainvälisellä tasolla. Tutkimuksen edetessä esille nousseita asioita on ollut mahdollisuus tarkentaa. Haastattelua on käyty osittain noudattaen myös avoimen haastattelun periaatteita, sillä haastattelut ovat muistuttaneet pitkälle keskustelua.

## **1.5 Rajaukset**

Tutkimuksessa käsitellään yrityksen tuotteiden käyttömahdollisuuksia pilaantuneen maaperän ja erityisesti pilaantuneen pohjaveden kunnostushankkeissa. Työssä tutkitaan mahdollisuutta hyödyntää ja soveltaa maaporaa reaktiivisten seinämien asentamiseen pilaantuneen pohjaveden in-situ -kunnostusmenetelmissä. Tutkimuksessa käsitellään jo tunnistettujen ja olemassa olevien riskien hallintaa ja poistamista.

Lainsäädännön ja eri kunnostusmenetelmien kehittymistä tutkittiin sekä Suomen että Euroopan lainsäädännön näkökulmasta. Lainsäädännöstä kirjallisuuskatsauksen piiriin on otettu suoraan ympäristönsuojeluun tähtäävät direktiivit, jotka on implementoitu kansalliseen lainsäädäntöön. Tämän pohjalta tutkimuksessa on lähdetty keskittymään erityisesti menetelmiin, joiden avulla maaperän ja pohjaveden kunnostaminen toteutetaan niin, että kunnostuksen päätyttyä ja sen aikana siitä on mahdollisimman vähän haittaa sekä ympäristölle

että ihmisten terveydelle. Kunnostuksen kokonaisvaltainen onnistuminen on tärkeää myös viranomaisten kannalta, jotka antavat luvan pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostamiselle.

## **1.6 Tulosten sovellettavuus**

Tutkimuksella pyritään tuomaan tieteellistä arvoa Movax-tuotteiden käytettävyydelle ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta. Tutkimuksen avulla saatuja tuloksia voidaan hyödyntää tiedon lisäämiseksi ja osaamisen laajentamiseksi sekä yrityksen sisällä että asiakkaiden keskuudessa.

### **Uusi tieteellinen tieto**

Mahdollisuudet hyödyntää yrityksen tuotteita ja tekniikka reaktiivisten seinämärakenteiden vaihtoehtoisena toteutus- ja asennustapana. Yrityksen tuotteilla toteutettuja seinämärakenteita voidaan soveltaa sekä vettä läpäiseville että läpäisemättömille rakenteille. Tulevaisuudessa toteutuneista hankkeista saadaan lisää tietoa tuotteiden soveltuvuudesta kyseiseen käyttötarkoitukseen, jota voidaan käyttää hyödyksi tuotteita ja menetelmää kehitettäessä.

### **Konkreettiset sovellukset**

Tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa reaktiivisten seinämien vaihtoehtoisena asennusmenetelmänä. Lisäksi saatuja tuloksia voidaan hyödyntää tuotteiden markkinoinnissa ja myynnissä sekä laajentaa yrityksen osaamista.

### **Yleistettävissä olevat tulokset**

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostussuunnitelmia suunniteltaessa ja toteutettaessa ja arvioitaessa eri kunnostusmenetelmien ja niiden toteutusvaihtoehtojen taloudellisia, ympäristöllisiä ja teknisiä edellytyksiä. Lisäksi saatuja tuloksia voidaan soveltaa myös ennakoivassa riskienhallinnassa, kuten kaatopaikkarakenteissa ympäröivän ympäristön suojelemiseksi.

## **2 PILAANTUNEIDEN MAA-ALUEIDEN JA POHJAVESIEN KUNNOSTAMINEN**

Pilaantuneiden alueiden kunnostamisella tarkoitetaan haitta-aineiden poistamista tai niistä aiheutuvien riskien minimointia kohdistamalla kunnostustoimenpiteet lähteisiin, joista pilaantuneisuus on saanut alkunsa tai haitta-aineiden kulkeutumiseen maaperässä ja pohjavedessä. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, 15)

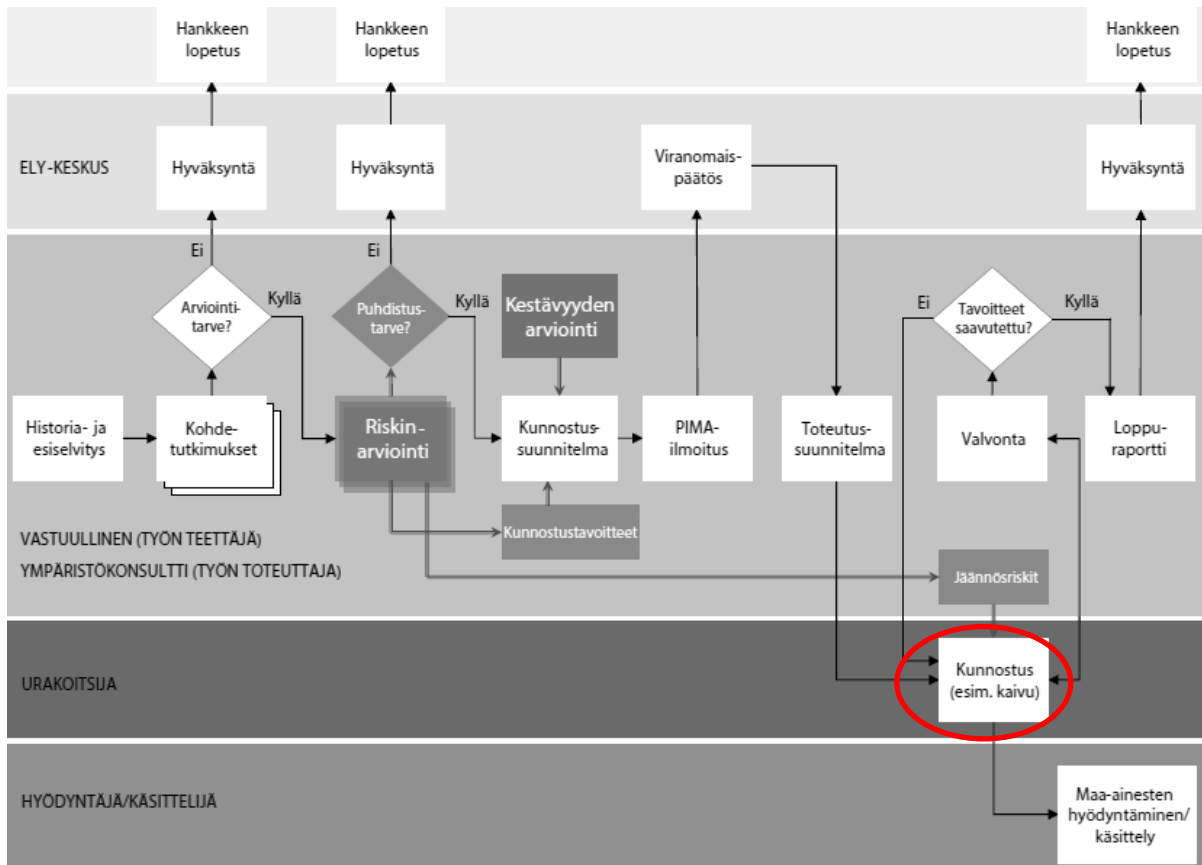
Ensisijaisesti pilaantuneet maa-alueet katsotaan olevan jätettä. Pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostus pyritään toteuttamaan niin, että haitalliset aineet saataisiin kokonaan poistettua maaperästä tai pohjavedestä erilaisin menetelmin. Tämä ei useinkaan ole käytännössä mahdollista, jolloin pyritään siihen, että haitta-aineista aiheutuva haitta tai riski joko ihmisten terveydelle ja/tai ympäristölle pyritään poistamaan niin hyvin kuin mahdollista ja estämään haitta-aineiden leviäminen laajemmalle. (Pyy et al, 2013, 5-6, 8, 32; Liu et al. 2015, 83-90).

Epäilyt maaperän pilaantuneisuudesta juontavat juurensa yleensä historiaan ja alueen aiempaan toimintaan. Yleisesti tiedossa olevia maaperän pilaavia aineita ovat esimerkiksi: öljyhiilivedyt (sis. öljyjakeet, BTEX-yhdisteet, bensiinin lisäaineet (MTBE-TAME), polyaromaattiset hiilivedyt (PAH), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), klooratut hiilivedyt, torjunta-aineet, TBT ja syanidi. Maaperästä haitta-aineet liukenevat esimerkiksi sadevesien mukana pohjaveteen. Pohjaveteen liuettuaan haitta-aineet saattavat levitä laajallekin alueelle pohjaveden virtauksen mukana. (Pyy et al, 2013, 5, 6, 8, 32; Liu et al. 2015, 83-90)

Pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostaminen on tärkeää siksi, että se on yksi tärkeimmistä puhtaan juomaveden lähteistämme ja pohjaveden otto juomavesitarkoitukseen tulee tulevaisuudessa kasvamaan entisestään. Pilaantuneita maa-alueita ja pohjavesiä on myös kansainvälisesti paljon. Ongelma on noussut esille parin viimeisen vuosikymmenen aikana ympäristötietoisuuden yleisesti kasvaessa. Myös kaavoituksen muuttuessa ja

otettaessa vanhoja teollisuusalueita asuinkäyttöön, törmätään usein maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuuteen, joka on seurausta alueella aiemmin olleesta toiminnasta. Kaavoituksen muuttuessa eri käyttötarkoituksesta toiseen, seuraa usein myös pilaantuneen alueen kunnostamisvelvollisuus, jotta voidaan välttää ja vähentää ihmisten altistumista maaperässä ja pohjavedessä oleville haitallisille aineille ja yhdisteille. (Megdal et al. 2015, 677; EU 2006/118/EY; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Suomessa kunnostushankkeet noudattavat kuvan 1 mukaista kaavaa. Kuvaan on merkitty toimija eli urakoitsija, joka mahdollisesti käyttää jo jotakin yrityksen tuotetta tai joka kuuluu markkinoinnin kohderyhmään. Jo eri kunnostussuunnitelmia laadittaessa ja vertailtaessa kilpailutetaan myös urakoitsijoita, jotka pystyvät toteuttamaan suunnitellun kunnostushankkeen kalustollaan. On myös tärkeää, että työn toteuttaja toisin sanoen suunnittelija ja urakoitsija tekevät tiivistä yhteistyötä, jonka avulla voidaan varmistua parhaasta mahdollisesta saavutettavissa olevasta lopputuloksesta kunnostamisen onnistumiseksi. Toisaalta suunnittelija ja urakoitsija voivat olla sama taho, jos kyseessä on esimerkiksi ympäristön kunnostamiseen erikoistunut yritys, joka sekä suunnittelee että toteuttaa omalla kalustollaan kunnostushankkeen. Viranomaiset antavat luvan ja mahdollisesti vielä lisäohjeita kunnostamisen aloittamiseksi ja halutun lopputuloksen varmistamiseksi. Kun suunnittelija ja urakoitsija ovat tiiviissä yhteistyössä keskenään ei kunnostusprosessin aikana pääse tapahtumaan ikäviä yllätyksiä. Kun suunnittelu ja työn toteutus kohtaavat luontevasti yhteistyön kautta, luo se myös viranomaisille luotettavan ja hyväksyttävän kuvan kunnostusmenetelmästä ja työtavasta.



Kuva 1. Suomessa toteutettavien kunnostushankkeiden esimerkki kaavio hankkeen etenemisestä sekä hankkeeseen liittyvistä eri toimijoista. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, 11)

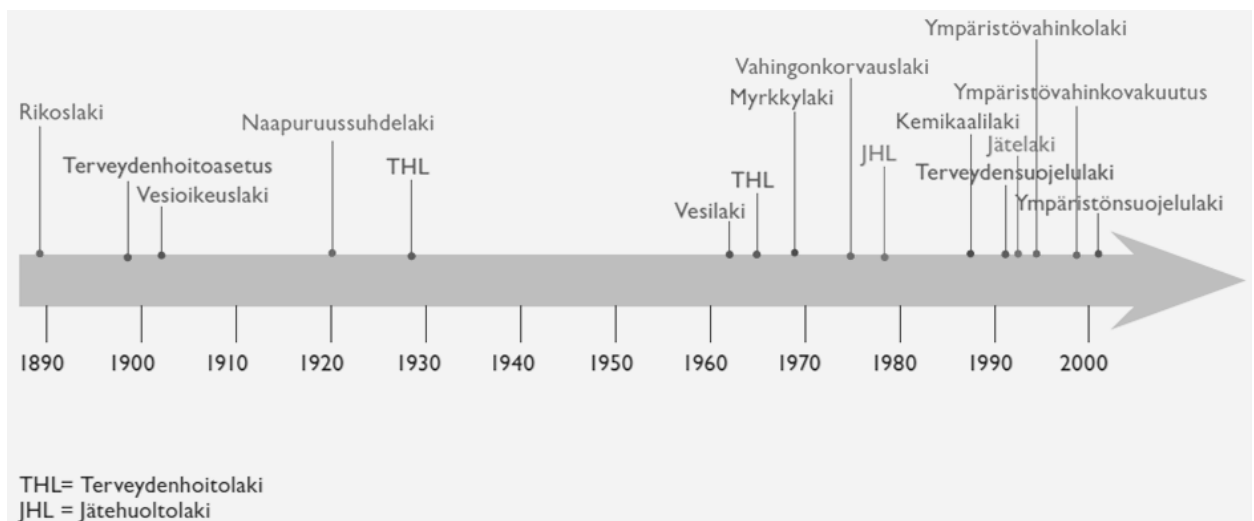
Kunnostussuunnitelmia laadittaessa niitä on pystyttävä arvioimaan monesta eri näkökulmasta. Kuten yllä olevassa kuvassa on esitetty, kunnostussuunnitelmaan vaikuttavat kunnostustavoitteet, jotka määräytyvät lainsäädännön pohjalta. Lisäksi lainsäädännössä on määritelty kestävä kehityksen periaatteita, jotka myös tulee huomioida suunnitelmia tehdessä. Kestävällä kehityksellä pyritään turvamaan hyvät elämisen edellytykset nyt ja tulevaisuudessa ottaen huomioon sosiaaliset, ympäristölliset sekä taloudelliset seikat. Kestävä kehitys on yhteiskunnan ohjattua ja suunniteltua muutosta, joka voi tapahtua kansainvälisesti, alueellisesti ja paikallisesti. (Mitä on kestävä kehitys. Ympäristöministeriön www-sivusto)

## 2.1 Lainsäädäntö ja sen kehittyminen

Ympäristötietoisuuden lisääntyminen alkoi kasvaa voimakkaasti 1970-luvulla, jota aikaisemmin ei ole ollut erityistä ympäristön- ja luonnonsuojeluun liittyvää lainsäädäntöä.



1980-luvulta lähtien pilaantuneita maa-alueita on alettu tutkia ja kartoittaa Suomessa. Ensimmäiset pilaantuneen maaperän puhdistamisvastuuseen tulleet säädökset astuivat voimaan vuonna 1987 ja vuonna 1988 tehdyssä valtioneuvoston selonteossa on luvattu selvittää ja kunnostaa pilaantuneet maa-alueet. 1980-luvulta lähtien ympäristölainsäädäntö on kehittynyt paljon ja kehittyä edelleen yhä tiukemmaksi. Kuvassa 2 on esitetty maa-alueiden pilaantumista ohjaavan lainsäädännön ajallinen kehittyminen Suomessa. Lainsäädännön kehittymiseen ovat vaikuttaneet myös Euroopan Unionin asettamat direktiivit ympäristönsuojelun tasosta, jotka on implementoitu kansalliseen lainsäädäntöön. (Pyy et al, 2013, 5-6)



Kuva 2. Maa-alueiden pilaantumista ohjaavan lainsäädännön ajallinen kehittyminen. (Pyy et al, 2013, 7)

Lainsäädännön tarkoituksena on nykypäivänä ennaltaehkäistä erilaisten ympäristövahinkojen syntyminen ja olemassa olevien haittojen minimointi tai poistaminen. Tämä tarkoittaa erilaisia määräyksiä, säädöksiä ja asetuksia. Asetuksissa määritellään erilaiset toiminnot, jotka saattavat aiheuttaa ympäristön pilaantumista. Nykyisessä ympäristönsuojelulainsäädännössä on asetettu selkeät kiellot maaperän ja pohjaveden pilaamiselle. Nykyinen lainsäädäntö kieltää sellaisten aineiden, energian tai pieneliöiden päästämisen maaperään tai pohjaveteen, jonka seurauksena pilaantuminen tapahtuu. Vielä 1970-luvulla ei tällaisia kieltoja erilaisille aineille, yhdisteille, energialle tai pieneliöille ollut olemassa. (YSL 1§)

Ensisijainen velvollisuus ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi on torjuntavelvollisuus. Tämä tarkoittaa toimenpiteitä, joilla pilaantuminen tai sen vaara voidaan tehokkaasti ja luotettavasti ehkäistä. Mikäli maaperä tai pohjavesi on päässyt pilaantumaan, joko alueen nykyisestä tai edellisestä toiminnasta johtuen, on pilaaja puhdistamisvelvollinen tai jos kyseistä toimijaa tai tahoja ei pystytä luotettavasti selvittämään, on silloin puhdistamisvastuussa alueen nykyinen omistaja tai haltija. Tämä tarkoittaa kuvassa 1 esitettyä vastuullista toimijaa, joka teettää työn yleensä ympäristökonsultilla. (YSL 10§, 14§, 17§, 133§)

Euroopassa on viimeisten muutaman kymmenen vuoden aikana kehitetty lainsäädäntöä suojelemaan maaperää ja pohjavesiä, sillä niiden pilaantuminen haitta-aineille on yksi merkittävimmistä uhista kestäväälle maan- ja pohjaveden käytölle. Euroopan Unionilla on oma ympäristöpolitiikka sekä erilaisia direktiivejä maaperän ja pohjaveden pilaantumisen ehkäisemiseksi sekä jo pilaantuneiden alueiden puhdistamiseksi. Lainsäädäntö kattaa kaikki Euroopan Unioniin kuuluvat valtiot ja annetut direktiivit implementoidaan kansalliseen lainsäädäntöön. Osassa valtioissa direktiivien implementointi kansalliseen lainsäädäntöön on jo pitkällä ja joissakin maissa sitä vasta aloitellaan implementoimaan kansalliseen lainsäädäntöön. Suomessa implementointi kansalliseen lainsäädäntöön on jo pitkällä, kuten kuvasta 2 voidaan päätellä. 1990-luvun jälkeen lainsäädäntö on lisääntynyt ympäristönsuojelun sekä ihmisten terveyden suojelun parissa. Euroopan sisälläkin siis luonnonsuojelun tasossa on isoja eroja. (Rodrigues et al. 2009, 214-225; EU 2006/118/EY)

## **2.2 Kunnostusmenetelmät ja -tekniikat sekä niiden kehitys**

Kunnostusmenetelmät voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: in-situ ja on/off-situ -menetelmiin. In-situ -menetelmissä pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostaminen tapahtuvat paikan päällä maaperässä. On/off-situ -menetelmissä pilaantunut maa-aines kaivetaan pois ja puhdistetaan joko paikan päällä tai muualla. Kuten aiemmin on esitetty, keskittyy tämä tutkimus tutkimaan ainoastaan in-situ -menetelmiä sekä niiden heikkoja että hyviä puolia. Taulukossa 1 on esitetty erilaisia in-situ -menetelmiä, jotka tässä tutkimuksessa ovat tarkastelun kohteena. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014, 15)

Taulukko 1. Tässä tutkimuksessa käsiteltäviä vaihtoehtoisia kunnostusmenetelmiä ja -tekniikoita.

Toteutusvaihtoehdot	Maaperän stabilointi/eristäminen		Reaktiiviset seinämät
	Haitta-aineiden eristäminen maaperässä	Pystysuorat seinämät pohjaveden virtauksen estämiseksi/ohjaamiseksi	Pystysuorat seinämät pohjaveden virtauksen estämiseksi/ohjaamiseksi
<b>Massanvaihto</b>			X
<b>Teräsponttiseinämät</b>	(X)	X	X
<b>Suihkuinjektointi</b>	X	X	X
<b>Syvästabilointi</b>	X	X	X
<b>Massastabilointi</b>	X	X	

Kunnostusmenetelmän valintaan vaikuttavat maaperässä tai pohjavedessä olevat haitta-aineet ja vallitsevat maaperäolosuhteet sekä hydrogeologia. Useinkin päädytään tilanteeseen, jossa yhdistellään yhtä tai useampaa kunnostusmenetelmää parhaan mahdollisen puhdistamistuloksen varmistamiseksi. Kunnostusmenetelmiä valittaessa täytyy ottaa huomioon myös työn toteutuksen aikaiset ympäristö- ja terveystaikutukset. Lisäksi kunnostusmenetelmän valintaan vaikuttaa usein myös muita tekijöitä kuten, maankäytön suunnittelu sekä sidosryhmien näkökulmat ja ympäröivä ympäristö yhdyskuntarakenteineen. Kunnostushankkeen kannalta tärkeimpiä sidosryhmiä voidaan kuvan 1 perusteella katsoa olevan: paikallinen ympäristöviranomainen, työn teettäjä, ympäristökonsultti sekä urakoitsija. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 132; Fleri & Whetstone. 2006, 441-456; Thiruvengkatahari et al. 2008, 145-156; Kivimäki et al. 2009, 23)

Yleisin lähestymistapa pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamiselle on ollut pääosin massanvaihto ja pilaantuneen maamassan puhdistaminen joko paikan päällä tai muualla, ympäristölle haitattomampaan muotoon. Massanvaihdolla tarkoitetaan tässä yhteydessä pilaantuneen maa-aineksen vaihtamista, jolloin pilaantunut maa-aines kaivetaan pois ja tilalle tuodaan puhdasta maa-ainesta. Tämä on myös Suomessa yleisesti käytössä oleva maaperän kunnostusmenetelmä. Puhdistettuja maamassoja voidaan mahdollisesti käyttää uudelleen joko samalla alueella tai muualla. Pilaantuneita maamassoja voidaan käyttää myös sellaisenaan, mikäli ne stabiloidaan siten, että haitta-aineet eivät pääse niistä enää liukenemaan

ympäröivään ympäristöön. Massanvaihto on järkevä vaihtoehto silloin, kun alueella joudutaan suorittamaan myös muita maanrakennustoimenpiteitä, esimerkiksi rakennettaessa uusia rakennuksia tai kulkuyhteyksiä. Liitteessä 1 on esitetty massanvaihdolla toteutetun kunnostuksen laajennettu SWOT-analyysi. (Cundy et al. 2015, 283-291; Juwarkar et al. 2010, 215-288; Kivimäki et al. 2009, 29).

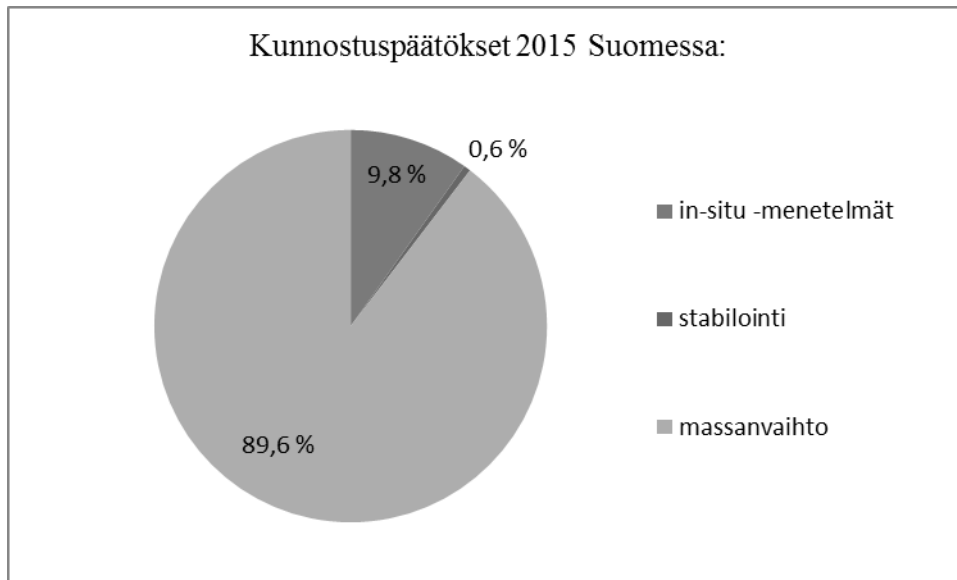
Massanvaihdot suoritetaan perinteisin maanrakennuksen keinoin. Perinteisillä maanrakennuksen keinoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä erilaisia kaivinkoneita, joiden avulla maaperää voidaan esimerkiksi kaivaa tai muokata. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki kaivinkoneesta. Kaivinkoneita on saatavilla eri kokoluokissa erilaisiin käyttöolosuhteisiin. Kaivinkoneen puomiin on vaihdettavissa ja liitettävissä erilaisia lisäosia käyttötärpeen mukaan. (Kivimäki et al. 2009, 29)



Kuva 3. Esimerkki perinteisestä maanrakennuksessa käytettävästä kaivinkoneesta. (Movax Oy)

Jonkin verran Suomessa on tehty erilaisilla in-situ -menetelmillä toteutettuja kunnostushankkeita. Menetelmistä eniten käytetty on biologinen käsittely tai huokosilmäkäsittely. Vähiten on suoritettu maaperän stabilointia. Tiedot Suomen yleisimmästä kunnostusmenetelmästä on koottu Ympäristöhallinnon verkkopalvelusta. Verkkopalvelusta on julkisesti saatavilla lupaviranomaisten antamat päätökset pilaantuneiden maa-alueiden ja

pohjavesien kunnostushankkeisiin. Kuvassa 4 on havainnollistettu maaperän kunnostusmenetelmiä Suomessa. Tiedot on haettu 19.11. 2015 mennessä tehdyistä päätöksistä vuonna 2015, joita kaiken kaikkiaan Suomessa oli annettu 173 kappaletta. Vaikka tarkastelussa oli pääosin vuosi 2015, on myös edeltävinä vuosina kunnostusmenetelmien jakauma ollut vastaavanlainen.



Kuva 4. Kunnostusmenetelmät Suomessa 2015.

### 2.2.1 Maaperän stabilointi

Maaperän stabiloinnissa pääasiallinen tarkoitus on stabiloida maa-aines, jotta haitta-aineet eivät pääse leviämään ja liukenemaan laajemmalle alueelle. Stabiloinnin käsitettä voidaan käyttää yleisesti kaikille niille menetelmille, joiden avulla pyritään estämään haitta-aineiden leviäminen. Pilaantuneen maa-alueen stabilointi voidaan suorittaa kahdella eri tavalla: in-situ tai on/off-situ -menetelmällä. Tässä tutkimuksessa keskitymme maaperän stabilointiin in-situ menetelmillä, jolloin maa-ainesta ei tarvitse kaivaa pois ja itse stabilointi tapahtuu maaperässä. Maaperän stabiloinnissa haitta-aineita ei siis poisteta maaperästä vaan ne jäävät stabiloituun maa-ainekseen. Seuraavissa kappaleissa on esitelty tarkemmin erilaisia stabilointitekniikoita ja -menetelmiä. Eri stabilointimenetelmien SWOT-analyysit on esitetty liitteissä 1-4. (Burkalovs et al. 12-16).

### **Pystysuorat seinämät pohjaveden virtauksen estämiseksi**

Pystysuorilla seinämillä voidaan vaikuttaa pohjaveden virtaukseen joko estämällä se tai ohjaamalla se haluttuun paikkaan. Näin voidaan estää pilaantuneen pohjaveden virtaaminen laajemmalle ja pilaantuneisuutta voidaan rajata ja hallita paremmin. Pystysuoria seinämiä voidaan toteuttaa erilaisin menetelmin. Pystysuorina seinäminä voidaan käyttää vedenpitäviä ponttiseinämiä tai toteuttaa suihkuinjektointin tai syvästabiloinnin avulla vettä läpäisemättömiä seinämärakenteita. Ponttiseinän alapää tulee upottaa vettä läpäisemättömään maa-ainekseen tai kallioperän ollessa kyseessä, suoritettava verhoinjektointi kallioon ponttiseinämän alle. (Kaivanto-ohje 2014, 48, 66; Kivimäki et al. 2009, 29)

Suomessa ei vuonna 2015 ole toteutettu viranomaispäätöksen saanutta kunnostushanketta, jossa käytössä olisi ollut kyseinen menetelmä. Suomessa kyseistä menetelmää on kuitenkin käytetty vuonna 2009 vanhan kaatopaikan kunnostushankkeessa Espoossa, jossa alue eristettiin vettä läpäisemättömien ponttiseinämien avulla haitta-aineiden leviämisen estämiseksi. Toinen esimerkkitapaus löytyy Orivedeltä, jossa pilaantunutta pohjavettä kunnostettiin reaktiivisella seinämällä ja pohjaveden virtauksen hallinnassa käytettiin vettä läpäisemättömiä ponttiseinämiä. Venäjällä puolestaan ponttiseinämää ja betonia on käytetty suojaseinämärakenteena (kuva 5) estämään maaperään valuneen öljyn kulkeutuminen läheiseen jokeen. Betonielementtien avulla estetään sadevesien pääsy pilaantuneeseen maaperään ja sitä kautta huuhtoutuminen läheiseen jokeen. Mainituissa hankkeissa on käytetty Movax Oy:n (kuva 6) pontin- ja paaluniskijöitä. (Kivimäki et al. 2009, 29; Ympäristölupapäätös No YS 1071/31.8.2007)



Kuva 5. Öljynjalostamon suojaseinämärakenne. (Movax Oy)



Kuva 6. Movax pontin- ja paaluniskijä. (Movax Oy)

Neljäs esimerkki kunnostushankkeesta, jossa on hyödynnetty teräsponttiseinämiä, on toteutettu Iso-Britanniassa Lontoossa. Teräsponttiseinämien avulla estettiin pilaantuneen pohjaveden leviäminen laajemmalle alueelle sekä ohjattiin pohjavesi kulkeutumaan reaktiivisten seinämäosoiden läpi, jossa pohjaveden puhdistuminen tapahtuu. Kyseisessä hankkeessa yhdisteltiin useita erilaisia in-situ -menetelmiä. (Swords & Strange 2006, 204-211)

Ponttiseinämät voidaan asentaa maahan joko iskemällä tai täryttämällä. Iskemiseen tai täryttämiseen voidaan käyttää pontituskonetta, joka on varustettu hydraulisella täryvasaralla. (Kaivanto-ohje 2014, 160).

### **Suihkuinjektoitu seinä**

Maaperän stabilointi voidaan toteuttaa myös suihkuinjektoidun seinän avulla. Myös suihkuinjektoidusta seinämästä saadaan vesitiivis, mikäli työ suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti. Suihkuinjektoinnissa maaperään porataan limittäin olevia pilareita, jotka muodostavat yhtenäisen seinämän. Side-/täyteaine saadaan maaperään suihkuttamalla esimerkiksi vesi-sementtiseosta suuttimen avulla, samalla kun poraputkea nostetaan määränopeudella pyörittäen. Suihkutettava materiaali on lietemäisessä muodossa, jolloin se kovalla paineella suihkutettuna rikkoo maa-ainesrakenteen ja sekoittuu maaperään muodostaen maaperään pilareita. (Kaivanto-ohje. 2014, 54, 55; Pyy et al. 2013, 62-63)

Suihkuinjektointitekniikalla voidaan toteuttaa muita menetelmiä paremmin myös erittäin syvällä maaperässä olevien haitta-aineiden puhdistaminen. Menetelmän avulla on toteutettu jopa 100 metrin korkuisia seinämiä. Menetelmää voidaan soveltaa myös reaktiivisten seinämien asentamiseen. (Pyy et al. 2013, 62; Swords & Strange 2006, 204-211)

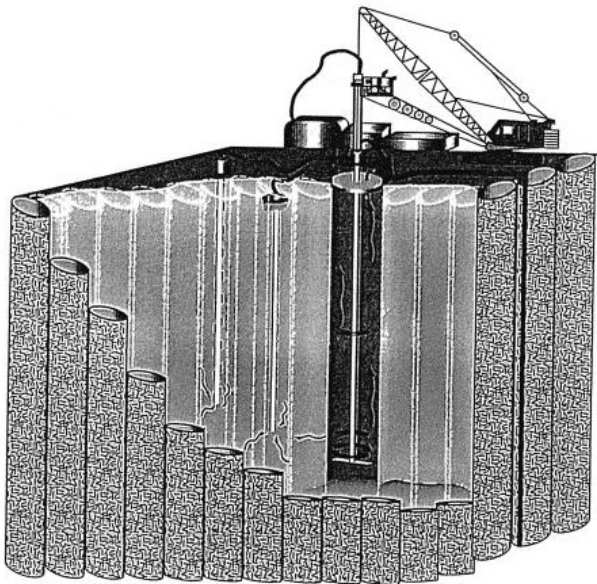
### **Syvästabilointi**

Perinteistä maanrakennuksessa käytettyä menetelmää voidaan soveltaa myös pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostushankkeissa. Syvästabiloinnissa maaperään muodostetaan pystysuuntaisia ja lieriömäisiä pilareita (kuva 7). Mikäli pilareita asennetaan limittäin, saadaan muodostettua yhtenäinen seinämärakenne. Tätä tekniikkaa voidaan hyödyntää sekä stabiloitaessa maaperää että asennettaessa reaktiivisia seinämiä. Seinämistä voidaan tehdä sekä



vettä läpäiseviä että läpäisemättömiä riippuen käytettävästä side-/ täyteaineesta. (Pyy et al. 2013, 62-63)

Esimerkiksi Irlannissa, Dublinissa, on vanha teollisuusalueen maaperä kunnostettu kyseisellä menetelmällä. Menetelmässä käytettiin perinteisiä syvästabilointi koneita ja laitteistoja heikosti vettäläpäisevien pilareiden asentamiseen maaperään. Menetelmän ansiosta 10 000 m<sup>3</sup> pilaantunutta maaperää ja pohjavettä saatiin käsiteltyä. Pilarien asennustyöt kestivät noin 3 kuukautta. (Ewans 2005, 199-204)



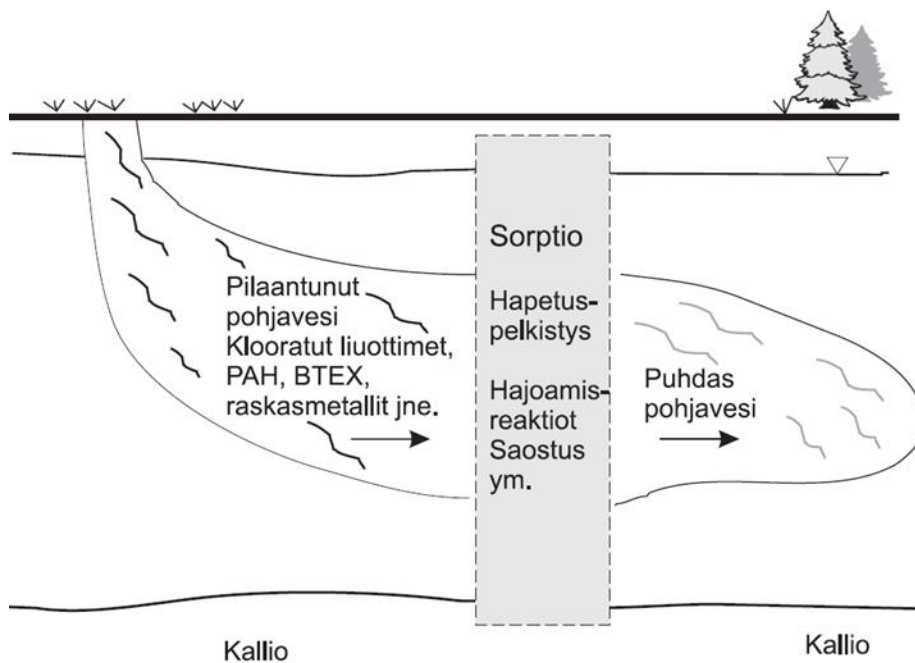
Kuva 7. Syvästabiloinnin toimintaperiaate. (Day et al. 1999, 285-297)

### **Massastabilointi**

Massastabilointitekniikat perustuvat perinteisiin maanrakennustekniikoihin, joita käytetään yleisesti heikkolaatuisten maa-ainesten lujittamiseksi. Massastabiloinnissa kunnostettava maa-aines stabiloidaan jonkin sideaineen tai aineiden avulla, esimerkiksi sementillä. Suomessa esimerkkitapauksena voidaan pitää yhtä viranomaispäätöksen saanutta kunnostushanketta vuonna 2015, jossa maaperä stabiloidaan sementin ja kitkamaan avulla. Esimerkkitaapauksessa maaperä stabiloidaan massastabilointimenetelmällä noin 2-5 metrin syvyydeltä pintamaasta. Haitta-aineiden esiintymät stabiloitavalla alueella ovat noin 1-4 metrin syvyydessä. (HAMELY/308/2015).

### 2.2.2 Reaktiiviset seinämät pohjaveden kunnostushankkeissa

Reaktiiviset seinämät ovat maahan asennettavia seinämiä, joissa käytetään materiaalina erilaisia reaktiivisia aineita tai yhdisteitä. Nämä yhdisteet voivat olla joko biologisia tai kemiallisia. Pohjaveden kulkeutuessa reaktiivisen seinämän läpi, se puhdistuu haitta-aineista. Reaktiivisen materiaalin valinnassa huomioon otettavia seikkoja ovat: aineet ja yhdisteet, joilla pohjavesi on pilaantunut, geologia ja pohjavesiolosuhteet kunnostettavalla alueella, pilaantumisesta aiheutuvat ympäristö- ja terveyshaitat sekä syntyvät materiaalikustannukset. Puhdistuminen reaktiivisessa seinämässä voi perustua adsorptioon, saostumiseen, hapettumiseen, kemialliseen tai biologiseen reaktioon sekä näiden eri yhdistelmiin. Kuvassa 8 on esitetty reaktiivisen seinämän toimintaperiaate. Reaktiivisen seinämän SWOT-analyysi löytyy liitteestä 5. (Liu et al. 2015, 83-90; Day et al. 1999, 285-297; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)



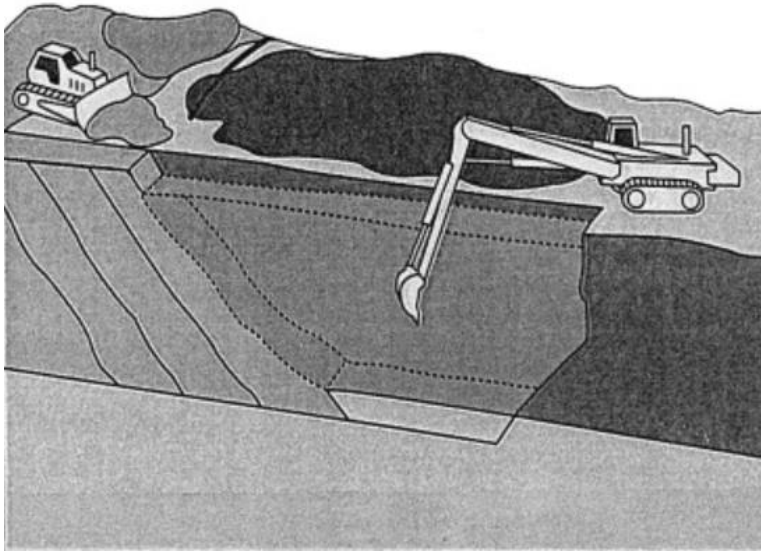
Kuva8. Reaktiivisen seinämän toimintaperiaate. (Reinikainen. 2003, 13)

In-situ menetelmistä reaktiiviset seinämät ovat tehokkaimpia puhdistettaessa pilaantuneita pohjavesiä. Usein ne ovat myös osoittautuneet kilpailukykyisiksi ja kustannustehokkaammiksi kuin muut puhdistusmenetelmät verrattaessa niitä varsinkin on/off-situ menetelmiin tai pump & treat -menetelmiin. Kyseistä menetelmää voidaan käyttää metalleilla, orgaanisilla yhdisteillä

ja erilaisilla liuottimilla pilaantuneiden pohjavesien kunnostamiseen. (Liu et al. 2015, 83-90; Day et al. 1999, 285-297)

Reaktiivisten seinämien asentamiseen käytetään yleisesti perinteisiä maanrakennus tekniikoita kaivinkoneilla toteutettuine kaivantoinen ja tukiseinämineen niiden yleisyyden ja käyttövarmuuden takia. Rajoitteena kaivinkonekaivuun toteutettavassa asennusmenetelmässä on noin 10 metrin syvyysuunta. Syvyysuunnassa voidaan päästä syvemmälle, mikäli käytetään muita kaivutekniikoita kuten erilaisia kahmareita ja muita kauhoihin varusteltuja nostureita. Euroopassa on laajalti käytössä kaivuri joka on varustettu kahmarilla. Kahmarilla kaivetaan maata pois kahden seinämän välistä, joka myöhemmin täytetään reaktiivisella materiaalilla. Kyseinen menetelmä sisältää monta eri työvaihetta ja lisää siten myös asennuskustannuksia. Liitteessä 6 on kuvattu kyseisen menetelmän eri työvaiheita. Myös erilaisia ketjukaivimia voidaan käyttää reaktiivisten seinämien asentamiseksi. Hyvinä puolina ketjukaivimista voidaan todeta, että ne tarvitsevat suhteellisen vähän tilaa ja asennus voidaan suorittaa melko nopeasti ja tehokkaasti, mikä vähentää asennuksen aikaisia kustannuksia. Lisäksi kaivusta ei tule suuria määriä kaivettua maa-ainesta käsiteltäväksi. Huonoina puolina voidaan pitää ketjukaivimien rajoittuneisuutta syvyysuunnassa. (Molfetta & Sethi. 2006, 361-369; Pyy et al. 2013, 59-60)

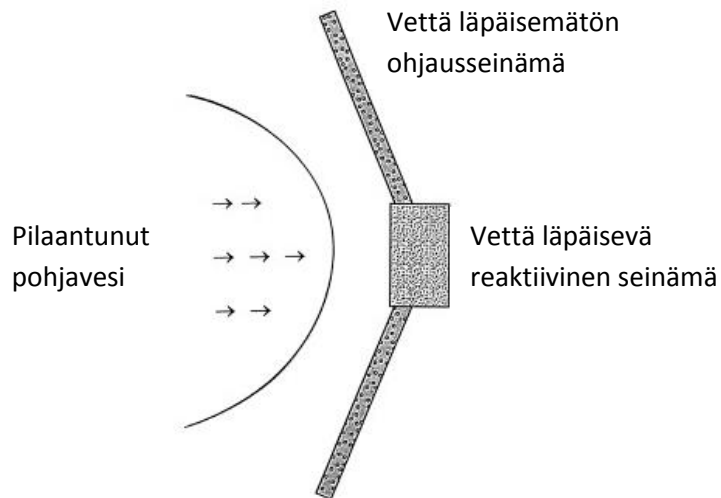
Asennettava seinämä voidaan toteuttaa myös biohajoavan lietteen avulla, jolloin kaivetun maan tilalle syötetään biolietettä, joka samalla tukee myös kaivantoa. Kuvassa 9 on esitetty kyseisen menetelmän periaatekuva. Kyseisen menetelmän avulla on toteutettu seinämiä, joiden syvyys on ollut jopa 25 m. Menetelmä sopii kapeille reaktiivisille seinämille. Ongelmana myös tässä menetelmässä ovat poiskaivetut pilaantuneet maamassat. (Pyy et al. 2013, 60-61)



Kuva 9. Biolietteen avulla tuettu kaivanto. (Day et al. 1999, 285-297).

Erikoisempien laitteiden ja kaivureiden käyttö kuitenkin nostaa asennuskustannuksia. Haittapuolena perinteisissä menetelmissä on pois kaivettujen maiden käsittely, sillä ne sisältävät maaperässä olevia haitta-aineita. Pois kaivettujen maamassojen käsittely lisää samalla myös työmaaliikennettä massojen kuljettamiseksi käsittelyyn tai käsittelylaitteistojen kuljettamista paikan päälle. (Pyy et al. 2013, 59-60)

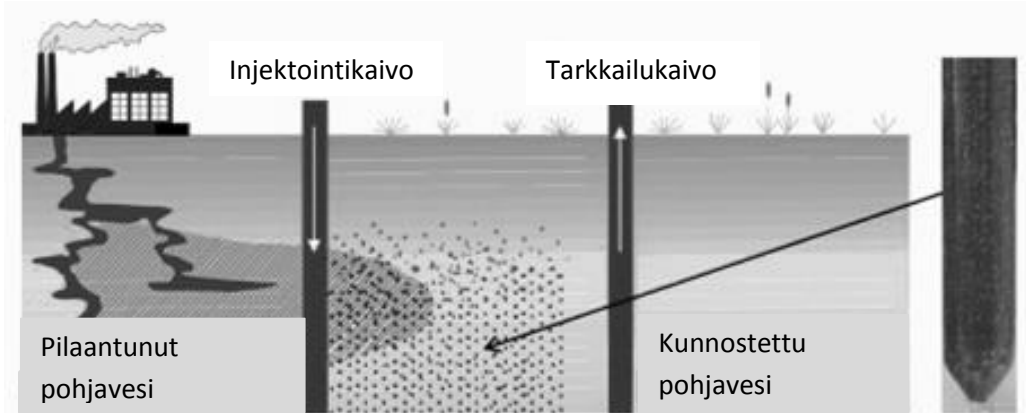
Reaktiiviset seinämät voidaan myös toteuttaa joko yhtenäisenä seinämänä tai ohjausseinämien avulla. Laajalle levinneen pilaantuneisuuden käsittelyssä ohjausseinämien avulla voidaan vaikuttaa pohjaveden virtaussuuntaan ja ohjata se kulkemaan reaktiivisen seinämän läpi. Ohjauskeinoina voidaan käyttää esimerkiksi vettä läpäisemättömiä teräsponttiseinämiä tai suihkuinjektoituja seinämiä. Kuvassa 10 on esitetty ohjausseinämin toteutettavan reaktiivisen seinämän toimintaperiaate. (Pyy et al. 2013, 47-48, 62; Thiruvengkatahari et al. 2008, 145-156)



Kuva 10. Ohjausseinämin toteutettavan reaktiivisen seinämän toimintaperiaate. (Day et al. 1999, 285-297)

Myös syvästabilointitekniikalla toteutettuja hankkeita on olemassa. Kyseisellä menetelmällä voidaan asentaa sekä vettä läpäisemättömiä että vettä läpäiseviä seinämärakenteita. Suihkuinjektointiin verrattuna syvästabilointimenetelmä on myös hieman edullisempi. Syvästabilointitekniikkaa voidaan puolestaan käyttää myös pehmeässä maaperässä. (Pyy et al. 2013, 63; Day et al. 1999, 285-297)

Maaperän ja pohjaveden kunnostamisessa ja reaktiivisten aineiden saamiseksi maaperään voidaan käyttää myös injektointitekniikkaa, jolloin reaktiivinen materiaali saadaan maaperään injektoimalla tai injektointikaivojen avulla. Kuvassa 11 on esitetty injektointimenetelmällä toteutettu in-situ -kunnostusmenetelmä. Injektointimenetelmällä toteutetussa kunnostusmenetelmässä reaktiivinen aine injektoidaan maahan, joka reagoidessaan kemiallisesti tai biologisesti pilaantuneen pohjaveden kanssa saa aikaan pohjaveden puhdistumista. Hyviä puolia kyseisessä toteutustavassa on, että maamassoja ei tarvitse kaivaa sekä injektointitekniikalla päästään myös syvälle maaperään. (Georgi et al. 2015, 76-88; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156; Molnar et al. 2015, 6804-6845).



Kuva 11. Periaatekuva injektointitekniikalla toteutetusta in-situ –kunnostusmenetelmästä. (Georgi et al. 2015, 76-88)

Suomessa on vuonna 2015 viranomaispäätöksen saanut kunnostushanke, jossa maaperän ja pohjaveden puhdistamiseksi on hyödynnetty injektointitekniikkaa. Kohteen puhdistumista nopeutetaan biologisin menetelmin, jossa maaperään injektoidaan aktiivivihiilen ja mikrobien sekoitusta, joka sisältää myös sulfaattia kipsiin sekoittuneena ja ravinteita. Maaperä kunnostettavalla alueella on pääosin savea ja materiaalin injektointi suoritetaan maaperään paineella jotta maaperään saadaan muodostettua rakoja. Injektoinnin toteutuksesta vastaa tanskalainen urakoitsija, joka on erikoistunut kyseisellä menetelmällä toteutettaviin kunnostushankkeisiin. (HAMELY/166/07.00/2010)

### 2.3 Kustannustehokkuus

Sidosryhmien näkökulma vaikuttaa usein kunnostusmenetelmän valintaan. Useimmissa tapauksissa alueen puhdistamisvelvollinen henkilö tai taho on kiinnostunut kunnostushankkeen välittömistä kustannuksista sekä puhdistustuloksen varmuudesta että kunnostushankkeen kestosta. Kunnostamishankkeita suunniteltaessa ja toteuttajia valittaessa tärkeää on vastata asiakkaan ja viranomaisten vaatimuksiin. Tällaisia vaatimuksia ovat esimerkiksi kunnostushankkeen aikataulu, hankkeen kustannukset ja saavutetut tulokset. Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden tärkeä tehtävä on pohtia eri kunnostusmenetelmien teknisiä, taloudellisia ja laadullisia edellytyksiä kunnostusmenetelmää valittaessa. Usein kunnostusmenetelmän valintaa koskeva päätös on kustannustehokkuuden ohjaama. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta, 142)

Eri kunnostusmenetelmissä kustannukset koostuvat eri osa-alueista. Joissakin menetelmissä itse asennuskustannukset ovat suuret ja toisissa puolestaan puhdistamiskustannukset ovat suuret. Aiemmin käytetyissä in-situ -menetelmissä myös käytön aikaiset ylläpitokustannukset voivat olla hyvinkin suuret, mikäli kunnostamiseen liittyy ulkopuolisen energian tarve kuten pump & treat -menetelmissä, joissa pilaantunut pohjavesi pumpataan maaperästä pois käsiteltäväksi ja tämän jälkeen takaisin maaperään. Liitteistä 1-5 voidaan havaita millaisia eroja eri menetelmien välillä on. Varsinkin in-situ -kunnostusmenetelmissä asennustapana on hyödynnetty perinteisiä maanrakennustekniikoita, jolloin asennuskustannukset voivat nousta suuriksi. Tulevaisuudessa erilaisten injektointitekniikoiden kehittymisen myötä uskotaan, että myös erilaisten in-situ -menetelmien asennusten aikaisia kustannuksia saadaan laskettua, jonka puolestaan uskotaan lisäävän in-situ -menetelmien käyttöä ja suosiota. Varsinkin passiivisten kunnostusmenetelmien suosion voidaan uskoa nousevan, kun muita kustannuksia saadaan laskettua entisestään. Passiivisiksi kunnostusmenetelmiksi voidaan katsoa kuuluvan menetelmät, jotka toimiakseen eivät tarvitse ulkopuolista energiaa. (Pyy et al. 2013, 34)

## **2.4 Tulevaisuuden näkymät**

Kunnostusmenetelmien kehittämisestä on tehty paljon tutkimusta ja erilaisia menetelmiä ja niiden sovellutuksia kehitellään jatkuvasti. Varsinkin kemialliseen ja biologiseen kunnostamiseen liittyen löytyy paljon tutkimustietoa ja esimerkki kohteita. Kansainvälisesti in-situ -menetelmät kasvattavat jatkuvasti suosiotaan ja niitä tutkitaan huomattavasti enemmän kuin muita menetelmiä. Esimerkiksi Yhdysvalloista, Kanadasta ja Euroopasta löytyy useita esimerkkitapauksia, joissa puhdistusmenetelmänä on käytetty reaktiivisia seinämiä. Tarve uusille innovatiivisille ratkaisuille on olemassa. Kestävän kehityksen suosion kasvaessa, nousee esille myös erilaisten kunnostushankkeiden ympäristöystävällisyys sekä kestävyiden arviointi ja kunnostushankkeen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Kunnostamisen kestävyiden arvioinnissa tulee ottaa huomioon kunnostuksen kokonaisvaltaiset hyödyt ja haitat. Kokonaisvaltaiset hyödyt ja haitat pitävät sisällään ympäristövaikutusten, sosiaalisten vaikutusten sekä taloudellisten vaikutusten arviointia. Lisäksi kunnostushankkeen suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon myös vaihtoehtoiset kunnostusmenetelmät sekä vertailla eri menetelmien etuja ja haittoja. Yksittäisissä kunnostuskohteissa tämä tarkoittaa kunnostusmenetelmiä, jotka ovat teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa kyseisessä

kohteessa. Tämä vastuu kuuluu kunnostushankkeen suunnittelijalle sekä urakoitsijalle. (Juwarkar et al. 2010, 215-288; Wang. 2015, 46-52; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta. 2014, 15, 131; Pyy et al. 2013, 7; Mark & Lo. 2011, 10148-10154; Liu et al. 2015, 83-90; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Kunnostushankkeen ympäristövaikutuksia kartoitettaessa tulee ottaa huomioon seuraavia osatekijöitä: riittävä ihmisten ja ympäristönsuojelun taso lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, vähentää kunnostamisessa syntyvää jätteen määrää, energiankulutusta sekä siihen liittyviä päästöjä, pyrkiä säästämään luonnonvaroja ja säilyttää maankäytön resurssit. Suomessa onkin suositeltavaa tarkastella myös in-situ -kunnostusmenetelmiä kunnostusvaihtoehtona perinteisen massanvaihdon sijaan. Perinteisellä massanvaihdolla on lukuisia negatiivisia ympäristövaikutuksia, jotka eivät pitkällä aikavälillä tue kestävän kehityksen periaatteiden noudattamista. Esimerkiksi nykyisin paljon käytetty massanvaihto on ratkaisu pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamiseen. Pilaantuneessa maaperässä on kuitenkin usein yhdisteitä, jotka ovat aikojen saatossa lienneet pohjaveteen asti, jolloin pelkkä massanvaihto ei riitä kokonaisvaltaisen kunnostamisen kannalta. Pohjavesiin lienneet haitta-aineet saattavat levitä myös paljon laajemmalle alueelle kuin millaisella alueella alkuperäinen pilaantumisen on tapahtunut maaperään. Jokaisella kunnostusmenetelmällä on kuitenkin omat hyvät ja huonot puolensa. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta, 15, 131; Mark & Lo. 2011, 10148-10154)



## **3 TUTKIMUSMETODIT**

### **3.1 Laadulliset menetelmät**

Tässä tutkimuksessa käytetään tapaustutkimuksia eli case-esimerkkejä, kirjallisuustutkimusta sekä hiljaisen tiedon reflektointia. Nämä kolme eri osa-aluetta muodostavat menetelmätriangulaation, joiden avulla voidaan suorittaa myös saatujen tulosten luotettavuustarkastelut. Case-esimerkkeinä käytetään kirjallisuudesta löydettyjä tapauksia eri puolilta maailmaa, Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja aiheeseen liittyen sekä sovelletaan olemassa olevaa kokemukseräistä tietoa Movax-tuotteiden avulla suoritetuista erityyppisistä hankkeista. (Eskelinen & Karsikas 2012, 72)

#### **3.1.1 Kirjallisuustutkimus**

Kirjallisuustutkimuksessa sovelletaan sekä toteavaa että ohjaavaa tutkimusta. Tutkimuksessa on kerätty ja koottu tietoa eri menetelmien käytöstä ja toteutusvaihtoehdoista pilaantuneen maaperän stabiloimiseksi haitta-aineiden ja pilaantuneen pohjaveden leviämisen estämiseksi ja hallitsemiseksi. Erityisesti tietoa on kerätty ja koottu reaktiivisten seinämien käytöstä ja toteutusvaihtoehdoista pilaantuneen pohjaveden kunnostusmenetelmänä. Kirjallisuustutkimuksen perusteella löydettyjä tietoja ja havaintoja peilataan tutkittaessa yrityksen tuotteiden käyttömahdollisuuksia kyseisten kunnostusmenetelmien toteutuksessa sekä ideoimalla miten yrityksen tuotteita voitaisiin soveltaa kyseisissä hankkeissa. (Eskelinen & Karsikas 2012,91)

#### **3.1.2 Hiljaisen tiedon reflektointi**

Tutkimuksessa reflektoidaan myös yrityksen sisällä olevaa hiljaista tietoa. Hiljainen tieto perustuu yrityksen työntekijöiden kokemukseräiseen tietoon aiemmista projekteista, ammattiosaamiseen sekä asiantuntemukseen. Hiljaisen tiedon reflektointi suoritetaan kokemuksi ja havaintoja vahvistamalla ja vertailemalla niitä kirjallisuudesta löydettyihin havaintoihin.

### **3.2 Kirjallisuustutkimuksen otanta**

Kirjallisuustutkimuksella pyrittiin etsimään ja löytämään erilaisia ja vaihtoehtoisia kunnostusmenetelmiä pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostamiseksi. Vaihtoehtoisiksi kunnostusmenetelmiksi katsotaan menetelmät, jotka voidaan toteuttaa ilman suuria massanvaihtoja ja keskitytään in-situ -menetelmiin, joita toteutetaan pääasiassa perinteisin maanrakennuskeinoin. In-situ -menetelmiksi määritellään kunnostusmenetelmät, jotka voidaan suorittaa paikan päällä maaperässä. Tarkemmin tutkittavat ja käsiteltävät menetelmät valittiin in-situ -menetelmien joukosta seuraavien kriteereiden perusteella: kestävän kehityksen periaatteiden tukeminen, kustannustehokkuus ja kunnostuksen kokonaisvaltainen onnistuminen.

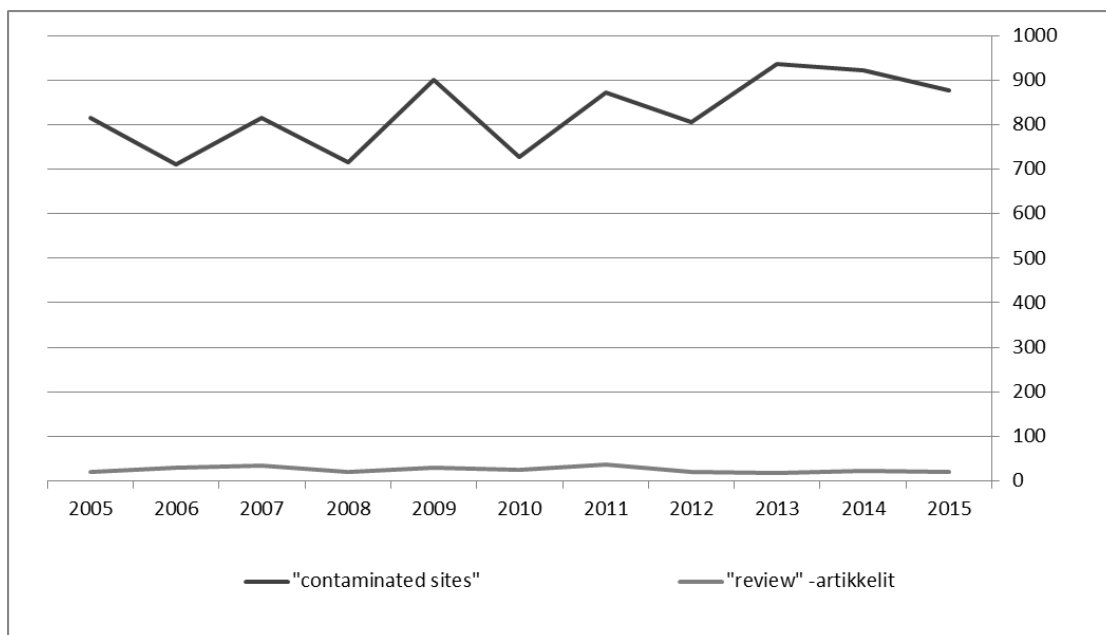
Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan ympäristöllisten, taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten huomioon ottamista. Tämä voi tapahtua sekä kansainvälisesti, paikallisesti, alueellisesti tai hankekohtaisesti. Tässä tutkimuksessa kestävän kehityksen periaatteiden täyttymistä on pohdittu eri kunnostusvaihtoehtoja vertailemalla itse kunnostusmenetelmänä sekä menetelmän asennuksen ja toteutuksen aikana. Eri menetelmien toteutus- ja asennusvaihtoehtoja vertailtaessa huomioon on otettu jätemäärän vähentäminen, kuljetusten vähentäminen, työnaikaisten ympäristö- ja terveysvaikutusten vähentäminen, maan- ja vedenkäytön kestävä suunnittelu sekä alueen kokonaisvaltainen kunnostaminen.

Kokonaisvaltaisella kunnostamisella tarkoitetaan kunnostamista, jossa sekä pilaantunut maaperä että pohjavesi saadaan kunnostettua tasolle, joka ei estä tai rajoita niiden käyttöä tulevaisuudessa. Myös itse kunnostuksen aikaiset vaikutukset lähiympäristöön sekä ihmisten terveydelle otetaan huomioon.

Kustannustehokkuuden kannalta huomiota kiinnitetään menetelmiin, jotka ovat suhteellisen nopeasti asennettavissa, jätemäärältään vähäisiä jolloin myös kuljetusten määrää voidaan pienentää sekä myös ylläpitokustannukset olisivat suhteellisen edulliset. Kuten näistä kriteereistä huomataan, nivoutuvat ne tiiviisti myös kestävän kehityksen viitekehukseen. Ylläpitokustannuksiltaan edullisimmat vaihtoehdot ovat ns. passiiviset menetelmät, jolloin kunnostamisessa ei tarvita ulkopuolista energiaa kunnostamisen toteuttamiseksi.

Uusia liiketoimintamahdollisuuksia tutkittaessa ja selvitettäessä rajattiin ne menetelmät tutkimukseen sisällytettäväksi, joissa yrityksen tuotteita voitaisiin hyödyntää kunnostusmenetelmän asennusvaiheessa. Asennusvaiheella on tarkoitettu tässä yhteydessä maaperään sijoitettavia tai tehtäviä rakenteita pilaantuneen pohjaveden kunnostamiseksi, rajaamiseksi ja hallitsemiseksi.

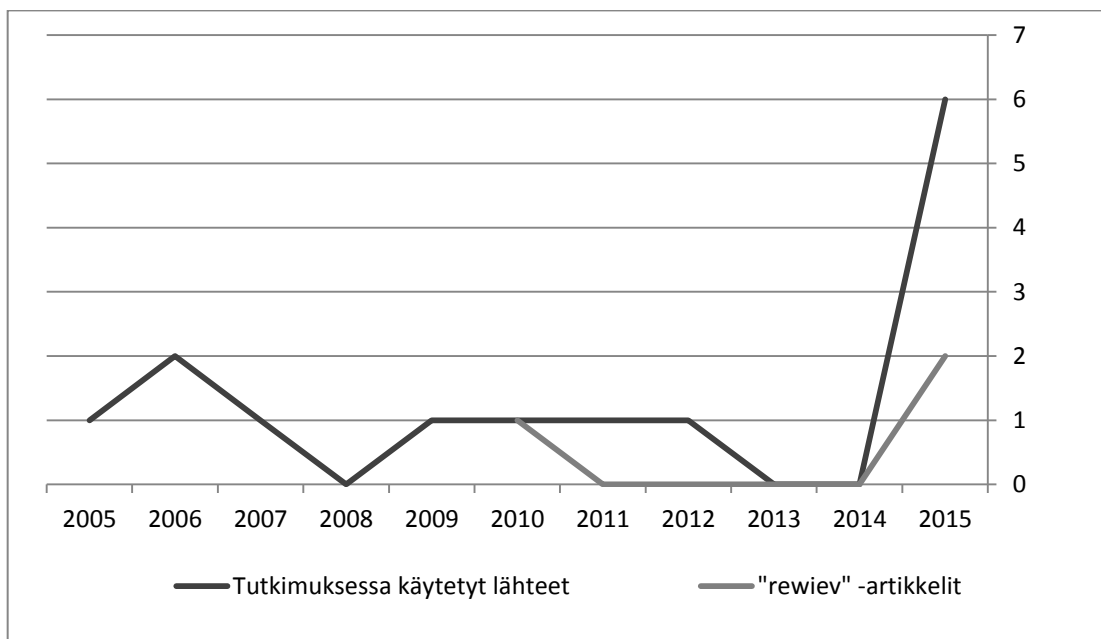
Kirjallisuustutkimuksessa on käsitelty pääosin ympäristö- ja insinööritieteiden julkaisuja pilaantuneisiin alueisiin liittyen. Scopusin tietokannasta hakusanalla ”contaminated sites” löytyi kaiken kaikkiaan 9 217 viittausta aihepiiriin liittyen vuosina 2005-2015. Alla olevasta kuvasta 12 nähdään, että viittausten määrässä on selkeä huippu vuoden 2009 kohdalla, jonka jälkeen määrä on vähentynyt, mutta lähtenyt jälleen nousuun vuonna 2012. Analysoitaessa lisää saatuja hakutuloksia (kuva 12) ja tarkastelemalla eri julkaisutyyppejä, todetaan, että ”review” -artikkeleita on tuotettu kyseisenä ajanjaksona 275 kappaletta. Kuvasta nähdään, että eniten kyseisiä artikkeleita on tuotettu vuonna 2011 (37 kpl), jonka jälkeen ne ovat lähteneet laskuun. Selkeästi kuitenkin vähemmän on review-artikkeleita, kuin alkuperäisiä artikkeleita.



Kuva 12. Julkaisut hakusanalla ”contaminated sites” sekä niihin liittyvät ”review”-artikkeleiden määrät vuosina 2005-2015.

Tämän perusteella voidaan arvioida, että aihepiiri on edelleen ajankohtainen ja kiinnostava, mutta tutkijoita kiinnostavat erityisesti uudet innovatiiviset ratkaisut ja menetelmät aiheeseen liittyen. Yleisesti voidaan arvioida kiinnostuksen säilymisen johtuvan yleisestä ympäristötietoisuuden lisääntymisestä, kestävän kehityksen periaatteiden tavoittelemisesta sekä jatkuvasti tiukentuvasta ympäristölainsäädännöstä johtuen, jotka luovat paineet uuden kehittämiseksi.

Tutkimuksessa on käytetty 14 Scopuksesta löydettyä julkaisua tutkimuksen aihepiiriin liittyen. Kuvassa 13 on analysoitu itse tutkimuksessa käytettyjä lähteitä sekä niiden määrien muutoksia vuosina 2005-2015. Kuvasta voidaan huomata, että kaikkien artikkeleiden määrä on ollut nousussa. Kun tarkastellaan tarkemmin tutkimuksessa käytettyjä lähteitä (kuva 13), voidaan havaita, että review -artikkeleiden määrä on ollut kasvussa samoin kuin kaikkien artikkeleiden määrä.



Kuva 13. Tutkimuksessa käytettyjen lähteiden määrät ja muutokset sekä niihin liittyvien review-artikkeleiden määrä.

Lisäksi tutkimuksessa on hyödynnetty Suomessa annettuja viranomaispäätöksiä, jotka perustuvat kansalliseen lainsäädäntöön. Tutkimuksessa on myös käytetty Suomen ympäristökeskuksen julkaisemia raportteja ja tutkimuksia aihepiiriin liittyen, jotka eivät kuulu edellisten lähteiden analysoinnin piiriin.

### **3.3 Tulosten yleistettävyys**

Tulosten yleistettävyttä voidaan arvioida soveltaen Sinkin kriteereitä. Sinkin kriteereitä ovat validiteetti, tarkkuus, reliabiliteetti, tasapainoinen kokonaisanalyysi, ainutkertaisuus, kattavuus, kvantifioitavuus, kalibroituavuus, yksinkertaisuus, kustannustehokkuus, merkittävyys, uskottavuus ja aikasidonnaisuus. Tässä tutkimuksessa käytetään osaa kriteereistä tulosten yleistettävyden arvioinnissa. (Eskelien & Karsikas 2012, 183)

Tiedonkeruun tarkkuudesta huolehditaan johdannossa mainitulla tiedonkeruun otannalla ja toteutuksella. Kyseisissä kappaleissa on määritelty asiat, joiden perusteella tieteellisiä julkaisuja on valittu kirjallisuuskatsauksen pohjaksi.

Tutkimuksen luotettavuuden ja toistettavuuden arviointiin voidaan soveltaa jo aiemmin mainittua menetelmätriangulaatiota, jossa käytetään kolmea eri tutkimustapaa. Menetelmätriangulaation avulla voidaan suorittaa myös tulosten verifointi.

Tiedonkeruulla löydettyä materiaalia on analysoitu erilaisten ryhmittelyjen ja SWOT-analyysien avulla ja näiden koottujen tietojen pohjalta on voitu löytää eri kunnostusmenetelmien olennaisimpia tekijöitä, jotka yleisesti vaikuttavat kunnostusmenetelmän valintaan. Näitä olennaisimpia tekijöitä ovat aiemmin esitetyt kestävän kehityksen periaatteiden tukeminen, kustannustehokkuus ja kunnostuksen kokonaisvaltainen onnistuminen.

Eri menetelmiä vertailtaessa toisiinsa peilataan niitä myös lainsäädännössä määriteltyihin seikkoihin, joilla voidaan varmistua kunnostushankkeen asianmukaisesta onnistumisesta. Lainsäädännössä on määritelty maaperässä ja pohjavedessä oleville haitta-aineille raja-arvot ja ohjearvot, mille tasolle alueen kunnostuksessa tulisi päästä, jotta se ei aiheuttaisi vaaraa tai haittaa ympäröivälle ympäristölle ja ihmisten terveydelle. Lisäksi paikallinen lupaviranomainen voi antaa vielä tiukempia ohjeistuksia kunnostushanketta koskien, mutta

niitä ei käsitellä tässä tutkimuksessa, sillä ne vaihtelevat sekä viranomaiskohtaisesti että hankekohtaisesti.

Lainsäädäntö tukee myös kestäväen kehityksen periaatteiden noudattamista, jolla pyritään ylläpitämään luonnon monimuotoisuutta. Lisäksi menetelmiä valittaessa huomioidaan myös parhaan käyttökelpoisen tekniikan arviointi. Arviointi pitää sisällään jätteiden ja niiden määrän vähentämisen, tuotannossa käytettävien aineiden ja jätteiden uudelleenkäytön ja hyödyntämisen, päästöjen vaikutusta, raaka-aineiden merkityksen, energiatehokkuuden, riskien ja onnettomuusvaarojen tunnistaminen ja ehkäiseminen sekä vaikutukset ympäristöön ja tekninen kehitys. (YSL 1§, 5§).

Tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan hyödyntää myös käytännössä aloittaen esimerkiksi pilottihankkeista. Koska menetelmistä ja tekniikasta on jo paljon käyttökokemuksia perinteisestä maanrakennuksesta, hyödynnetään tätä tietoa ja osaamista siten, että sitä sovelletaan erilaisissa pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeissa. Tutkimuksessa esitettyjä tuloksia vertaillaan muihin aiemmin käytettyihin menetelmiin ja tekniikoihin. Lisäksi tuloksia voidaan soveltaa myös ennakoivassa riskinhallinnassa ja ympäristönsuojelussa, esimerkiksi tehtäessä kaatopaikkarakenteita, joilla pyritään suojelemaan ympäröivää ympäristöä.

### **3.4 Analysointimenetelmät**

Kirjallisuustutkimuksessa löydetyn tiedon hyödyntämiseksi on käytetty laajennettua SWOT-analyysiä (liitteet 1-5) eri menetelmillä toteutettujen kunnostushankkeiden ja niiden asentamistavan vertailemiseksi. SWOT-analyysillä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa eri menetelmien vahvuuksien, heikkouksien, mahdollisuuksien ja uhkien kirjaamista nelikenttään lyhyesti. Laajennetulla SWOT-analyysillä tarkoitetaan nelikenttäisen SWOT-analyysin laajentamista kahdeksankenttäiseksi, jolloin esimerkiksi vahvuuksia ja mahdollisuuksia yhdistämällä voidaan havaita kyseisen menetelmän menestystekijät.

Lisäksi löydetty tieto on ryhmitelty stabilointimenetelmiin ja edelleen stabiloinnin eri toteutusvaihtoehtoihin sekä reaktiivisiin seinämiin sekä niiden erilaisiin toteuttamis- ja asennustapoihin (taulukko2). (Eskelinen & Karsikas 2012, 80, 90, 92)

Taulukko 2. Eri kunnostusmenetelmien jaottelua ja ryhmittelyä.

<b>Toteutusvaihtoehdot</b>	<b>Maaperän stabilointi/eristäminen</b>		<b>Reaktiiviset seinämät</b>
	Haitta-aineiden eristäminen maaperässä	Pystysuorat seinämät pohjaveden virtauksen estämiseksi/ohjaamiseksi	Pystysuorat seinämät pohjaveden virtauksen estämiseksi/ohjaamiseksi
<b>Massanvaihto</b>			X
<b>Teräsponttiseinämät</b>	(X)	X	X
<b>Suihkuinjektointi</b>	X	X	X
<b>Syvästabilointi</b>	X	X	X
<b>Massastabilointi</b>	X	X	

## 4 TUOTTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN KUNNOSTUSHANKKEISSA

Kirjallisuuskatsauksessa esille tuodut seikat tulevaisuuden näkymistä pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeissa viittaavat selkeästi siihen, että myös kunnostushankkeita kohtaan on entistä tärkeämpää ja merkittävämpää hankkeiden elinkaaren aikaiset vaikutukset. Tämä tarkoittaa sitä, että erilaisia menetelmiä ja tekniikoita tulisi kehittää entistä ympäristöystävällisempään ja kestävämpään suuntaan. Yksi tämän työn tarkoituksista on soveltaa jo olemassa olevaa tietoa ja osaamista kunnostushankkeiden parissa, jolloin kunnostushankkeiden toteutuksen ja asennuksen aikaisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia voitaisiin pienentää. (Juwarkar et al. 2010, 215-288; Wang. 2015, 46-52; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta. 2014, 15, 131; Pyy et al. 2013, 7; Mark & Lo. 2011, 10148-10154; Liu et al. 2015, 83-90; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Ympäristö- ja terveysvaikutuksia voidaan pienentää jo menetelmän valinnalla. In-situ -menetelmien etuna on, että ne tehdään paikan päällä maaperässä, jolloin suurilta massanvaihdolta voidaan välttyä. Massanvaihtoon liittyy myös kunnostustyöntekijöiden riski altistua haitta-aineille, kun pilaantunutta maaperää kaivetaan ja siinä olevat yhdisteet saattavat joutua ihokontaktiin työntekijöiden kanssa tai haihtua hengitysilmaan. Lisäksi massanvaihto lisää huomattavasti muihin menetelmiin verrattuna työmaaliikennettä sekä jätteen määrää (liite 1). (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. 2014, 15, 132; Fleri & Whetstone 2006, 441-456; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Varsinkin Suomessa massanvaihto (liite 1) on yleinen maaperän kunnostusmenetelmä. Massanvaihdolla voidaan kunnostaa pilaantunut maaperä kokonaisuudessaan. Hyvinä puolina massanvaihdossa voidaan pohjavesien kannalta pitää sitä, että pohjavesiin ei enää jatkossa liukene maaperässä olevia haitta-aineita. Kuitenkaan massanvaihdolla ei pystytä kunnostamaan jo pilaantunutta pohjavettä. Myös pohjavesien kunnostamiseen tulisi panostaa, sillä pilaantuneisuus saattaa levitä hyvinkin laajalle alueelle pohjaveden virtauksen mukana. Yleisesti Suomessa kunnostetaan ainoastaan tärkeitä eli juomavesitarkoitukseen tarkoitettuja pohjavesivarantoja. Pohjavesien virtauksen seurauksena pilaantuneisuus voi levitä myös



tärkeille pohjavesialueille alueilta, joita ei ole määritelty juomavesitarkoitukseen. Pelkällä massanvaihdolla ei siis voida suorittaa kohteiden kokonaisvaltaista kunnostamista, mikä tukisi myös alueen kestävästä maan- ja vedenkäytön suunnittelua. Kansainvälisesti pohjavesien kunnostaminen on vielä tärkeämpää, sillä pohjavesivarantoja on vähän ja niiden käyttö juomavesitarkoitukseen tulee tulevaisuudessa vain kasvamaan. (Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288; Megdal et al. 2015, 677; Akcil Ata et al. 2015, 24-36; EU 2006/118/EY: Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Erilaisilla maaperässä tehtävillä stabiloinneilla (liitteet 2-4) pyritään estämään haitta-aineiden leviäminen laajemmalle ja liukeneminen esimerkiksi sadevesien mukana pohjaveteen. Ongelmana stabilointimenetelmissä on, että haitta-aineet jäävät maaperään ja niitä ei poisteta. Stabilointimenetelmillä tehty eristäminen voi vaurioitua, jolloin haitta-aineita saattaa levitä lähiympäristöön ja pohjaveteen asti. Stabilointitekniikoilla toteutettuihin kunnostuskohteisiin jää siis haitta-aineet sekä pysyviä rakenteita maaperään, jotka puolestaan voivat joskus vaikuttaa alueen maankäytön suunnitteluun. Samoin stabilointitekniikoilla tehty haitta-aineiden eristäminen muusta ympäristöstä ei poista jo pohjaveteen liuenneita haitta-aineita. Stabilointitekniikoita voidaan hyödyntää myös pilaantuneen pohjaveden ohjaamiseen ja rajaamiseksi muusta ympäristöstä. (Swords & Strange 2006, 204-211)

Reaktiiviset seinämät (liite 5) on tarkoitettu nimenomaan kunnostushankkeisiin, joissa kohteena on myös pilaantuneen pohjaveden kunnostaminen. Usein reaktiivinen seinämä on osa kunnostuksen toteutusta yhdistettynä muiden menetelmien kanssa, esimerkiksi stabilointitekniikoin suoritettu pilaantuneisuuden rajaaminen ja ohjaaminen reaktiivisen seinämän läpi. Reaktiivisen seinämän rakentamiseen ja asentamiseen käytetään yleisesti tiedossa olevia ja hyväksi havaittuja maanrakennus tekniikoita. Reaktiivisten seinämien menestystekijöitä SWOT-analyysin (liite 5) pohjalta: pohjaveden kunnostaminen, edulliset ylläpitokustannukset, ei rajoita alueen muuta käyttöä, osa kunnostuksen aikaisista rakenteista voidaan mahdollisesti poistaa kunnostuksen päätyttyä, voidaan soveltaa sekä lietemäisille että kiinteille aineille lisäksi perinteisiä maanrakennustekniikoita voidaan hyödyntää ja soveltaa asennettaessa reaktiivisia seinämiä. (Molfetta & Sethi. 2006, 361-369; Pyy et al. 2013, 59-60;

Liu et al. 2015, 83-90; Day et al. 1999, 285-297; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Eri menetelmien toteutus- ja asennusvaihtoehtoja vertailtaessa huomioon on otettu jätemäärän vähentäminen, kuljetusten vähentäminen, työnaikaiset ympäristö- ja terveysvaikutukset ja niiden vähentäminen, maan- ja vedenkäytön kestävä suunnittelu sekä alueen kokonaisvaltainen kunnostaminen. Kokonaisvaltaisella kunnostamisella tarkoitetaan kunnostamista, jossa sekä pilaantunut maaperä että pohjavesi saadaan kunnostettua tasolle, joka ei estä tai rajoita niiden käyttöä tulevaisuudessa. Kustannustehokkuuden kannalta huomiota kiinnitetään menetelmiin, jotka ovat suhteellisen nopeasti asennettavissa, jätemäärältään vähäisiä, jolloin myös kuljetusten määrää voidaan pienentää sekä myös ylläpitokustannukset olisivat suhteellisen edulliset. Kuten näistä kriteereistä huomataan, nivoutuvat ne tiiviisti myös kestävä kehityksen viitekehykseen. Ylläpitokustannuksiltaan edullisimmat vaihtoehdot ovat ns. passiiviset menetelmät, jolloin kunnostamisessa ei tarvita ulkopuolista energiaa kunnostamisen toteuttamiseksi. (Juwarkar et al 2010, 215-288; Wang. 2015, 46-52; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 15, 131; Pyy et al. 2013,7; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Liu et al. 2015, 83-90; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Tarkemman tarkastelun kohteeksi kirjallisuuskatsauksen pohjalta sekä SWOT-analyysihin ja ryhmittelyihin perustuen on valittu tässä tutkimuksessa reaktiiviset seinämät ja niiden asennusvaihtoehdot. Reaktiivisia seinämiä käyttämällä pystytään parhaiten toteuttamaan kohteen kokonaisvaltainen kunnostaminen, jolloin myös pohjaveden kunnostaminen otetaan huomioon.

Taulukko 3. Eri menetelmävaihtoehdot sekä kuinka ne täyttävät asetettuja vaatimuksia.

	Jättemäärän vähentäminen	Kuljetusten vähentäminen	Työnaikaisten ympäristö- ja terveysvaikutusten vähentäminen	Maan- ja vedenkäytön kestävä suunnittelu	Kokonaisvaltainen kunnostaminen	Ylläpitokustannukset
<b>Massanvaihto</b>						X
<b>Teräsponttiseinämät</b>	X	X	X	(X)		X
<b>Suihkuinjektointi</b>	X	X	X	(X)	(X)	X
<b>Syvästabilointi</b>	X	X	X	(X)	(X)	X
<b>Massastabilointi</b>	X	X	X	(X)	(X)	X
<b>Reaktiiviset seinämät</b>	X	X	X	X	X	X

Uusia liiketoimintamahdollisuuksia tutkittaessa ja selvitettäessä rajattiin ne menetelmät tutkimukseen sisällytettäväksi, joissa yrityksen tuotteita voitaisiin hyödyntää kunnostusmenetelmän asennusvaiheessa. Asennusvaiheella on tarkoitettu tässä yhteydessä maaperään sijoitettavia tai tehtäviä rakenteita pilaantuneen pohjaveden kunnostamiseksi, rajaamiseksi ja hallitsemiseksi. Kirjallisuuskatsauksen perusteella Movax-tuotteita voitaisiin soveltaa taulukon 4 mukaisesti reaktiivisten seinämien asentamiseen. Taulukossa 4 on koottuna valitut kunnostusmenetelmät, niiden toteutustapa sekä Movax-tuotteiden soveltuvuus menetelmien asennus- tai toteutustapana.

Taulukko 4. Movax-tuotteiden käyttömahdollisuudet reaktiivisten seinämien asennus- ja toteutustapana.

Toteutusvaihtoehdot	Asennukseen soveltuvat Movax-tuotteet	Reaktiiviset seinämät	
		Reaktiivinen seinämä	Ohjauseinämä
<b>Teräsponttiseinämät</b>			
	Movax SG-sivuottovibrat		X
<b>Syvästabilointi</b>			
	Maapora + SG-sivuottovibrat	X	X
<b>Suihkuinjektointi</b>			
	Maapora + (injektointilaitteisto)	X	X

Syvästabiloinnin ja suihkuinjektoinnin toteutuksessa hyödynnetään Movax-tuotteiden lisäksi putkipaaluja. Putkipaalut ovat asennettavissa Movax SG-sarjan sivuottovibrojen avulla.

## 4.1 Tuotettu uusi tieto

Tässä tutkimuksessa on selvitetty vaihtoehtoisia asennusmenetelmiä ja -tapoja reaktiivisten seinämien toteuttamiselle. Lähtökohtana oli kerätä ja koota olemassa olevaa tietoa in-situ -kunnostusmenetelmistä pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostushankkeissa. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta havaittiin, että reaktiivisten seinämien tutkimukset kunnostusmenetelmänä keskittyivät pitkälle itse reaktiivisen materiaalin tutkimiselle sen toimivuuden ja käytettävyyden osalta erilaisissa maaperäolosuhteissa ja erilaisille pilaantuneisuuden aiheuttajille. Vaihtoehtoisia asennusmenetelmiä ja -tapoja puolestaan on samaan aikaan tutkittu hyvin vähän. Tutkimusta varten käydyssä materiaalissa, ei missään ollut vertailtu vaihtoehtoisia tai erilaisia asennusmenetelmiä reaktiivisen materiaalin asentamiseksi maaperään. Asennusmenetelmän valintaan vaikuttavat suuresti myös reaktiivisen materiaalin koostumus, onko se lietemäisessä muodossa vai kiinteässä muodossa. Eri materiaalivaihtoehtojen käytettävyyden kannalta myös asennustapoja tulisi pohtia enemmän. (Liu et al. 2015, 83-90; Day et al. 1999, 285-297; Thiruvenkatachari et al. 2008, 145-156)

Eri asennustapoja vertailtaessa huomattiin, että yleisin tapa ovat perinteiset maanrakennusalan työt. Sinänsä ne ovat hyvinkin luotettavia menetelmiä, sillä niistä on paljon käyttökokemusta ja ne ovat yksinkertaisia toteuttaa. Asentamismenetelmää ja -tapaa mietittäessä, tutkimuksessa otettiin huomioon kestävän kehityksen periaatteiden noudattaminen, jolloin myös lainsäädännön velvoitteet tulee täytettyä. Suurin osa tarkastelluista asennustavoista ei tue kestävän kehityksen periaatteiden noudattamista ja siksi tässä työssä on tarkasteltu vaihtoehtoisen menetelmän käyttämistä seinämien asentamiseksi. (Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288; Kaivanto-ohje 2014, 48, 66; Pyy et al. 2013, 62; Swords & Strange 2006, 204-211; Molfetta & Sethi 2006, 361-369).

Tutkittaessa Movax-tuotteiden käyttömahdollisuuksia reaktiivisten seinämien asennustapana, havaittiin, että niillä voidaan täyttää useita kestävän kehityksen piiriin kuuluvia kriteereitä. Tämän ansiosta myös kunnostushankkeen kokonaisvaltaisia ympäristövaikutuksia voidaan paremmin vähentää. Tämän tutkimuksen avulla näitä seikkoja on tuotu esille esimerkinomaisesti, jotta tulevaisuudessa myös eri asennustapojen vaihtoehtoihin

ratkaisutapoihin kiinnitettäisiin enemmän huomiota ja niitä kehitettäisiin ja pohdittaisiin yhdessä kunnostushankkeisiin liittyvien eri toimijoiden välillä, erityisesti suunnittelijan ja urakoitsijan kanssa. Movax Oy puolestaan toimittaa urakoitsijalle tarvittavat työvälineet toteutuksen onnistumiselle, joten myös Movaxin on hyvä olla keskustelussa ja yhteistyössä mukana. (Juwarkar et al 2010, 215-288; Wang 2015, 46-52; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 15, 131; Pyy et al. 2013, 7; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Liu et al. 2015, 83-90; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156 )

## 4.2 Tuotteiden soveltuvuus

Movax-tuotteet ovat kaivinkoneasenteisia maanrakennusalan työkaluja. Pääosin niiden käyttötarkoitus on ollut perinteisessä maanrakennuksessa, mutta samoja tekniikoita voidaan hyödyntää ja soveltaa myös pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeissa. (Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288; Kaivanto-ohje 2014, 48, 54-55, 66; Pyy et al. 2013, 62-63; Swords & Strange 2006, 204-211; Molfetta & Sethi 2006, 361-369)

Movax-tuotteet ovat erilaisia pontin- ja paaluniskijöitä, paalutusvasaroita ja maaporia. Lisäksi uutena tuotteena mastorakenne, jonka ansiosta voidaan lisätä ulottuvuutta syvyys suunnassa. Movax-tuotteista edistyksellisiä tekee niiden monipuolisuus ja innovatiivisuus, mikä puolestaan näkyy urakoiden kokonaistehokkuudessa. Lisäksi Movax-tuotteita voidaan käyttää myös erittäin hankalissa ja vaativissa olosuhteissa.

Movax-tuotteiden avulla voidaan vastata lisääntyviin kriteereihin kunnostusmenetelmiä ja niiden toteutustapoja vertailtaessa. Yleisesti kestävä kehityksen näkökulmasta katsottuna tulisi kunnostushankkeissa ottaa huomioon koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Movax-tuotteita käyttämällä, voidaan yhdellä ainoalla kaivinkoneella suorittaa eri maanrakennusvaiheita kunnostushankkeen edetessä. Lisälaitteen vaihtaminen onnistuu kaivinkoneeseen muutamassa minuutissa eri käyttötarkoitusta ja -kohdetta varten. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 15, 131, 142; Pyy et al. 2013,7, 34; Juwarkar et al 2010, 215-288; Wang 2015, 46-52; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Liu et al. 2015, 83-90; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Kohteeseen ei siis välttämättä tarvitse tuoda montaa erilaista eri rakennusvaiheisiin soveltuu laitetta tai konetta. Tämä puolestaan säästää myös hankkeen kustannuksia. Lisäksi ympäröivälle ympäristölle aiheutuvia väliaikaisia ympäristöhaittoja voidaan näin vähentää esimerkiksi työmaaliikenteen vähentymisen myötä, mistä usein aiheutuu melu- ja pölyhaittoja. Työmaaliikenteen ja erilaisten koneiden ja laitteiden väheneminen vaikuttaa myös polttoainekustannuksiin. Polttoainekustannusten ja polttoaineen tarpeen vähentyminen pienentää myös energiankulutusta, minkä puolestaan voidaan katsoa vähentävän hankkeen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Koneiden vähenemisen myötä myös tilantarve työmaalla pienenee. (Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 15, 131; Mark & Lo. 2011, 10148-10154)

Movax-tuotteiden etuna myös on, että niiden avulla voidaan vähentää kaivumassojen määrää. Kaivumassojen määrää vähentämällä voidaan vähentää työmaalla syntyvän jätteen määrää. Pilaantuneet maa-ainekset katsotaan yleisesti jätteeksi jolloin ne täytyy viedä käsittelyyn muualle, tai tuoda pilaantuneiden maa-ainesten käsittelyyn tarkoitettu laitteisto paikan päälle, jolloin puhutaan on/off-site -menetelmistä. Kaivantojen pienentäminen ja vähentäminen vähentävät myös kunnostustyöntekijöiden altistumista maaperässä oleville haitta-aineille, kun maata ei tarvitse kaivaa mittavissa määrin, jolloin esimerkiksi haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voi vapautua hengitysilmaan. Tällä puolestaan on yhteys myös työturvallisuuteen. Työturvallisuutta voidaan parantaa myös yleisesti kaivantoja pienentämällä ja tukemalla niitä ponttiseinämin, jolloin kaivannon sortumavaara pienenee. (Pyy et al. 2013; Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288).

Innovatiivinen ratkaisu ponttien ja paalujen sivustaottoon mahdollistaa työskentelyn esimerkiksi sisätiloissa tai siltojen alla, missä korkeus on rajoittavana tekijänä. Joissakin tapauksissa pohjaveden virtaussuunta ja levinneisyys saattaa olla myös rakennusten alapuolisissa maakerroksissa esimerkiksi vanhoilla teollisuusalueilla, joita voidaan kaavoittaa nykyisin myös asuinalueiksi. Movax-tuotteilla onnistuu pilaantuneisuuden rajaaminen ja mahdollisesti jopa reaktiivisten seinämien asentaminen sisätiloissa (kuva 14), jolloin voidaan välttää rakennusten purkaminen kunnostuksen tieltä. (Outi Pyy et al, 2013, 5-8, 32; Liu et al. 2015, 83-90; Megdal et al. 2015, 677; EU 2006/118/EY: Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)



Kuva 14. Movaxin käyttö sisätiloissa. (Movax Oy)

Kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti reaktiivisia seinämiä käytettäessä ei kunnostusmenetelmän valinta vaikuta alueen muuhun suunniteltuun käyttöön muulloin kuin seinämän asennuksen aikana. Ohjausseinämät ja reaktiiviset seinämät jäävät maaperään ja alueen kunnostaminen tapahtuu passiivisesti ilman ulkopuolisia rakenteita ja rakennuksia ja lisäksi se ei tarvitse ulkopuolista energiaa toimiakseen. Reaktiivisia seinämiä käytettäessä voidaan saavuttaa kokonaisvaltainen alueen kunnostaminen, jolloin myös pohjaveden kunnostaminen otetaan huomioon perinteisten massanvaihtojen ja pilaantuneen maa-aineksen kunnostamisen sijaan. (Pyy et al. 2013; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

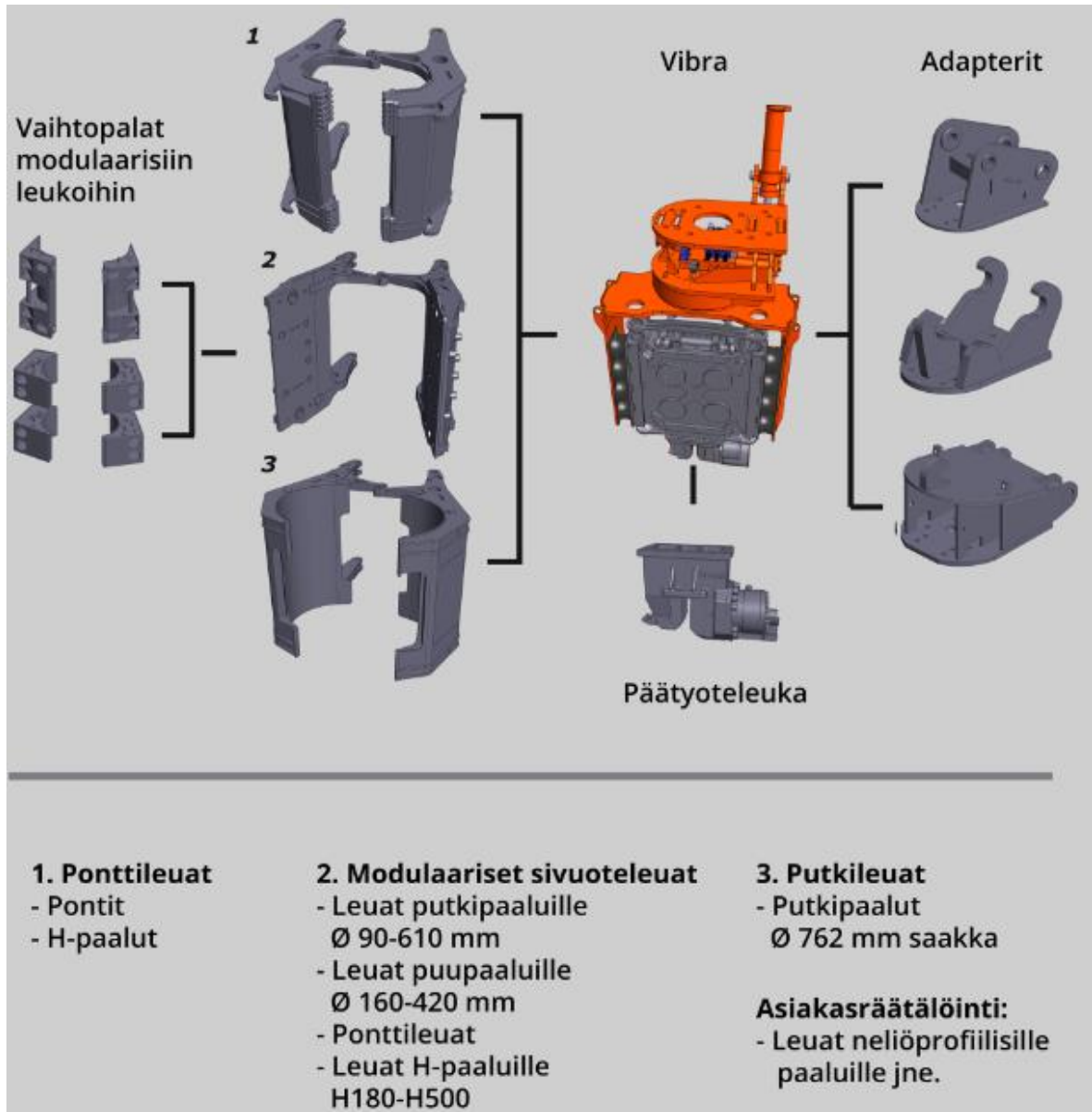
Myöskään tulevaisuudessa kunnostushankkeesta ei ole haittaa alueen käytölle. Ponttiseinämin toteutettavat rakenteet voidaan poistaa maaperästä kunnostuksen päätyttyä. Samoin putkipaaluilla toteutettava reaktiivisen materiaalin asentaminen tapahtuu samalla periaatteella. Lopuksi putkipaalut poistetaan reaktiivisen materiaalin asentamisen jälkeen maaperästä ja jäljelle jää ainoastaan reaktiivinen materiaali. Lisäksi ympäristöystävällisyyttä lisää se, että pontteja ja putkipaaluja voidaan käyttää maaperästä poistamisen jälkeen muissa kohteissa.

#### 4.2.1 Pystysuorat seinämät

Kuten aiemmin kirjallisuuskatsauksessa on havaittu, voidaan reaktiivisia seinämiä toteuttaa kahdella eri periaatteella, joko yhtenäisenä seinämänä tai ohjausseinämin toteutettavana seinämänä. Tässä tarkastellaan lähemmin ohjausseinämin toteutettava ratkaisua, jossa ohjausseinäminä voidaan käyttää vettä läpäisemättömiä ponttiseinämiä. Muihin ohjausseinämätyyppeihin verrattuna ponttiseinämät voidaan poistaa kohteesta kunnostuksen päätyttyä. Muissa menetelmissä esimerkiksi syvästabiloinnissa ohjausseinämärakenne jää pysyvästi maaperään, jolloin se vaikuttaa myös alueen luonnonmukaiseen hydrogeologiaan muuttamalla pysyvästi alueen pohjavesiolosuhteita. (Pyy et al. 2013, 47-48, 62; Thiruvengkatahari et al. 2008, 145-156; Day et al. 1999, 285-297; Swords & Strange 2006, 204-211)

Ponttiseinämät asennetaan maaperään joko iskemällä tai täryttämällä. Movax-tuotteista erilaisten paalujen ja ponttien asentamiseen voidaan käyttää Movax SG-sarjan pontin- ja paaluniskijöitä, jotka voidaan kiinnittää perinteisiin kaupallisiin kaivinkonemalleihin. Kuvassa 15 on esitetty sivustaottosarjan modulaarijärjestelmä, jonka ansiosta samalla kaivinkoneella voidaan asentaa erityyppisiä paaluja tai pontteja käyttötarpeen ja -kohteen mukaan. Myös putkipaaluille on saatavilla omat vaihtoleuat (kuva 16). (Kaivanto-ohje 2014, 48, 66)





Kuva 15. SG-sarjan modulaarinen leukajärjestelmä. (Movax Oy)



Kuva 16. Putkipaalun käsittelyä Movax SG -sarjan tuotteilla. (Movax Oy)

Parhaimmillaan Movaxin pontin- ja paaluniskijöillä voidaan asentaa jopa 16 metriä pitkiä pontteja. Liitteessä 7 on esitetty SG-65V:n ja SG-75V:n teknisiä ominaisuuksia.

Movax-tuotteiden avulla on toteutettu erilaisesta ympäristönäkökulmasta esimerkiksi tulvapatvoja eri puolille maailmaa. Tulvapatojen tarkoituksena on vähentää tulvien aiheuttamaa eroosiota maaperässä. Lisäksi Movax-tuotteilla on toteutettu useita satamarakennuskohteita, joissa yhtenä tärkeänä tekijänä on ponttiseinämän vedenpitävyys. Vedenpitävien ponttiseinämien asentamisesta erilaisissa ympäristö- ja maaperäolosuhteissa on runsaasti kokemusta, jota voidaan hyödyntää ja soveltaa asennettaessa kyseisiä ohjausseinämiä osana reaktiivisten seinämien kunnostusmenetelmää.

Myös Suomesta on kokemusta ponttiseinämien käytöstä suojarakenteena, esimerkiksi kirjallisuuskatsauksessa mainitusta vanhan kaatopaikan kunnostushankkeesta, jossa ponttiseinämiä käytettiin stabilointitarkoituksessa haitta-aineiden kulkeutumisen ja leviämisen hallinnassa.

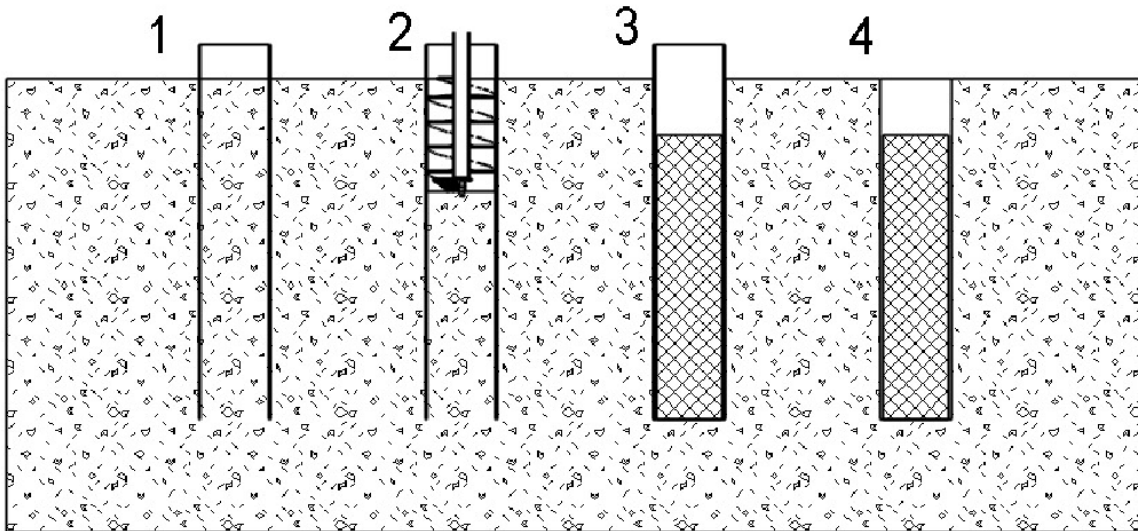
#### 4.2.2 Reaktiiviset seinämät

Tässä kappaleessa tarkastellaan lähemmin Movax-maaporan käyttösovellutuksia reaktiivisten seinämien asentamiseksi. Maaporaa ja SG-sarjan vibroja vaihtoleukoineen voidaan hyödyntää myös yhdessä. Maaporan teknisiä ominaisuuksia on esitetty liitteessä 8.

Maaporaa ja putkipaaluja voidaan hyödyntää reaktiivisen materiaalin asentamiseksi maaperään. Putkipaalujen asentamiseen maaperään voidaan puolestaan käyttää SG-sarjan tuotteita. Kuvassa 17 on esitetty periaatekuva maaporan ja putkipaalujen hyödyntämisestä reaktiivisten seinämien asentamiseksi. Asennusmenetelmässä voidaan soveltaa perinteisiä maanrakennuskeinoja sekä aiemmin toteutettujen seinämien asennusperiaatteita. Esimerkki aiemmin käytetystä asennusmenetelmästä löytyy liitteestä 6, samoin Oriveden case-esimerkissä esitellään eräs aiemmin käytetty menetelmä, jota voidaan soveltaa putkipaalujen ja maaporan kanssa. Kun reaktiivisen seinämän paikka on määritelty, asennettaisiin siihen putkipaaluja kentäksi tai vierekkäin seinämärakenteeksi joko täryttämällä tai iskemällä. Tämän jälkeen jokainen putkipaalu porattaisiin tarvittaessa maaporalla sisältä tyhjäksi ennen reaktiivisen materiaalin asentamista. Putkipaalujen poraaminen tyhjäksi ja reaktiivisen materiaalin asentaminen voidaan tapauskohtaisesti mahdollisesti yhdistää, jolloin voidaan vähentää yksi työvaihe asennusvaiheessa, mikä puolestaan nopeuttaa asennusvaihetta sekä lisää kustannustehokkuutta. Seuraavassa vaiheessa tyhjät putkipaalut täytettäisiin kohteeseen parhaiten soveltuvalla reaktiivisella materiaalilla. Kun reaktiivinen materiaali on saatu laitettua putkipaalun sisälle, voidaan lopuksi putkipaalu vetää maaperästä pois, jolloin jäljelle jää vain vettä läpäisevä reaktiivinen materiaali. Reaktiivisen materiaalin tiivistämiseksi ja tasaamiseksi voidaan käyttää SG-sarjan tuotteiden vibra-ominaisuutta. Putkipaaluin ja maaporan avulla toteutettava seinämärakenne on sovellettavissa sekä lietemäiselle että kiinteälle materiaalille. Maaporan ja putkipaalun avulla voidaan suorittaa myös ohjausseinämien tekoa osana reaktiivista kunnostusmenetelmää. (Molfetta & Sethi 2006, 361-369; Kivimäki et al. 2009, 29; Kaivanto-ohje 2014, 48, 66; Swords & Strange 2006, 204-211; Pyy et al. 2013, 62-63)

Movax Oy on testannut tuotteiden soveltuvuutta maassa in-situ -menetelmällä toteutettaviin betonipaaluihin. Testauksessa käytettiin maaporaa sekä SP-sarjan pontin- ja paaluniskijää.

Tyhjän putkipaalun sisään valettiin betonia ja heti valun jälkeen putkipaalu poistettiin. Menetelmän avulla voidaan toteuttaa 12-15 metriä korkeita betonipilareita maaperään (kuvat 18 ja 19).



Kuva 17. Periaatekuva reaktiivisen seinämän asentamisesta käytettäessä putkipaaluja ja maaporaa.

Vaihe 1: Putkipaalun iskeminen/täryttäminen maahan Movax SG-sarjan tuotteella.

(Vaihe 2: Putkipaalun poraaminen tyhjäksi Movax-maaporan avulla.)

Vaihe 3: Putkipaalun täyttäminen reaktiivisella materiaalilla.

Vaihe 4: Putkipaalun poistaminen maaperästä Movax SG-sarjan tuotteella.



Kuva 18. Putkipaalun poraaminen maaporalla tyhjäksi. (Movax Oy)



Kuva 19. Betonipilarin valua putkipaalun sisälle (Movax Oy)

Toinen sovellusvaihtoehto on maaporan käyttäminen yhdessä mahdollisen injektointilaitteiston kanssa, jolloin voitaisiin soveltaa olemassa olevia syvästabilointitekniikoita reaktiivisen materiaalin asentamiseksi. Mahdollisuuksien mukaan myös vettä läpäisemättömät ohjausseinämät olisivat asennettavissa kyseisellä menetelmällä. Kyseinen menetelmä soveltuu ainoastaan lietemäiselle materiaalille, joka on suihkutettavissa paineella maaperään injektointilaitteiston avulla. (Kaivanto-ohje 2014, 54, 55; Pyy et al. 2013, 62-63; Ewans 2005, 199-204; Swords & Strange 2006, 204-211)

### **4.3 Case – Orivesi**

Suomessa, Orivedellä, on toteutettu reaktiivisin seinämin ja ohjausseinämin toteutettava pohjaveden kunnostushanke. Kyseinen hanke on toiminut koekohteena, jossa on tutkittu erilaisten reaktiivisten materiaalien soveltuvuutta Suomen maaperäolosuhteissa. Pääosin tutkimus on keskittynyt nimenomaan reaktiivisten materiaalien tutkimiseen kohteessa, eikä seinämän vaihtoehtoihin asentamismenetelmiin ole otettu juurikaan kantaa tutkimuksessa. Tutkimuskohteena ollut pohjavesi on vuosien saatossa pilaantunut klooratuilla liuottimilla. Itse seinämärakenteen toteutuksesta vastasi silloinen Tieliikelaitos, nykyinen Destia Oy. (Kivimäki et al. 2009, 14-16, )

Usein reaktiivisen seinämän paikan valintaan vaikuttavat hydrogeologian ja geologian lisäksi muita huomioon otettavia asioita kuten Oriveden tapauksesta voidaan päätellä. Orivedellä seinämän asennuspaikan valintaan vaikuttivat lisäksi yleiset vesijohtoverkostot, sähkölinjat, yleiset tiet ja kadut sekä yksityisten henkilöiden omistamat kiinteistöt. Myös nämä seikat tulee ottaa huomioon eri menetelmää valittaessa. Vähäinen tilankäytön mahdollisuus kaivettuja maamassoja läjittäessä oli eräs tärkeä huomioon otettava seikka suunniteltaessa Orivedellä reaktiivisen seinämän asentamista ja siihen liittyviä rakennustöitä. Myös Orivedellä, kuten useissa muissakin pohjaveden pilaantumistapauksissa ongelmana ovat usein paksut maakerrokset. Kyseisellä alueella, johon seinämät valittiin asennettaviksi, maakerrosten paksuus enimmillään oli noin 15 metriä. (Kivimäki et al. 2009, 23; Pohjaveden puhdistaminen

reaktiivisella seinämällä 2009, 23; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 132; Fleri & Whetstone 2006, 441-456; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Oriveden kohteessa reaktiivisen seinämän asentamiseksi käytettiin perinteisiä maanrakennustekniikoita. Kohteessa tehtiin avokaivanto pohjaveden pinnantasoon asti. Laajuudeltaan kaivanto oli 2 600 m<sup>2</sup> ja kaivettuja maamassoja noin 16 500 m<sup>3</sup>. Pohjaveden pinnantason alapuoliset kaivannot tehtiin tuettuna kaivantona teräsponttiseinämien avulla. Myös reaktiivisen seinämän asentamiseen käytettiin teräsponttiseinämin tuettua kaivantoa. Teräsponttiseinämien avulla rajattiin alue, johon reaktiivinen materiaali asennettiin. Tämän jälkeen rajatun alueen sisäpuolelta kaivettiin maa pois ja tilalle asennettiin reaktiivinen materiaali, tässä tapauksessa teollisuuden sivutuotteena syntyvää rautalastua. Reaktiivisen materiaalin ollessa kiinteätä rajaa se pois injektointimenetelmät sekä syvästabilointimenetelmät, jotka soveltuvat ainoastaan lietemäisten materiaalien asentamiseen. Materiaalin asentamisen jälkeen osa teräsponteista voitiin poistaa. Kuvassa 20 on esitetty Oriveden kunnostushankkeen eri työvaiheita. Kuva havainnollistaa hyvin tarvittavan tilan määrän sekä kuinka isosta työmaasta Orivedellä oli kyse. (Kivimäki et al. 2009, 29-30; Pyy et al. 2013; Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)





Kuva 28. Avokaivanto (PIR).



Kuva 29. Ponttiseinien tekoa (PIR).



Kuva 30. Tuettu kaivanto (Suomen ympäristökeskus).



Kuva 31. Kallioperän injektointi (PIR).

Kuva 20. Oriveden kunnostushankkeen työmaakuvia. (Kivimäki et al. 2009, 29)



Tässä työssä case-esimerkkiä tarkasteltaessa ei oteta kantaa reaktiivisen seinämän muihin mahdollisiin asennuspaikkoihin eikä hydrogeologisiin olosuhteisiin, vaan esitetään esimerkinomaisesti ja pelkistetysti vaihtoehtoinen asennustapa.

Vaihtoehtona kyseisen hankkeen rakennustöille voitaisiin soveltaa Movaxin maaporaa sekä Movax SG-sarjan paaluniskijää putkipaaluille. Periaatteessa tekniikka on sama kuin ponttiseinämiä käytettäessä, haluttu alue rajataan putkipaaluin ja sen jälkeen putkipaalut porataan tyhjiksi nykyisestä maaperästä ja tilalle asennetaan reaktiivinen materiaali. Tämän jälkeen putkipaalut voidaan poistaa, minkä seurauksena maaperään ei jää pysyviä rakenteita. Myös kalliorakojen injektointi voitaisiin suorittaa soveltaen kyseistä menetelmää. Orivedellä kyseinen työ tehtiin ponttiseinämiä avulla.

Kuten edellä on esitetty Movax-tuotteiden kanssa työskentely vähentää myös tilantarvetta ja kaivantoja voidaan mahdollisuuksien mukaan välttää. Esimerkiksi Oriveden tapauksessa seinämän asentamiskohtaan vaikutti paljon työmaan tilantarve. Movax-tuotteiden avulla kyseistä tilantarvetta voitaisiin vähentää, sillä maamassoja ei olisi tarvinnut kaivaa niin mittavissa määrin. Lisäksi kyseisessä hankkeessa todettiin, että kaivanto oli luiskattu, mikä heikensi myös työntekijöiden työturvallisuutta sortumavaaran vuoksi. Myös tätä riskiä voitaisiin pienentää tekemällä työ toisin.

#### **4.4 Markkinoinnin ja myynnin tukeminen**

Yhtenä tämän työn tarkoituksista oli Movax-tuotteiden markkinoinnin ja myynnin tukeminen. Työn pohjalta voidaan koota yhteenvetona markkinointi- ja myyntimateriaaliin myös ympäristönsuojeluun liittyviä näkökohtia. Lisäksi myynnin ja markkinoinnin tukemiseksi voitaisiin lisätä asiakkaiden kanssa käytävää yhteistyötä ja yhdeksi uudeksi osa-alueeksi määrittää myös ympäristönäkökohdan. Tätä kautta saataisiin enemmän tietoa Movax-tuotteilla toteutetuista hankkeista. Ongelmana tähän asti Movax-tuotteilla toteutetuista hankkeista on ollut tiedon dokumentoinnin puutteellisuus ja hajanaisuus. Tiedon paremman saatavuuden varmistamiseksi yrityksen sisällä, voitaisiin luoda kyselypohja asiakkaille, missä kyseltäisiin asiakastyytyväisyyttä, kehityskohteita ja kuinka monipuolisissa hankkeissa he ovat Movax-tuotteitaan käyttäneet.

Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa mainittu lainsäädännön tiukentuminen ja jatkossa entistä parempi riskienhallinta tuovat mukanaan ennakoivan toiminnan, jolla riski voidaan joko kokonaan saada hallintaan tai ainakin huomattavasti pienemmäksi. Myös erilaisiin ennakoivaan toimintaan perustuvaan ympäristönsuojeluun voidaan tarjota erilaisia ratkaisuja Movax-tuotteilla toteutettuina. Tällaisista tapauksista löytyy myös case-esimerkkejä, esimerkiksi tässä tutkimuksessa useasti esillä ollut Venäjällä toteutettu suojaseinämä öljynjalostamon läheisyydessä estämässä öljyhiilivetyjen kulkeutumisen viereiseen jokeen. Lisäämällä kyseistä tietoa markkinointi- ja koulutusmateriaaliin myös urakoitsijat voivat liittää niitä omiin tarjouksiinsa tarjouskilpailutilanteessa ja mainostamalla omaa toimintaansa ja kalustoaan, mitä ja miten he voivat niitä hyödyntää. (YSL 10§, 14§, 17§, 133§; Rodrigues et al. 2009, 214-225; EU 2006/118/EY)

#### **4.5 Lisäarvo asiakkaille**

Case-Oriveden tapauksessa ponttiseinämän asentamiseen maaperään käytettiin Movax paalun- ja pontiniskijää. Mahdollisesti Movaxin tuotekehityksen, urakoitsijan ja suunnittelijan yhteistyön kautta voitaisiin pohtia kustannustehokkaampi, vähemmän häiriötä aiheuttava ja nopeampi menetelmä reaktiivisen seinämämateriaalin asentamiseksi. Nykyinen markkinointi ja myynnin tukeminen keskittyy lähinnä perinteiseen maanrakentamiseen ja muut sovelluskohteet ovat jääneet taka-alalle.

Yhtenä tämän tutkimuksen tarkoituksista oli luoda myös lisätietoa ja mahdollista koulutusmateriaalipohjaa urakoitsijoille, jotka käyttävät Movax-tuotteita. Koska yrityksen ja urakoitsijoiden välillä on ollut jo aiemmin yhteistyötä ja tuotekehityksellä pyritään vastaamaan myös asiakkaiden toiveisiin, voitaisiin he ottaa mukaan keskusteluun myös mietittäessä eri sovelluskohteita. Asiakkaille suunnattu tieto on pääosin painottunut teknisiin ominaisuuksiin sekä case-kohteiden lyhyeen esittelyyn. Asiakkaat hyötyvät myös uudesta lisätiedosta vastatessaan eri tarjouskilpailuihin, joissa he voivat esittää tässä tutkimuksessa tuotuja Movax-tuotteiden ympäristönäkökohtia esille.

## 4.6 Yleistettävissä olevat tulokset

Tutkimuksen tulokset toimivat hyvänä pohjana pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeita suunniteltaessa ja arvioitaessa, erityisesti reaktiivisten seinämien asennustapoja vertailtaessa ja pohdittaessa sekä ympäristöllisesti, laadullisesti että taloudellisesti kestävää ratkaisua. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää sekä yrityksen viestinnässä että urakoitsijoita koulutettaessa ja tarjottaessa heille lisätietoa Movax-tuotteiden eri käyttömahdollisuuksista. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää myös kunnostushankkeiden eri toimijoiden välisen yhteistyön parantamiseksi. Varsinkin urakoitsijan ja suunnittelijan välinen yhteistyö on tärkeässä asemassa kunnostushanketta toteutettaessa.

Nykyiset kunnostushankkeet koskevat usein vuosien jopa vuosikymmenten saatossa tapahtunutta pilaantuneisuutta. Nykyiset kunnostushankkeet voidaan katsoa olevan seurausta ihmisten aiheuttamasta toiminnasta. Tulevaisuudessa, kun lainsäädännöllä pyritään estämään ympäristön pilaantuneisuutta, myös kunnostushankkeiden näkökulma muuttuu entistä enemmän ennalta ehkäiseväksi toiminnaksi, jolloin esimerkiksi tämän tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa ympäristönsuojelun muista näkökulmista esimerkiksi ennakoivasta riskinhallinnasta. (Pyy et al, 2013, 5, 6, 8, 32; Liu et al. 2015, 83-90; YSL 10§, 14§, 17§, 133§)

## **5 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että Movax-tuotteilla on useita eri sovelluskohteita pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeissa. Yrityksen tuotteita voidaan hyödyntää sekä maaperän stabiloinnissa eri menetelmin, reaktiivisten seinämien asennukseen sekä reaktiivisten seinämärakenteiden ohjauseinämien toteuttamiseen. Tässä tutkimuksessa keskityttiin pääosin reaktiivisten seinämien erilaisiin toteutusvaihtoehtoihin. Työn tuloksia voidaan hyödyntää yrityksen myynnissä ja markkinoinnissa sekä sisäisesti että ulkoisesti.

Tutkimuksessa esitetyn menetelmän avulla pohjavesien kunnostushankkeen asennuksen aikaisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia voitaisiin vähentää verrattuna aiemmin käytössä olleisiin menetelmiin. Tämä puolestaan tukisi myös kestävän kehityksen periaatteiden ottamista huomioon asennustapaa valittaessa.

### **5.1 Vertailu ja yhtymäkohdat aiempaan tutkimukseen**

Tutkimuksessa käsitellään jo tunnistettujen ja olemassa olevien riskien hallintaa ja poistamista. Koska reaktiivisten seinämien käyttö pilaantuneen pohjaveden kunnostusmenetelmänä ei Suomessa ole kovinkaan yleistä, pohditaan mahdollisuuksia hyödyntää niitä Suomessa ja Suomen kaltaisissa maaperäolosuhteissa. Suomessa reaktiiviset seinämät ovat jääneet vielä vähäiselle huomiolle. Osasyyn tähän on varmasti tiedon ja kokemuksen puute. Kuten aiemmin tutkimuksessa on todettu, kansainvälisesti in-situ -tekniikat kiinnostavat yhä enemmän ja niiden kehittämiseksi ja tutkimiseksi panostetaan paljon. Suomessa tämänkaltaisen tutkimus- ja kehitystyö on jäänyt vähemmälle tai ainakaan siitä ei ole tietoa löydettävissä helposti tieteellisenä julkaisuna. Suomessa luotetaan enemmän vanhoihin hyviksi havaittuihin menetelmiin, joista on paljon kokemusta saatavilla. Turhia riskejä ympäristön pilaantumiselle ja vaaran aiheuttamiseksi ei oteta uusien menetelmien testaamiseksi. Vaikka lainsäädännöllä pyritäänkin ehkäisemään uusia ympäristövahinkoja, hidastaa se samalla myös uusien menetelmien kehittämistä. Halutaan varmistua kaikin keinoin siitä, että uutta pilaantumista ei pääse tapahtumaan ja usein uusien menetelmien kehittäminen ja hyväksyminen vaativat taustalleen paljon tutkimustietoa ja resursseja. Uudet menetelmät

täytyisi käytännössä osoittaa täysin luotettaviksi ilman minkäänlaisia riskejä. Uusien menetelmien kehittämiseksi tarvittaisiin paljon enemmän yhteistyötä kunnostushankkeiden eri toimijoiden välillä, erityisesti viranomaisten, suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kesken, jotta epäkohtia voitaisiin poistaa liittyen uusiin ja vaihtoehtoisin kunnostusmenetelmiin. Kuitenkin lainsäädännössä on myös määritelty, että maaperän ja pohjaveden kunnostaminen tulisi toteuttaa parasta käytettävää tekniikkaa hyödyntämällä, joka samalla tukisi kestävä kehityksen periaatteita. (Outi Pyy et al, 2013,5-7; Rodrigues S.M. et al. 2009, 214-225; EU 2006/118/EY; Juwarkar et al 2010, 215-288; Wang 2015, 46-52; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 15, 131; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Liu et al. 2015,83-90; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Kansainvälisesti löydetyn tiedon perusteella voidaan todeta, että tutkimus- ja kehitystyö perustuu reaktiivisten materiaalien tutkimiseen. Myös kansainvälisesti uusia tapoja asentaa tai kehittää asentamismenetelmiä ei ole tutkittu läheskään niin paljon kuin itse kunnostustapahtumaa ja erilaisten reaktiivisten materiaalien soveltuvuutta erilaisille aineille ja yhdisteille erilaisissa maaperäolosuhteissa. Mahdollisesti yksi syy tähän on se, että halutaan ensin löytää soveltuva materiaali, millä kunnostamisen voisi toteuttaa ja vasta tämän jälkeen aletaan pohtia, miten itse asennustyö maaperään voitaisiin tehdä. Tästä voitaisiin päätellä, että yhteistyön lisääminen eri toimijoiden välillä myös kansainvälisesti toisi uusia ideoita ja ratkaisuja nykyisille markkinoille. Koska asennusmenetelmiä ei ole tutkittu ja kehitetty yhtä paljon kuin itse reaktiivisia materiaaleja voi se aiheuttaa myös ongelmia kunnostusta suunniteltaessa ja ongelmaksi muodostuu reaktiivisen materiaalin asentaminen maaperään kun eri vaihtoehtoja ei ole tutkittu ja kehitetty. Olemassa olevat menetelmät eivät välttämättä aina ole se kustannustehokkain ratkaisu. (Juwarkar et al 2010, 215-288; Wang 2015, 46-52; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta 2014, 15, 131; Pyy et al. 2013, 7; Mark & Lo 2011, 10148-10154; Liu et al. 2015, 83-90; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Kunnostushankkeille ei ole määritelty parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Toisaalta sellainen on hankala yleistää yleispäteväksi menetelmäksi, koska kunnostus mietitään aina tapauskohtaisesti johtuen alueen maaperästä ja maaperässä olevasta pilaantuneisuudesta sekä hydrogeologiasta sekä hankkeeseen liittyvistä eri toimijoista. Kuitenkin tällaista parhaan

käyttökelpoisen tekniikan ajatusta voitaisiin käyttää suunniteltaessa ja pohdittaessa eri toimijoiden kesken uutta tapaa tehdä työ. Jokaisessa hankkeessa kuitenkin voidaan arvioida ja ottaa huomioon parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan liittyvät kriteerit: jätteiden ja niiden määrän vähentäminen, käytettävien aineiden ja jätteiden uudelleenkäytön mahdollisuus, päästöjen vaikutus, energiatehokkuus, riskien ja onnettomuusvaarojen tunnistaminen ja ehkäiseminen sekä vaikutukset ympäristöön ja tekniikan kehitys. (YSL 5§; Pilaantuneen maan alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta, 132; Fleri & Whetstone 2006, 441-456; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

Lisäksi on huomioitava lainsäädännön jatkuva kehittyminen ja sen tiukentuminen ja yleisen tiedon lisääntyminen ihmisille ja ympäristölle haitallisista aineista ja yhdisteistä. Lisäksi lainsäädännöllä pyritään ohjaamaan toimintaan jatkuvasti yhä enemmän ennakoivaan toimintaan ja ympäristöriskien parempaan hallintaan ja seurantaan. Voidaan siis olettaa, että tulevaisuudessa vastaavia sovellutuksia tullaan käyttämään enemmän myös ennakoivaan toimintaan eikä ainoastaan vahingon sattuesssa sen korjaamiseen. (YSL 10§, 14§, 17§, 133§)

Varsinkin Suomessa tähän asti päähuomio on ollut pilaantuneiden maamassojen kunnostuksessa, joka on yksinkertaista kunnostaa massanvaihdolla. Niinkään pohjavesien suojeluun ja kunnostamiseen ei ole kiinnitetty huomiota, eikä tutkimustietoa aiheeseen liittyen ole saatavilla. Yksi syy on varmasti se, että Suomessa on melko hyvät pohjavesivarannot ja pulaa puhtaasta ja hyvälaatuisesta juomavedestä ei ole. Kuitenkin riskinä on, että pilaantuneisuus saattaa levitä hyvinkin laajalle alueelle pohjavesien virtauksen mukana. Lainsäädännön tiukentuessa on otettava huomioon myös pohjavesien pilaantuneisuuden kunnostaminen. Kansainvälisesti tilanne on toinen puhtaan juomaveden saatavuuden ja varmistamisen kannalta. Tämän takia pohjavesien kunnostaminen kiinnostaa kansainvälisesti. (Rodrigues S.M. et al. 2009, 214-225; EU 2006/118/EY; Outi Pyy et al, 2013, 5, 6, 8, 32; Liu et al. 2015, 83-90; Megdal et al. 2015, 677; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

## 5.2 Objektiivisuus

Työn objektiivisuudesta voidaan varmistua eri kunnostusmenetelmien ja asennustapojen SWOT-analyyseillä, johon on kerätty sekä menetelmien etuja että heikkouksia. Tutkimuksen objektiivisuudesta sekä luotettavuudesta voidaan varmistua myös tutkimusmetodeissa mainitun triangulaation avulla. Tietoa on vahvistettu kolmesta eri näkökulmasta ja sitä on vertailtu keskenään. Sekä case-esimerkeistä että löydetyistä kirjallisuustiedosta tehdyistä havainnoista voidaan päätellä sama tietokuilu asennustapojen vertailemiseksi. Case-esimerkeissä esiteltiin pääosin kunnostusmenetelmää ja lyhyesti esiteltiin asennustapa samoin kuin kirjallisuudesta löydetyistä tiedosta. Kirjallisuudesta löydetyistä tiedosta löytyi vielä huonommin asennustapa, vaikkakin siellä esitettiin periaate, jolla reaktiivinen seinämä toimii maaperässä.

## 5.3 Reliabiliteetti ja validiteetti

Tutkimuksessa selvitettiin Movax-tuotteiden käyttömahdollisuuksia ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta. Taustatutkimusta tehtäessä havaittiin, että ympäristösovellutuksia on useita. Tuotteita on jo hyödynnetty ympäristönsuojelun parissa, mutta vähäisessä määrin tai ainakaan niitä ei ole kovin paljoa tiedossa. Tutkimuksessa haluttiin lähteä selvittämään myös muita mahdollisuuksia ja voitaisiinko tuotteita käyttää vielä jossakin muussa ympäristösovellutuksessa. Tuotteiden käyttömahdollisuuksia voidaan soveltaa ympäristörakentamisen parissa samoin kuin niitä on aiemmin käytetty perinteisessä maanrakennuksessa. Tutkimuksen pariin valittiin kuitenkin yksi menetelmä, jota tarkasteltiin enemmän.

Työssä keskityttiin ainoastaan reaktiivisten seinämien vaihtoehtoiseen asennustapaan, eikä tässä tutkimuksessa oteta kantaa soveltuvaan reaktiivisen materiaaliin tai muihin kunnostushankkeen valintaan vaikuttaviin seikkoihin. Lähtökohtaisesti on ajateltu, että kunnostusmenetelmäksi on valittu reaktiiviset seinämät ja pohdittu sen järkevää ja kustannustehokasta toteuttamista, johon kaikki hankkeen osapuolet olisivat tyytyväisiä. Kyseisessä asennusmenetelmässä voitaisiin käyttää soveltaen yrityksen tuotteita perinteisen maanrakennuksen keinoin.

## 5.4 Herkkyystarkastelu

Toteutettaessa kunnostushanke tutkimuksessa esitetyllä menetelmällä ratkaisevat kustannustehokkuuteen oleellisesti kohteen maaperä ja geologia. Lohkareisessa maaperässä menetelmän käyttäminen voi olla hankalaa halutun lopputuloksen saavuttamiseksi, mikä puolestaan lisää asentamiskustannuksia. Alueen hydrogeologia, maaperä ja asennuksen vaikutukset lähiympäristöön esimerkiksi tärinän osalta ovat avainasemassa arvioitaessa toteutustavan kustannustehokkuutta. Lisäksi huomioon on otettava myös kunnostusalueen muu yhdyskuntarakenne, jolla saattaa olla merkitystä työmaan toteutukseen. Tällaisilla seikoilla on suora vaikutus kustannustehokkuuteen, mikä taas vaikuttaa päätöksentekoon, mikä asennus- ja toteutustapa kunnostuskohteeseen valitaan. (Kukkamäki, 685; Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta, 132; Fleri & Whetstone 2006, 441-456; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156; Kivimäki et al. 2009, 23)

Tutkimuksessa on esitetty eri menetelmien hyviä ja huonoja puolia eri menetelmille, joiden perusteella voidaan arvioida kunnostusmenetelmän soveltuvuutta kohteessa. Usein merkittävämmässä roolissa ovat muut kunnostushanketta määräävät tekijät kuin tässä tutkimuksessa esitetyt tulokset, kuten alueen hydrogeologia, pilaantuneisuutta aiheuttaneet aineet ja yhdisteet sekä alueen maankäytön suunnittelu. Tutkimuksen tuloksilla on kustannustehokkuuden näkökulmasta merkitystä silloin kun eri reaktiivisten seinämien asennusvaihtoehtoja vertaillaan keskenään, tällöin myös asennusmenetelmän valinnalla voi olla merkittävä rooli koko kunnostushankkeen kustannustehokkuuteen.

## 5.5 Avaintulokset

Movax-tuotteita voidaan hyödyntää reaktiivisten seinämärakenteiden asennusvaiheessa. Movax-tuotteita on hyödynnetty perinteisessä maanrakennuksessa, josta on runsaasti kokemusta eri puolilta maailmaa. Tätä kokemusta voidaan hyödyntää soveltamalla tuotteita myös ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta. Lisäksi Movax-tuotteilla työskenneltäessä voidaan vaikuttaa kunnostushankkeen asennusten aikaisiin ympäristövaikutuksiin ja tukea näin kestävä kehityksen periaatteiden ja lainsäädännön asettamien vaatimusten täyttämistä. Soveltaen Oriveden case-tapausta reaktiivisen rautamateriaalin asentamiseksi maaperään sekä



liitteessä 6 esitettyä menetelmää voidaan reaktiivisten seinämien asentamisessa hyödyntää maaporaa ja putkipaaluja reaktiivisen materiaalin asentamiseksi maaperään.

Lisäksi työn tarkoituksena oli tuottaa materiaalia liittyen tuotteiden ympäristönäkökulmaan sekä yrityksen sisäiseen käyttöön että asiakkaille. Työssä esitetyistä tuloksista voidaan tehdä koonti, joka on käytettävissä esimerkiksi myynti ja markkinointitarkoituksessa.

Vertailtaessa tutkittua asennusmenetelmää muihin menetelmiin, voidaan todeta, että sitä voidaan hyödyntää myös kiinteille reaktiivisille materiaaleille. Useat muut menetelmät esimerkiksi suihkuinjektointi ja syvästabilointi soveltuvat ainoastaan lietemäisille materiaaleille. Kuitenkin materiaalivaihtoehdoissa on myös usein kiinteitä materiaaleja, jolloin ei voida hyödyntää esimerkiksi suihkuinjektointia asennusmenetelmänä. Kiinteät materiaalit ovat asennettavissa perinteisten maanrakennustekniikoiden keinoin kaivantoinen. Tutkimuksessa esitetyn menetelmän avulla voitaisiin mahdollisesti vähentää tarvittavien kaivantojen määrää. Lisäksi tekniikasta on jo kokemuksia muissa sovellutuskohteissa maanrakentamisen puolella. Tätä tietoa ja taitoa voitaisiin soveltaa hyvin asennettaessa reaktiivisia seinämiä. (Kivimäki et al. 2009, 14)

Toisaalta asennustavan valintaan vaikuttaa huomattavasti myös alueen maaperäolosuhteet eikä kyseinen menetelmä välttämättä sovellu kaikkiin tilanteisiin. Kuten aiemmin on todettu asennus- ja kunnostusvaihtoehtoja ei voi esittää yleispätevällä tavalla. Tärkeää olisi kuitenkin ottaa ehdotettu menetelmä vertailtavaksi muiden menetelmien rinnalle suunnitteluvaiheessa.

Jotta menetelmää ja ideaa voitaisiin jalostaa pidemmälle, olisi keskusteluun ja menetelmän kehittämiseen hyvä ottaa mukaan kunnostushankkeen eri toimijoita, erityisesti suunnittelija ja urakoitsija. Tähänkin asti asiakkaita on pyritty palvelemaan hyvin ja tuotekehityksessä on kuunneltu asiakkaan ajatuksia ja toiveita. Jo olemassa olevaan keskusteluun voitaisiin lisätä ympäristönäkökulma. Ympäristönsuojeluun ja pohjavesien kunnostamiseen liittyviä hankkeita ja projekteja on varmasti, tosin sitä ei ole vielä tähän mennessä huomioitu sen enempää asiakkaille toimitetuissa materiaaleissa tai tuotteiden markkinoinnissa ja myynnissä.

## **5.6 Tulosten uutuusarvo**

Kansainvälisesti on jo hyödynnetty perinteisiin maanrakennuskeinoihin liittyviä kunnostustekniikoita. Käytetyt menetelmät kuitenkin tukevat enemmän lietemäisten reaktiivisten materiaalien käytettävyyttä. Tutkimuksessa esitetty tapa asentaa reaktiivisia seinämiä perustuu ajatukseen, että sitä voidaan soveltaa sekä lietemäisille että kiinteille reaktiivisille materiaaleille. Tuotettu tieto on sovellettu aiemmin käytössä olleista menetelmistä ja tavoista asentaa reaktiivisia seinämiä.

## **5.7 Tulosten yleistettävyyden ja hyödynnettävyys**

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää yleisesti Movax-tuotteiden markkinoinnissa ja myynnissä. Urakoitsijoille voidaan markkinoida erilaista tapaa toteuttaa työ Movaxin avulla. Urakoitsijat voivat hyödyntää saamaansa lisätietoa Movax-tuotteiden käytettävyydestä urakkasopimusten kilpailutilanteissa.

Tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan myös yleisesti hyödyntää ja käyttää vertailtaessa eri kunnostusmenetelmien hyviä ja huonoja puolia urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kesken arvioitaessa eri kunnostushankkeiden toteutustapoja sekä niiden ympäristöllisiä, taloudellisia ja teknisiä ominaisuuksia. Tarkoituksena on ollut koota ja kerätä tietoa, joka olisi helposti hyödynnettävissä ja käytettävissä.

Vaikka tällä hetkellä keskitytään pääosin jo pilaantuneiden alueiden kunnostamiseen, voidaan kuitenkin ympäristölainsäädännön tiukentumisen myötä ajatella jatkossa, että eri menetelmiä voidaan soveltaa tulevaisuudessa entistä enemmän myös ennalta ehkäisevään riskien hallintaan eikä ainoastaan jo tapahtuneen vahingon hallitsemiseen ja korjaamiseen.

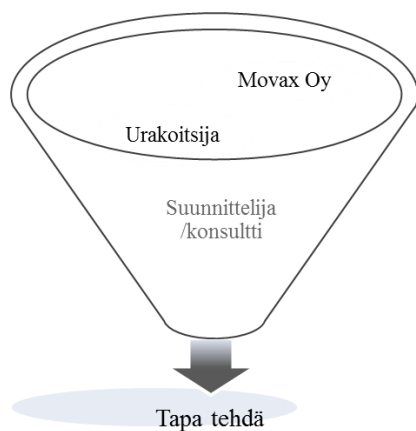
## **5.8 Jatkotutkimusaiheet**

Koska yrityksessä ei ollut aiemmin tehty vastaavanlaista tutkimusta ja varsinkin ympäristönäkökohta on jäänyt selkeästi vähemmälle huomiolle kuin perinteinen maanrakentaminen, oli rajausten tekeminen erittäin tärkeää. Selkeää työn aihetta ei ollut valmiina työtä aloitettaessa ja sitä lähdettiin yhdessä pohtimaan ja rajauksia tarkennettiin työn edetessä. Tässä kappaleessa on esitetty jatkotutkimusaiheita, jotka jäivät tämän tutkimuksen rajausten ulkopuolelle.

Työn tarkoituksena oli koota ja löytää Movax-tuotteille mahdollisia käyttö- ja sovelluskohteita ympäristönsuojelun parissa. Koska aiempaa tutkimusta tai koottua materiaali aiheeseen liittyen ei yrityksessä ollut, painottui tämä työ siksi kirjallisuustutkimukseksi.

Tämä tutkimus keskittyi tarkemmin reaktiivisten seinämien asentamisvaihtoehtoihin yrityksen tuotteiden avulla. Työn rajausten ulkopuolelle jätettiin esimerkiksi tässä työssä esitetyt erilaiset stabilointitekniikat. Myös eri stabilointitekniikoiden toteutusvaihtoehtoja yrityksen tuotteiden avulla voitaisiin tutkia lisää ja syventää näin tietoa. Myös mahdollisuudet injektointitekniikoiden soveltamiseen jouduttiin rajaamaan tämän työn ulkopuolelle. Myös injektointitekniikoilla saattaisi olla erilaisia käyttö- ja sovelluskohteita, joita voisi tutkia lisää. Itse tämän tutkimuksen tuloksiin liittyviä jatkotutkimusaiheita voisivat olla esimerkiksi konkreettinen pilottikohde, jossa asentamismenetelmää voitaisiin soveltaa ja kokeilla käytännössä ja tehdä erilaisia kokeita ja testejä. Tämän pohjalta voitaisiin tehdä myös laskelmia todellisesta kustannustehokkuudesta verrattuna muihin menetelmiin.

Pilottihankkeeseen tarvittaisiin mukaan myös urakoitsija sekä suunnittelija ja menetelmää voitaisiin lähteä kehittämään ja parantelemaan yhteistyössä, jonka tarkoituksena olisi tuottaa tietoa ja osaamista (kuva 21).



Kuva 21. Kunnostushankkeiden eri toimijoiden välisen yhteistyön tulos.

Ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta puolestaan yhteistyö eri viranomaisten ja suunnittelijoiden kanssa edesauttaisivat jonkin menetelmän suositeltavuutta Suomen olosuhteissa. Ideaa kannattaisi lähteä työstämään esimerkiksi ulkomailta, joissa reaktiivisia seinämiä on jo kokeiltu ja sieltä saataisiin myös yritykselle konkreettista osaamista ja referenssejä kyseisestä asentamistavasta. Tiedon puute on yksi merkittävä tekijä, joka vaikuttaa uusien menetelmien kehittämiseen. Kokemukset muualta edesauttavat menetelmän tuomista ja kehittämistä myös Suomen markkinoilla. Yhteistyön lisäämiseksi ja parantamiseksi voitaisiin tehdä esimerkiksi asiakaskysely aiheeseen liittyen. Lähtökohtaisesti kysely suoritettaisiin aluksi nykyisille Movaxin asiakkaille ja tarvittaessa myöhemmin kyselyä voitaisiin laajentaa. Lisäksi kyselyllä voitaisiin tavoitella myös pilaantuneiden maiden kunnostukseen erikoistuneita yrityksiä ja heidän mielenkiintoaan kyseistä menetelmää kohtaan. Kyselyiden tavoitteena on lähteä kehittämään yhteistyössä kunnostushankkeiden eri toimijoiden kanssa toimivaa ratkaisua reaktiivisten seinämien asennusmenetelmäksi, joka olisi sekä kustannustehokas että ottaisi huomioon myös entistä paremmin asennuksen aikaiset muut ympäristövaikutukset.

Parantamalla entisestään asiakasyhteistyötä, voitaisiin kohteista saada enemmän tietoa ja oppia niistä tulevaisuutta ajatellen. Esimerkiksi tällä hetkellä asiakasyhteistyö on hyvää, mutta se on enemmän tekniikkapainotteista, myös muita näkökulmia voitaisiin liittää yhteistyöhön mukaan ja näitä erilaisia näkökulmia voitaisiin myös aluksi selvittää asiakaskyselyn avulla. Asiakkailta olisi hyvä saada enemmän tietoa minkälaisissa hankkeissa he ovat hyödyntäneet Movax-tuotteita ja tätä kautta saataisiin lisää tietoa tuotteiden hyödynnettävyydestä, jota puolestaan voitaisiin käyttää myös markkinoinnissa ja tuotteiden myynnissä apuna.

## 6 YHTEENVETO

Movax Oy:llä ei aiemmin ollut käytettävissä koottua tietoa tuotteidensa käytettävyydestä ympäristönsuojelun parissa. Esimerkkitapauksia erilaisista ympäristönsuojeluun tarkoitetuista hankkeista on kuitenkin toteutettu yrityksen tuotteiden avulla. Tieto tuotteiden käytettävyydestä ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta on kuitenkin ollut hajanaista ja hankalasti käytettävissä.

Tutkimuksessa lähdettiin tutkimaan tuotteiden soveltuvuutta pilaantuneiden maa-alueiden ja pohjavesien kunnostushankkeisiin. Tutkittavien kunnostusmenetelmien joukosta valittiin menetelmät, jotka toteutetaan paikan päällä maaperässä. Kyseisten kunnostusmenetelmien toteutus- ja asennusvaiheissa käytetään perinteisiä maanrakennustekniikoita, joissa voidaan hyödyntää yrityksen tuotteita. Työssä pohdittiin eri kunnostusmenetelmien hyviä ja huonoja puolia, tutkittiin lainsäädännön ja eri kunnostusmenetelmien kehittymistä ja näiden pohjalta pohdittiin uusia liiketoimintamahdollisuuksia yrityksen tuotteille.

Tutkimustulosten osalta voidaan todeta, että yrityksen tuotteita voidaan hyödyntää erilaisissa pilaantuneiden maaperän ja pohjavesien kunnostushankkeissa. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti yrityksen tuotteiden hyödyntämiseen pohjavesien kunnostushankkeissa, jotka voidaan toteuttaa reaktiivisten seinämien avulla. Tutkimuksen tuloksia voidaan lisäksi hyödyntää suunniteltaessa ja vertailtaessa reaktiivisten seinämien käyttöä ja asentamista pohjaveden kunnostushankkeissa sekä yrityksen tuotteiden markkinoinnissa ja myynnissä.

Yrityksen tuotteilla katsottiin olevan myös muita tässäkin työssä esitettyjä sovelluskohteita maaperän ja pohjavesien kunnostushankkeisiin kuten erilaiset stabilointi- ja injektointitekniikat. Myös näitä vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia voitaisiin tutkia tarkemmin lisää. Lisäksi tietoa reaktiivisten seinämien asentamisesta yrityksen tuotteiden avulla voitaisiin syventää lisää esimerkiksi pilottikohteen avulla.

## LÄHTEET

Burkalovs, J., Kasparinskis R. & Klavins. 2012. Environmental and Climate Technologies: Leaching of contamination from stabilization/solidification remediated soils of different texture. Artikkel. Volume 9, Issue 1, pp. 12-16.

Cundy, A.B., Bardos, R. B., Church, A., Puschnreiter, M., Friesl-Hanl, W., Müller, I., Neu, S., Mench, M., Witters, N. & Vangronsveld, J. 2013. Journal of Environmental Management: Developing principles of sustainability and stakeholders engagement ffo “gentle” remediation approaches: The European contexts. Volume 129, pp. 283-291.

Day, S. R., O’Hannesin, S. & Marsden L. 1999. Journal of Hazardous Materials: Geotechnical techniques for the consruction of reactive barriers. Volume 67, Issue 3, pp. 285-297.

Eskelinen, Karsikas. 2012. Tutkimusmetodiikan perusteet. Koulutus- ja kehittämiskeskus. 227. Julkaisu 12. ISBN 978-952-265-328-4.

EU 2006/118/EY

Evans, C.W. 2005. Stabilisation/Solidification Treatment and Remediation: Advances in S/S for Waste and Contaminated Land: In-situ soil mixing treatment of contaminated soils at Sir John Rogerson’s Quay, Duplin. Konferenssijulkaisu. pp. 199-204.

Fleri, M. A. & Whetstone, G. T. 2006.s. 441-456. Journal of Hazardous Materials: In situ stabilisation/solidification: Project lifecycle. Artikkel, volume 141, issue 2, pp. 441-456.

Georgi, A., Schierz, A., Mackenzie, K. & Kopinke, F.D. 2015. Journal of contaminant hydrology: Colloidal activated carbon for in-situ groundwater remediation – Transport characteristics and adsorption of organic compounds in water-saturated sediment columns. Artikkel. Volume 179, 11 June 2015, Article number 3122, pp. 76-88.

Hämeen Elinkeino-, ympäristö- ja liikennekeskus. Ympäristölupapäätös. Dnro HAMELY/308/2015.

Hämeen Elinkeino-, ympäristö- ja liikennekeskus. Ympäristölupapäätös. Dnro HAMELY/166/07.00/2010.

Juwarkar A. A., Singh, S. K. & Mudhoo, A. 2010. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology: A Comprehensive overview of elements in bioremediation. Review. pp. 215-288.

Kivimäki, A.-L., Reinikainen, J., Tuominen, S., Nystén T., Eskola, P., Hjorth, S., Järvikivi, M., Sarkkila, J., & Heino, P. 2009. Suomen ympäristö 15/2009. Pohjaveden puhdistaminen

reaktiivisella seinämällä. ISSN 1796-1637 [verkkojulkaisu] Saatavissa:  
<https://helda.helsinki.fi/>. 29.1.2016.

Liu, Y., Mou, H., Chen, L., Mirza, Z.A. & Liu, L. 2015. Journal of Hazardous Materials: Cr(VI)-contaminated groundwater remediation with simulated permeable reactive barriers (PRB) filled with natural pyrite as reactive material: Environmental factors and effectiveness. Artikkel. Volume 298, November 05, pp. 83-90.

L 27.6.2014/527 Ympäristönsuojelulaki

Mak, M. S. H. & Lo, I. M. C. 2011. Environmental Science and Technology: Environmental life cycle assessments of permeable reactive barriers: Effects of construction methods, reactive materials and groundwater constituents. Artikkel. Volume 45, Issue 23, pp. 10148-10154.

Megdal, S. B., Gerlak, A. K., Varady, R. G. & Huang, L.-Y. 2015. Groundwater: Groundwater Governance in the United States: Common Priorities and Challenges. Artikkel. Volume 53, Issue 5, pp. 677-684.

Molfetta, A. D. & Sethi, R. 2006. Environmental Geology: Clamshell excavation of a permeable reactive barrier. Artikkel. Volume 56, pp. 361369.

Molnar, I. L., Johnson, W. P., Gerhard, J. I., Willson, C. S. & O'Carroll, D. M. 2015. Water Resources Research: Predicting colloid transport through saturated porous media: A critical review. Review. Volume 51, Issue 9, pp.6804-6845.

Movax Oy:n www-sivusto. <http://www.movax.com/fi/soil-drills-fi/>. 18.3.2016

(Movax tuotekatalogi. Movax Oy:n www-sivusto. <http://www.movax.com/wp-content/uploads/2015/06/Opt-Movax-Catalogue-2015-FI.pdf>. 18.3.2016)

Pyy, O., Haavisto, T., Niskala, K. & Silvola, M. 2013. Suomen ympäristökeskuksen raportteja. 27/2013. Pilaantuneet maa-alueet Suomessa – katsaus 2013. Helsinki. [verkkojulkaisu] Saatavissa <https://helda.helsinki.fi/syke>. 2.11.2015.

Reinikainen, J. 2003. Suomen ympäristökeskus: Reaktiiviset seinämät pohjaveden käsittelyssä. [verkkojulkaisu] Saatavissa <http://www.ymparisto.fi>. 17.11.2015.

Rodrigues S. M., Pereira, M. E., Ferreira da Silva, E., Hursthouse, A. S. & Duarte, A. C. 2009. Environmental International: A review of regulatory decisions for environmental protection: Part II – The case study of contaminated land management in Portugal. Review, pp. 214-225.

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2014. Kaivanto-opas. Helsinki 2014. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Swords, C. & Stange, J. 2006. Engineering Geology: Active containment system for a former industrial site in East London. Volume 85, Issues 1–2, pp. 204-211.

Thiruvengkatachari R., Vigneswaran, S. & Naidu, R. 2008. Journal of Industrial and Engineering Chemistry: Permeable reactive barrier for groundwater remediation. Volume 14, Issue 2. Artikkele, pp 145-156.

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu www-sivusto. <http://www.ymparisto.fi/>. 10.2.2016.

Ympäristölupapäätös No YS 1071/31.8.2007

Ympäristöministeriö. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta.

Ympäristöministeriön www-sivusto. <http://www.ymparisto.fi/>. 10.2.2016.



## LIITTEET

### Liite 1. Massanvaihdon laajennettu SWOT-analyysi.

#### Massanvaihto

	Vahvuudet	Heikkoudet
	<ul style="list-style-type: none"><li>- paljon kokemusta</li><li>- pilaantunut maa-aines saadaan poistettua kokonaan</li><li>- toimintavarma</li><li>- yksinkertaisuus</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- kaivetun pilaantuneen maan käsittely</li><li>- kuljetukset</li><li>- kallis</li><li>- jätemaksut</li><li>- altistuminen haitta-aineille</li><li>- uudelleenkäytön mahdollisuudet</li><li>- pilaantuneiden maiden läjittäminen vie tilaa</li><li>- ei tue kestäväää kehitystä</li><li>- tarvitaan paljon ulkopuolista energiaa</li><li>- ei poista haitta-aineita pohjavedestä</li></ul>
<b>Mahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- alueet, jotka tärkeällä pohjavesialueella</li><li>- myös muuta tavantomaista rakennustointaintaa</li><li>- soveltuu kaikille maa-lajeille</li></ul>	<b>Menestystekijät</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- nopea</li><li>- toimintavarma</li></ul>	<b>Heikkoudet vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- haitta-aineita ei jatkossa huuhtoudu pintamaista pohjavesiin</li><li>- Kunnostaminen lyhyellä aikavälillä nopeaa</li><li>- käsittelyn jälkeen maa-aineksen uudelleenkäyttömahdollisuudet</li></ul>
<b>Uhat</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- muut käsittelymenetelmät</li><li>- in-situ -menetelmät</li></ul>	<b>Uhat vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- käytön yleisyys</li></ul>	<b>Mahdolliset kriisitilanteet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- altistuminen haitta-aineille kunnostuksen yhteydessä</li><li>- jo pilaantuneen pohjaveden leviäminen laajemmalle</li><li>- kaivantojen sortumavaara</li></ul>

(Pyy et al. 2013; Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288).

## Liite 2. Suihkuinjektoinnin laajennettu SWOT-analyysi.

### Suihkuinjektointi

	<b>Vahvuudet</b>	<b>Heikkoudet</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vähäinen jätteen määrä</li> <li>- työntekijät eivät altistu haitta-aineille</li> <li>- voidaan käyttää erilaisia siideaineita</li> <li>- Työnaikainen häiriö ympäristölle vähäistä</li> <li>- voidaan toteuttaa jopa 100 m asti</li> <li>- kokemukset perinteisestä maanrakennuksesta</li> <li>- ei tarvita kaivantoja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kokemukset vielä vähäisiä</li> <li>- paljon epävarmuustekijöitä</li> <li>- melko kallis toteuttaa</li> <li>- pohjavesien puhdistuminen vie yleensä vuosia</li> <li>- lietemäisille reaktiivisille materiaaleille</li> </ul>
<b>Mahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- reaktiiviset seinämät</li> <li>- ohjausseinämät</li> <li>- haitta-aineiden eristäminen</li> </ul>	<b>Menestystekijät</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- voidaan toteuttaa erilaisissa kunnostushankkeissa</li> <li>- voidaan toteuttaa erilaisiin käyttötarkoituksiin</li> <li>- erittäin hankalat kohteet, joissa pilaantuneisuus hyvin syvällä</li> <li>- hyödynnetään kokemusta perinteisestä maanrakentamisesta</li> <li>- työn aikaiset ympäristövaiikutukset</li> </ul>	<b>Heikkoudet vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tehdään ensin pilot-hankkeita, lisää kokemusta, hankkeet jotka eivät tärkeällä pohjavesialueella</li> <li>- laboratorioskokeita</li> </ul>
<b>Uhat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- muut innovatiiviset ratkaisut</li> <li>- uusien teknologioiden kehittyminen</li> </ul>	<b>Uhat vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tuotekehitys</li> <li>- jo tunnetun tiedon soveltaminen kunnostushankkeisiin</li> </ul>	<b>Mahdolliset kriisitilanteet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- reaktiivisen materiaalin epäonnistunut saattaminen maaperään</li> </ul>

(Pyy et al. 2013; Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288; Burkalovs et al. 2012, 12-16).

### Liite 3. Syvästabiloinnin laajennettu SWOT-analyysi

#### Syvästabilointi

	<b>Vahvuudet</b>	<b>Heikkoudet</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ei kaatopaikkajätettä</li> <li>- ei ongelmajätettä</li> <li>- työntekijät eivät altistu haitta-aineille</li> <li>- Työnaikainen häiriö ympäristölle vähäistä</li> <li>- paljon kokemusta perinteisestä maanrakennuksesta</li> <li>- soveltuu pehmeille maille</li> <li>- edullinen</li> <li>- asennussyvyys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vähäiset kokemukset</li> <li>- eivät kaikissa käyttötarkoituksissa poista haitta-aineita</li> <li>- ei tue kestäväää kehitystä</li> <li>- lietemäisille materiaaleille</li> </ul>
<b>Mahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- reaktiiviset seinämät</li> <li>- ohjausseinämät</li> <li>- haitta-aineiden eristäminen</li> </ul>	<b>Menestystekijät</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nopea ja kustannustehokas</li> <li>- alueet, jotka eivät tärkeällä pohjavesialueella</li> <li>- eri toteutusvaihtoehtoja</li> <li>- edulliset ylläpitokustannukset</li> </ul>	<b>Heikkoudet vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alueet, jotka eivät ole tärkeillä pohjavesialueilla</li> <li>- Alueen kaavoitus esimerkiksi virkistysalueeksi, ei pysyvää asutusta.</li> <li>- Ei aiheuta merkittävää riskiä ympäristölle tai ihmisten terveydelle.</li> </ul>
<b>Uhat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- eristyksen vaurioituminen</li> </ul>	<b>Uhat vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- myös muissa menetelmissä epävarmuustekijöitä</li> <li>- aiempi kokemus hyväksi</li> </ul>	<b>Mahdolliset kriisitilanteet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- eristyksen vaurioitumisen seurauksena voi haitta-aineita päästä leviämään ympäröivään ympäristöön.</li> </ul>

(Holm 2005, 7-10; Pyy et al. 2013; Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288; Burkalovs et al. 2012, 12-16).

## Liite 4. Massastabiloinnin laajennettu SWOT-analyysi

### Massastabilointi

	<b>Vahvuudet</b>	<b>Heikkoudet</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- yleisesti pintamaiden käsittelyyn</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- haitta-aineita ei poisteta maaperästä</li><li>- ei tue kestävästä kehitystä</li></ul>
<b>Mahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- ei tärkeitä pohjavesialueet</li></ul>	<b>Menestystekijät</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- hankalat kohteet, joissa pelkkä massanvaihto ei riitä</li><li>- edulliset ylläpitokustannukset</li></ul>	<b>Heikkoudet vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- paljon kansainvälistä tutkimustietoa</li><li>- käytöstä hyviä kokemuksia eri puolilta maailmaa</li><li>- lietemäisille materiaaleille</li></ul>
<b>Uhat</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- muut paremmin tunnetut in-situ -menetelmät</li><li>- stabiloinnin epäonnistuminen</li></ul>	<b>Uhat vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- myös muihin menetelmiin liittyy epävarmuuksia</li></ul>	<b>Mahdolliset kriisitilanteet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- stabiloidun maa-aineksen vaurioituminen, jolloin haitta-aineet pääsevät liukenemaan ja leviämään</li></ul>

(Pyy et al. 2013; Cundy A.B. et al 2015, 283-291; Juwarkar et al 2010, 215-288; Burkalovs et al. 2012, ) 12-16.

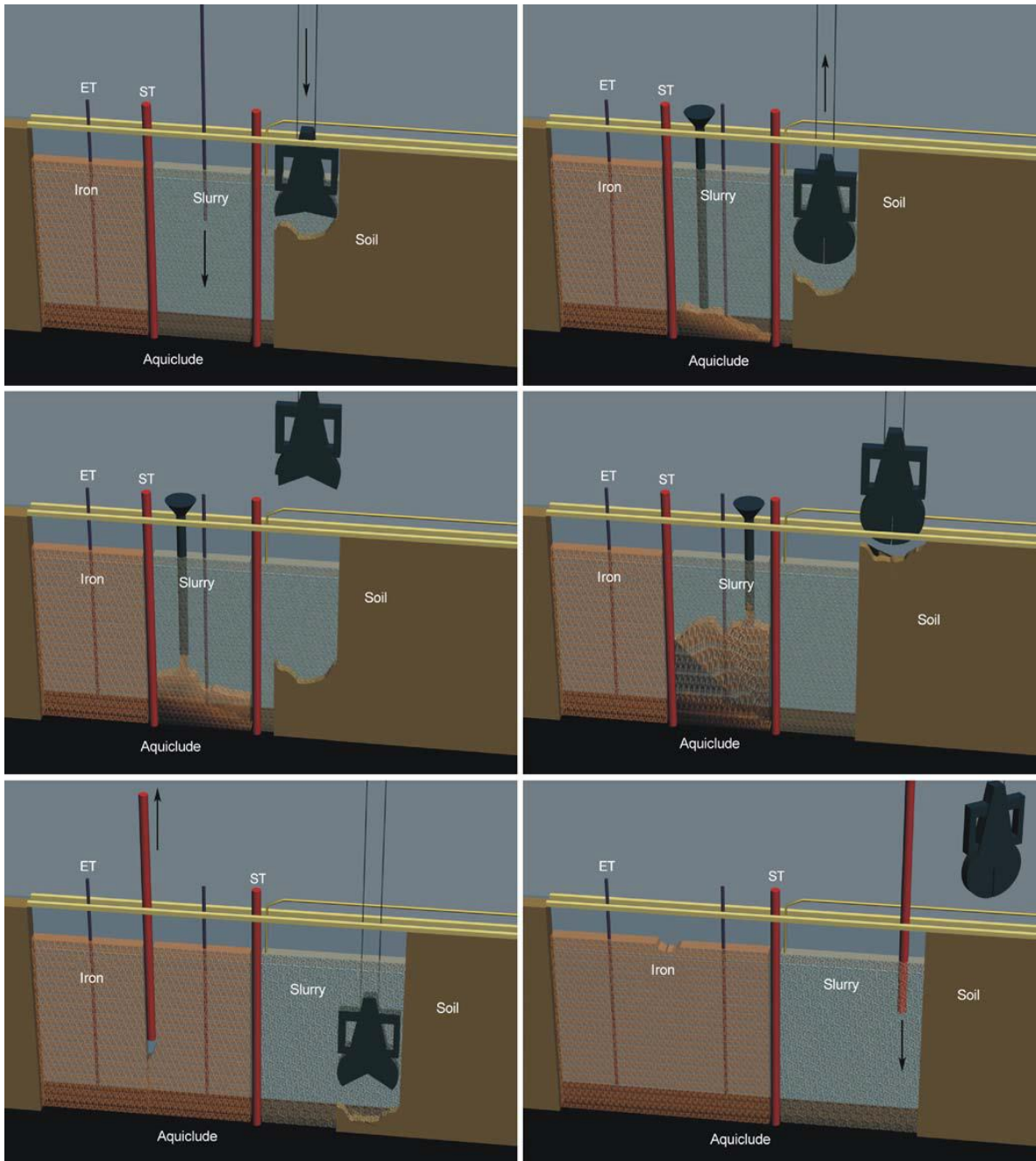
## Liite 5. Reaktiivisen seinämän laajennettu SWOT-analyysi.

### Reaktiiviset seinämät

	Vahvuudet	Heikkoudet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nopea asentaa</li> <li>- sopii biologiseen ja kemialliseen kunnostusmenetelmään</li> <li>- erityisesti pilaantuneen pohjaveden kunnostamiseen</li> <li>- ei asentamisen aikaista altistumista</li> <li>- ympäristöystävällinen</li> <li>- kustannustehokas</li> <li>- tarvitaan vähän ulkopuolista energiaa</li> <li>- orgaanisten ja epäorgaanisten haitta-aineiden poistaminen</li> <li>- luonnollinen</li> <li>- voidaan käyttää myös laajoilla alueilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kokemusten puute Suomessa</li> <li>- puhdistumistuloksen epävarmuus</li> <li>- pitkän aikavälin seuranta-vastuut</li> <li>- puhdistuminen pitkäaikaista maaperän oltava homogeeninen</li> <li>- ei sovellu välttämättä kaikille maalajeille</li> <li>- paras tulos vettä läpäisevässä hiekka-/sorakerroksessa</li> </ul>
<b>Mahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tärkeät pohjavesialueet</li> <li>- korkeat kunnostamisveloitteet</li> <li>- Voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä</li> <li>- Ei suuria kaivantoja</li> </ul>	<b>Menestystekijät</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hankalat kohteet, joissa pelkkä massanvaihto ei riitä</li> <li>- edulliset ylläpitokustannukset</li> <li>- ei rajoita juurikaan alueen muuta käyttöä</li> <li>- mahdolliset teräsponttiseinämät voidaan poistaa kunnostushankkeen päätyttyä</li> <li>- ei rajoita kohteen käyttömahdollisuuksia</li> <li>- voidaan soveltaa sekä lietemäisille että kiinteille reaktiivisille materiaaleille</li> </ul>	<b>Heikkoudet vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- paljon kansainvälistä tutkimustietoa</li> <li>- käytöstä hyviä kokemuksia eri puolilta maailmaa</li> <li>- lisää tutkimustietoa ja pilotitkohteita</li> </ul>
<b>Uhat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- muut paremmin tunnetut in-situ -menetelmät</li> <li>- seinämän asennuksen epäonnistuminen</li> </ul>	<b>Uhat vahvuuksiksi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- myös muihin menetelmiin liittyy epävarmuuksia</li> <li>- kokemusta perinteisestä maanrakennuksesta</li> <li>- voidaan soveltaa sekä lietemäisille että kiinteille materiaaleille</li> </ul>	<b>Mahdolliset kriisitilanteet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- asennuksen epäonnistuminen</li> </ul>

(Pyy et al. 2013; Mark & Lo. 2011, 10148-10154; Thiruvengkatachari et al. 2008, 145-156)

**Liite 6. Vaihtehtoinen reaktiivisen seinämän asennusmenetelmä.**



(Molfetta & Sethi 2006, 361-369)

## Liite 7. SG-65V ja SG-75V teknisiä ominaisuuksia.

### Tekniset tiedot

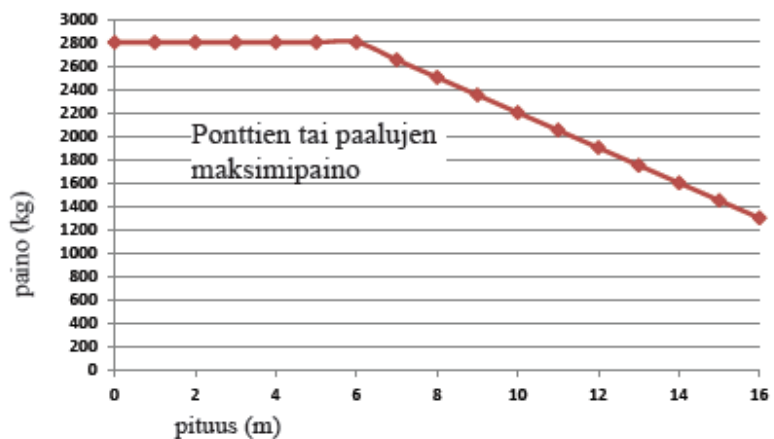


Malli	SG-65V	SG-75V
Paino ilman adapteria ponttileuonin (kg)	3448	
Korkeus (mm)	2560	
Syvyys (mm)	1115	
Leveys (mm)	1270	
Kaivinkonehuokka (tonnia)	28 - 32	33 - 40
Moottorin minimiteho (kW)	140	184
Max. paluupaine (bar)	5	
Paineasetus (bar)	350	
Tsajuuus (l/min)	2500 - 3000	
Epäkeskomomentti (kgm)	6.6	7.6
Keskipakoisvoima (kN)	650	750
Maatärinä	normaali	
Resonoimaton käynnistys ja pysäytys	on	
Menetelmä	vibra	
Pyöritys- / kallistuskulma (°)	360 / 30	

### Pontit tai paalut



Pontit	H-paalut	Putkipaalut
Leveys 400-1200 mm	H180-H500	<b>Putkileuat:</b> (sovitettu ponttileukoihin) Ø90 - Ø250 mm
“Syvyys” 265 mm		<b>Pienennysleuat:</b> (sovitettu modulaarisiin leukoihin) Ø193.7 - 610.0 mm
Pituus / paino 6m / 2800kg, 12m / 1900kg, 16m / 1300kg		



(Movax tuotekatalogi. Movax Oy:n www-sivusto)

## Liite 8. Maaporan teknisiä ominaisuuksia.

### Maaporat

#### TAD30-1 | TAD30-2



Movax maaporat ovat kaivinkoneasenteisia ja soveltuvat kaivinpaalujen tekemiseen sekä muihin maaporaustöihin. Maaporan tekniikka perustuu hydrauliseen teleskooppivarteeseen. TAD30-2 porassa on kaksi jaksoa ja TAD30-1 porassa yksi pitempi jakso.

Movax TAD soveltuu hyvin ahtaillekin työmailla ja sillä voi kurkottaa esteiden yli. Teleskooppirakenne pitää koneen matalana ja mahdollista työskentelyn työmailla, jossa korkeus on rajoitettu ja porausvyödydestä ei haluta tinkiä.



#### Tekniset tiedot

Malli	TAD30-1	TAD30-2
Paino ilman adapteria ja terää (kg)	3,500	3,200
Korkeus ilman terää (mm)	5,355	3,855
Syvyys (mm)		1,673
Leveys (mm)		1,013
Kaivinkoneluokka (tonnia)		24-35
Öljyn virtaus (l/min)		75-250
Max. paluupaine (bar)		5
Paineasetus (bar)		320
Reiän syvyys	9	10
Reiän halkaisija (mm)	400-1,200 *)	400-1,000 *)
Terän pyörimisnopeus (rpm)		11-74
Kallistuskulma (°)		± 30
Vääntömomentti (Nm)		30,000
Terän työntövoima (N)		15,000
Terän nostovoima (N)	60,000	30,000

\*) on sidoksissa maaperään ja varustukseen



(Maaporat. Movax Oy:n [www-sivusto](http://www.movax.fi))