



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SUORAINJEKTOINTIJÄRJESTELMÄN

KENTTÄPILOTOINTI

Jani Sjölund

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018

Energy and Environmental Engineering



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Energy and Environmental Engineering

SJÖLUND, JANI:
SUORAINJEKTOINTIJÄRJESTELMÄN KENTTÄPILOTOINTI

Opinnäytetyö 28 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Joulukuu 2018

Doranova Oy on kehittänyt yhteistyössä kairakoneen valmistajan kanssa DoAct® DIRECT-suorainjektointijärjestelmää. DoAct® DIRECT poikkeaa muista suorainjektointilaitteista siinä, että se on suunniteltu suomalaisiin kivisiin maaperiin ja sen kanssa voidaan injektoida kivisiin maihin vaihtamatta kairakärkeä kiveen osuttaessa. Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin järjestelmän ensimmäisen version ensimmäinen kenttäpilotointi. Laitteen käytöstä yritettiin saada tietoa ja mahdollisia parannusehdotuksia, joko laitteen rakenteeseen tai sen käyttämiseen kentällä.

Kenttäpilotti suunniteltiin ja suoritettiin kevään 2018 loppupuolella. Koeinjektioita suoritettiin kolme kappaletta, ja injektioaineen leviäminen pystyttiin todentamaan. Kokeen suorituksessa tuli vastaan muutamia ongelmia märän maaperän ja koeversion laitteen puutteiden takia.

Suurimpana ongelmana nähtiin jatkossa se, että injektioita aine nousee helposti pinnalle. Se täytyy ratkaista ennen laitteen käyttöä kunnostustyömailla. Opinnäytetyön kirjoittamisen aikaan järjestelmää oli käytetty kahdessa työkohteessa onnistuneesti ja hyvin tuloksin. Doranovan jatkuvan tuotekehityksen ansiosta järjestelmästä pyritään tekemään koko ajan kehittyneempiä ja kannattavampia versioita.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in energy and environmental engineering

SJÖLUND JANI

Field pilot of direct push injection system

Bachelor's thesis 28 pages, appendices 0 pages
December 2018

Doranova Oy has developed in cooperation with drilling rig manufacturer DoAct® DIRECT direct push injection system. DoAct® DIRECT differs from other direct push injection equipment in that it has been designed for rocky Finnish soils making it possible to inject into rocky soils without having to change the injection head when meeting rocks. In this thesis the first field test of the first version of the equipment was planned and executed. The goal was to collect as much data and knowledge about the usage of the system in the field as possible and try and improve it.

The field test was planned and executed in the spring of 2018. There were some problems in the execution caused by the wet soil and deficiencies in the prototype equipment used. Three injections were executed and the spreading of the injectant was observed.

It was discovered that the greatest problem to solve before the usage in the remediation sites is the surfacing of the injectant. As of writing this thesis the system has been used on two sites successfully and with good results. Doranovas continuous R&D is constantly making improvements on the system making it more efficient and economical.

Key words: soil remediation, direct push injection, in-situ

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Opinnäytetyön tausta	5
1.2	Opinnäytetyön laajuus ja tavoite.....	5
2	TEORIA	7
2.1	Maaperän kunnostus Suomessa	7
2.2	Suorainjektointimenetelmät maaperänkunnostuksessa.....	9
3	LAITTEISTON KÄYTÄNNÖN KOKEILUN SUUNNITTELU	12
3.1	Injektoitava aine.....	12
3.2	Koealueen suunnittelu.....	12
3.3	Injektiosuunnitelma	12
4	KÄYTÄNNÖN KOKEEN SUORITUS	15
4.1	Koealueen rakentaminen.....	15
4.2	Kokeen eteneminen.....	18
4.2.1	Yleistä	18
4.2.2	Injektioaineen valmistus.....	18
4.2.3	Injektoiden suorittaminen	19
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	26
5.1	Virheet ja ongelmat.....	26
5.2	Saadun tiedon hyöty.....	26
5.3	Yhteenvedo	27
	LÄHTEET.....	28

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Doranova Oy on suomalainen maaperän ja pohjaveden kunnostukseen sekä bio- ja kaatopaikkakaasuratkaisuihin erikoistunut yritys. Yritys työllistää 17 henkilöä ja sen liikevaihto on noin viisi miljoonaa euroa vuosittain. Viime vuosina yritys on panostanut huomattavasti tuotekehitykseen molempien toimialojen puolella. DoAct® tuoteperhe on sarja erilaisia patentoituja ratkaisuja maaperän ja pohjaveden kunnostukseen. DoAct® Direct (patent pending) on Doranova Oy:n yhteistyössä kairavaunuvalmistajan kanssa kehittämä suorainjektointi järjestelmä, joka sopii erityisen hyvin Suomen kiviseen maaperään. Kuvassa 1 on esitetty Doranova Oy:n kehittämä DoAct Core modulaarinen pohjaveden ja maaperän kunnostus laite.



KUVA 1. Doranova Oy:n kehittämän modulaarisen DoAct® Coren havainnekuva (Doranova 2015)

1.2 Opinnäytetyön laajuus ja tavoite

Tämän opinnäytetyön laajuudeksi on määritelty Doranova Oy:n kehittämän DoAct Direct suorainjektointi järjestelmän ensimmäinen kenttäpilotointi, jolla pilotoidaan laitteiston toimivuus. Tarkoituksena on myös varmistaa parametrejä laitteen käyttämisestä, tärkeimpinä injektoinnin nopeus (kuinka monta reikää päivässä), tarvittava kemikaalin syöttö-

paine ja onko sen säätelyllä vaikutusta sekä injektion vaikutusalue. Opinnäytetyössä käytetään jatkossa englannin kielistä termiä ROI (Radius of Influence) viittaamaan injektion vaikutus alueeseen eli kuinka kauas injektio pisteestä injektointava aine leviää.

2 TEORIA

2.1 Maaperän kunnostus Suomessa

Pilaantuneet maa-alueet ovat ongelma Suomessa ja maailmalla ja niihin kiinnitetään huomiota yhä enemmän. Suomessa oli vuonna 2013 arvioilta noin 23000 pilaantunutta maa-alueita. Kohteista noin viidennes sijaitsi luokitellulla pohjavesialueella, toinen viidennes asuinalueella ja noin joka kymmenes luonnonsuojelualueella. Vuosina 1986-2012 Suomessa on tehty noin 5000 maaperän kunnostuspäätöstä. Pääosin suomessa pilaantuneiden maiden kunnostus on toteutettu massanvaihdoilla eli pilaantunut maa-aines on kaivettu ylös ja kuljetettu muualle. Maa-ainesta on kaivettu ylös vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia vuosien 1986 ja 2012 välillä. Hyötykäyttö maa-aineksilla on ollut noin 70-80%. Pilaantuneita maa-aineksia käytettiin lähinnä vanhojen kaatopaikkojen peittämiseen ja uusien kaatopaikkojen rakenteisiin. (Pyy, Haavisto, Niskala & Silvola 2013)

Euroopan ympäristökeskuksen vuonna 2014 tekemän arvion mukaan Euroopassa on noin 2,5 miljoonaa potentiaalisesti pilaantunutta maa-alueita, joista todennäköisesti noin 340000 on pilaantuneita. Pilaantuneista maa-alueista noin kolmas osa on jo tunnistettu ja niistä noin 15% jo kunnostettu perinteisesti massanvaihdoilla. (EEA 2014)

Massanvaihto ei ole kestävä kehityksen kannalta järkevä vaihtoehto, sillä ongelma ei poistu vaan se vain siirretään muualle. Maaperän kuljettaminen vaatii myös huomattavia määriä energiaa. Siksi koko ajan kehittyvät in situ-menetelmät kasvavat suosiossa ja tehokkuudessa. In-situ menetelmillä tarkoitetaan metodeja, joissa pilaantunutta maa-ainesta ei siirretä muualle, vaan se kunnostetaan paikan päällä erilaisin metodein. Suomessa käytetyimmät in-situ menetelmät ovat huokoskaasukäsittely, eristys, biostimulaatio ja kemiallinen hapetus. (Lepikkö 2013)

Huokoskaasukäsittelyssä maaperään luodaan alipaine, jonka avulla maassa olevat haihtuvat haitta-aineet kerätään ja käsitellään. Huokoskaasukäsittelyä käytetään usein suojaamaan esim. rakennuksia, joiden alapuolella on pilaantumia. Biologisessa kunnostuksessa käytetään hyväksi maaperän omia mikrobeja, jotka hajottavat haitta-aineita ja käyttävät niitä energiana. Biologisessa kunnostuksessa mikrobien luontaista toimintaa pyritään te-

hostamaan lisäämällä ravinteita ja tekemällä olosuhteista mahdollisimman suotuisat mikrobitoiminnalle. Kemiallisessa hapetuksessa haitta-aineet hapetetaan vaarattomiksi maahan injektoitavien hapettimien kuten vetyperoksidi avulla. Eristyksessä pilaantumisen leviäminen estetään erilaisten seinämien kuten läpäisemättömien membraanien avulla. Pilaantumisen ympärille asennetaan membraani tai jokin muu aine, jonka läpi haitta-aineet eivät pääse leviämään. Ongelma ei poistu mutta siitä saadaan tehtyä vaaraton ympäristöalueelle. Kussakin kunnostusmenetelmässä on etunsa ja haittapuolensa. (Jaatinen 2018)

Pursialan alueella Mikkeliissä on toiminut saha vuosina 1953-1990, jonka ajoilta maaperään ja pohjaveteen on valunut kloorifenoleita ja dioksiineja. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2015) Alueella on kunnostettu maaperää ja pohjavettä vuodesta 2015 alkaen Doranova Oy:n toimesta lähinnä pohjavettä kierrättämällä ja hapettamalla. Kuvat 2 ja 3 ovat Doranova Oy:n suorittamista suorainjektioinnista Mikkelin pursialassa 6.8.-9.8.2018. Pursialassa suoritettiin biologisen kunnostuksen tehostamista injektioimalla hapetta luovuttavaa kemikaalia päästölähteelle. Injektioinnissa käytettiin uutta DoAct® Direct suorainjektointimenetelmää.



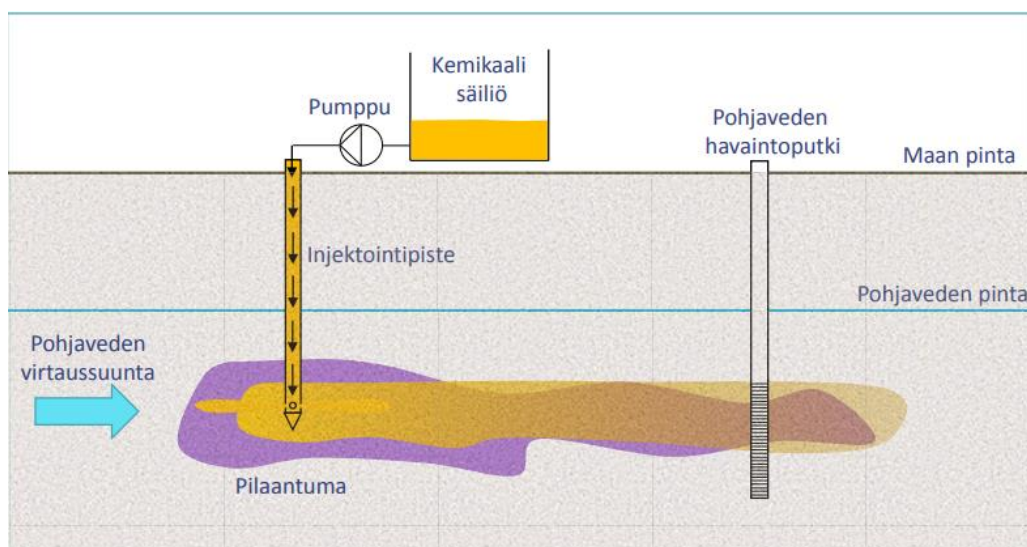
KUVA 2. DoAct® Direct injektiovaunu ulkoa (Mattila 2018)



KUVA 3. Mikkelin Pursialan alueella suoritettava kunnostus saharakennuksen sisällä (Mattila 2018)

2.2 Suorainjektointimenetelmät maaperänkunnostuksessa

DoAct® Direct on niin sanottu suorainjektointi järjestelmä. Suorainjektoinnin periaatteena on, että injektointi suoritetaan suoraan pilaantuneeseen maaperään suoraan oikealle syvyydelle (KUVA 4). (Myllymäki 2018)

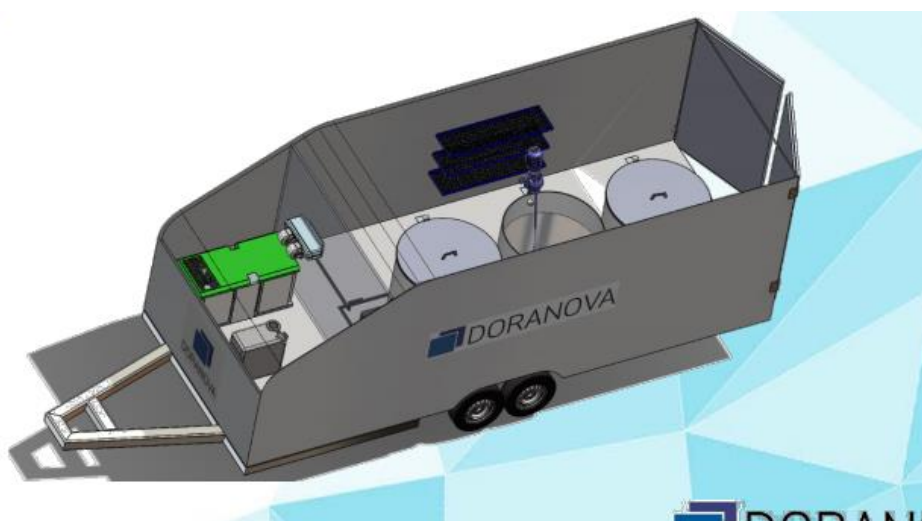


KUVA 4. Suorainjektoinnin periaatekuva (Myllymäki 2018)

Suorainjektointeja suoritetaan globaalisti paljonkin ja menetelmä on tuttu, mutta Suomen maaperässä se ei ole ollut taloudellisesti kannattavaa aikaisemmin. Suorainjektointi menetelmiä on voitu käyttää kivettömissä maaperissä, joissa kairakärki on voitu painaa maahan ilman ongelmia. Suomessa vastaavaa ei olla voitu tehdä, sillä Suomessa paljon esiintyvissä moreenimaissa kärkeä ei saada painettua halutuille syvyyksille kivisyyden vuoksi. Suomessa usein kunnostusta vaativissa vanhoissa teollisuuskiinteistöissä on täyttömaan joukossa paljon soraa ja betonia. (Myllymäki 2018)

Kustannusten nousu ja kiristynyt hintakilpailu on pakottanut suomalaiset maaperänkunnostuksiin erikoistuneet yritykset etsimään uusia ja innovatiivisia ratkaisuja sekä kunnostusmenetelmiä. Myös asiakkaiden tarve huomaamattomille ja vähän häiriötä aiheuttaville kunnostusratkaisulle on kasvanut. (Myllymäki 2018)

DoAct® Direct suorainjektointiyksikkö, joka koostuu kairakoneesta injektiojärjestelmästä sekä DoAct® Direct injektiovaunusta, ei kärsi samasta ongelmasta. Kairakone sisältää porakruunulla varustetun kaksoiskairaputken, jolla voidaan kairata kivistä läpi ja injektoida samalla putkella, nostamatta sitä välillä maasta ylös tai vaihtamatta sitä. Kairalla voidaan myös painaa kärki maahan poraamatta, jos maaperä sen sallii. Kairalaite on normaaleja perinteisiä suorainjektointi laitteita raskaampi mikä sallii injektoinnin syvemmälle kuin normaalisti. DoAct® Direct injektiovaunu koostuu yhdestä korkeapainepusta, (max paineen tuotto 100 bar) kahdesta sekoitus altaasta, sekoittimesta sekä aggregaatista, joka tekee vaunusta täysin omavaraisen. Kuva 5 havainnekuva DoAct® Direct injektiovaunusta. (Myllymäki 2018)



KUVA 5. DoAct® Direct suorainjektointivaunun havainnekuva (Myllymäki 2018)

Suorainjektointi toimii vaihtoehtona pohjaveden kierrättämiseksi. Pohjavettä kierrättäessä se imetään yleensä pumppauskaivosta ja injektoidaan takaisin maaperään muutamiin eri injektointi kaivoihin. Välissä pohjaveteen lisätään halutut kunnostuskemikaalit tai se suodatetaan suodatusmassan läpi (esim. aktiivihiili). Molemmista tekniikoista on etunsa ja haittansa, jotka näkyvät taulukossa 1. Yleisesti kunnostuskemikaaleina toimivat joko hapettimet kuten vetyperoksidi, jolloin tarkoitus on kemiallisesti hapettaa haitta-aineet tai vaihtoehtoisesti biologista toimintaa edistäviä kemikaaleja, jolla yritetään saada pohjaveden olosuhteet suotuisiksi. (Myllymäki 2018)

TAULUKKO 1. Eri injektiostrategioiden vertailu (Battelle Memorial Institute and NAVFAC Alternative Restoration Technology Team 2013, 29)

Injektio strategia	Edut	Haitat
Suorainjektointi	<ul style="list-style-type: none"> • Ei tarvitse kiinteitä asennuksia • Työvaihe on ohi huomattavan nopeasti 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei kannattavaa, jos tarvitaan useampia injektointi kertoja • Voi työntää haitta-aineita ja pohjavettä aikaisemman alueen ulkopuolelle • Ei sovellu savi ja siltti maihin
Pohjaveden kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> • Helpottaa pilaantumisen kontrollointia • Tehostaa kunnostuskemikaalien ja pohjaveden sekoittumista 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaatii kiinteitä asennuksia • Kestää yleensä kauemmin kuin suorainjektointi • Ei hirveän tehokas savi ja siltti maissa

3 LAITTEISTON KÄYTÄNNÖN KOKEILUN SUUNNITTELU

3.1 Injektoitava aine

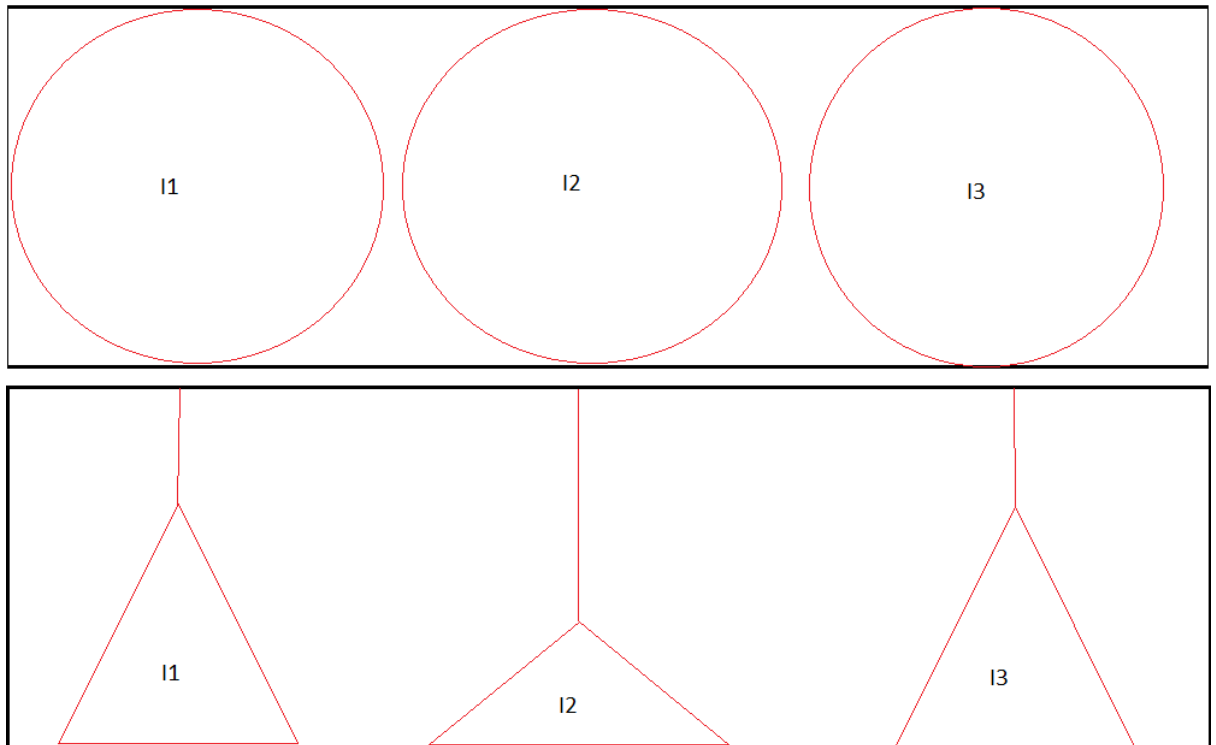
Injektioissa käytetään vettä, johon on sekoitettu amarantti elintarvikeväriä E123. Väriaine on biohajoava, joten se ei aiheuta ympäristölle haittaa. (Jadhav, Patil & Watharkar 2013) Jos väriaine ei näy maaperässä hyvin vaan imeytyy hiekkaan niin injektoitavaan aineeseen voidaan lisätä peruna tai vehnäjauhoja, jolloin syntyy suspensio, joka ei imeydy injektio alueeseen niin tehokkaasti vaan jää näkyviin.

3.2 Koealueen suunnittelu

Kenttätestin paikaksi valittiin käytännön syistä Doranova Oy:n kiinteistö. Kokeeseen päätettiin rakentaa erillinen koealue, koska alueen maaperän arveltiin olevan hyvin savista, jolloin kokeesta saatava data olisi todennäköisesti huonoa. Tontille kaivettiin 10 m x 3 m x 3 m (90 m³) kaivanto, johon kaadettiin noin 60 m³ hiekkaa pohjalle ja loppu kaivanto täytettiin kaivannosta kaivetulla maalla (savi). Koealueelle valittiin kyseiset dimensiot, sillä injektio halkaisijan oletetaan olevan noin kolme metriä, jolloin koealueelle mahtuisi kolme injektio pistettä kerralla.

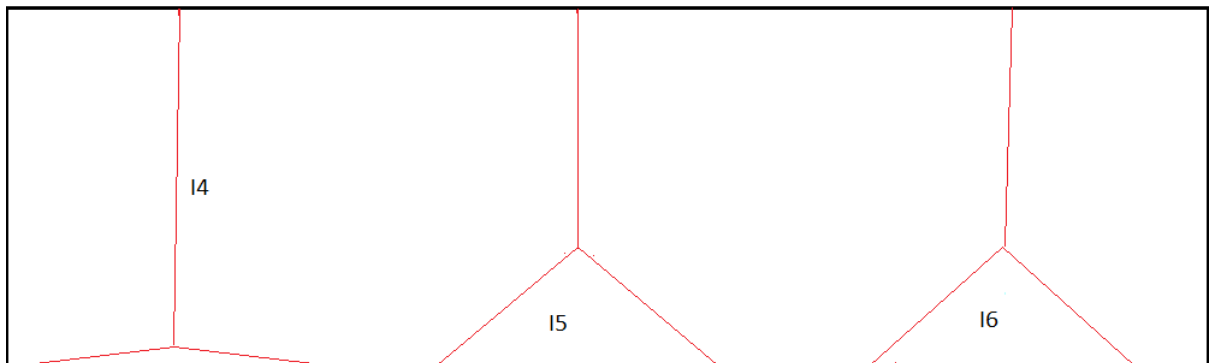
3.3 Injektiosuunnitelma

Ensimmäiset kolme injektiota suoritettiin testialueelle kuvan 6 mukaisiin paikkoihin. Injektio syvyydet ovat 1 m, 2 m ja 1 m. Injektioissa yksi ja kaksi käytetään 2 bar painetta ja injektiossa kolme 10 bar painetta ja kuhunkin injektioon käytetään noin 300 l injektoitavaa ainetta. Injektoiden jälkeen alusta kaivetaan auki kerros kerrokselta päältä päin.



KUVA 6. Injektiosuunnitelma injektioille 1-3 (Sjölund 2018)

Ensimmäisen kolmen injektioon jälkeen injektio alueen maa-aines sekoitetaan, jolloin oletettavasti hiekka ja savi sekoittuvat ja aikaisempi injektioväri laimenee niin paljon, että samalle alueelle voidaan tehdä lisäinjektioita.



Kuva 7. Injektiosuunnitelma injektioille 4-6 (Sjölund 2018)

Injektiot neljä, viisi ja kuusi tehdään uudelleen sekoitetulle injektioalueelle kuvan 7 mukaisesti. Injektiossa neljä käytetään 20 bar painetta ja yritetään nähdä, kuinka hyvin injektioitava aine leviää vaakasuoraan, kun vastassa on huonosti läpäisevä kerros. Injektiossa viisi painetta käytetään 20 bar ja Injektiossa kuusi 40 bar jos edelliset injektioit eivät ole aiheuttaneet injektioitavan aineen pinnalle pulppuamista. Jokaisessa injektiossa injektoidaan noin 300 l nestettä.

Injektioiden neljä, viisi ja kuusi jälkeen kaivanto avataan ja injektiojäljet katsotaan. Tämän jälkeen ajan puitteissa kaivanto peitetään jälleen (vain osittain, jos mahdollista) ja injektioita kokeillaan neljään metriin, joka on todennäköisesti pohjavesi kerroksen alapuolella. Injektio seitsemän tehtäisiin paineella, joka on parhaaksi todettu kuuden ensimmäisen injektion jälkeen, todennäköisesti välillä 5-20 bar. Ajan puitteissa Injektioita suoritettaisiin vielä pelkkään saveen muutamia kappaleita korkeilla paineilla, jotta injektoidavan aineen leviäminen vettä johtamattomissa kerroksissa nähtäisiin.

Koeinjektioinneilla pyritään mittaamaan lähinnä Injektoidavan aineen leviämisen laajuus vaakasuoraan (ROI) sekä korkeus, jolla ROI on maksimissaan. Injektoidavan aineen leviäminen pohjavesikerroksen alapuolella olisi myös hyvä todentaa ajan puitteissa.



KUVA 8. Injektio pisteiden sijainti injektio kaivannossa (Sjölund 2018)

4 KÄYTÄNNÖN KOKEEN SUORITUS

4.1 Koealueen rakentaminen

Koealueen maanrakennustöitä suoritti paikallinen kaivuu-urakoitsija ja työn suorittamista valvoi opinnäytetyön tekijä. Suunniteltu kaivantoalue merkattiin kulmista merkki paaluin ja rajat vedettiin merkkauksmaalilla näkyviin kaivuutyön helpottamiseksi. Kaivuutyön kuussa huomioitiin, että maaperä oli savista kuten oli odotettu.



KUVA 9. Kaivuutyön aloitus (Sjölund 2018)

Noin kolmessa metrissä maapinnan alapuolella vastaan tuli kivipeti mahdollisesti peruskallio sekä mahdollinen pohjavesikerros, kivipedistä ei kaivettu alaspäin vaan sitä käytettiin rajana kaivuutyössä.

Noin puolessa välissä kaivantoa sijaitsee iso kivi (kuva 10) jota ei saatu nousemaan ylös, joten se jätettiin paikoilleen.



KUVA 10. Avattu kaivanto, jossa kivi keskellä reunassa (Sjölund 2018)

Kun kaivanto oli valmis se täytettiin hiekalla (kuva 11), jota tiivistettiin mahdollisimman luonnollisen hiekkapedin aikaansaamiseksi. Kun kaikki hiekka oli ajettu kaivantoon ja pinta tasoitettu (kuva 12) loppu kaivanto täytettiin savella, joka kaivannosta oli poistettu. Näin ollen koalueelle tuli noin metrin paksuinen savikerros, jonka alla on noin kaksi metriä paksu hiekkakerros.



KUVA 11. Kaivannon täyttäminen hiekalla (Sjölund 2018)



KUVA 12. Kaivannon hiekkapedin tiivistys ja tasaus (Sjölund 2018)

4.2 Kokeen eteneminen

4.2.1 Yleistä

Injektiot suoritettiin 7.5.2018 ja paikalla olivat kolme henkilöä kairavalmistajalta sekä Jani Sjölund ja Mikko Myllymäki Doranova Oy:stä. Injektiolaitteena käytettiin kairavalmistajan kairakonetta ilman suunniteltua injektiovaunua, joka ei ollut vielä valmistunut. Injektiossa meni noin kahdeksan tuntia, jonka jälkeen alueen siistimiseen meni vielä noin tunti.

4.2.2 Injektioaineen valmistus

Injektoitava aine valmistettiin injektiokärryn puuttuessa tyhjään IBC-säiliöön. Säiliöön lisättiin noin 900 l vettä, johon sekoitettiin noin 100 g väriainetta. Seoksesta tuli kirkkaan punainen mutta ongelmaksi muodostui sen imeytyminen maaperään jolloin väriaine ei jäänyt näkyviin. Ongelman ratkaisemiseksi seokseen lisättiin 12 kg perunajauhoja ja 20 kg vehnäjauhoja. Säiliöön laitettiin pumppu, joka kierrätti vettä, etteivät jauhot laskeneet pohjalle. Jauhojen sekoituttua injektio aine näkyi hiekalla hyvin (kuva 13). Koska injektiovaunua ei ollut käytettävissä IBC-säiliö laitettiin hieman korkeammalle kuin missä injektioinnit suoritettiin, jotta injektioaine valuisi painovoimaisesti injektioairan pumpulle.



KUVA 13. Injektioaineen näkyvyys hiekalla (Sjölund 2018)

4.2.3 Injektioiden suorittaminen

Injektioita lähdettiin toteuttamaan suunnitellusti noin yhden metrin syvyyteen. Ainetta injektioitiin vain 50 l, sillä injektioainetta alkoi oikovirtaamaan maanpinnalle injektio-
teen läheisyydestä (kuva 14).



KUVA 14. Ensimmäisen injektion jäljet maan päällä (Sjölund 2018)

Kaivanto päätettiin avata jo ensimmäisen injektion jälkeen injektioai-
neen näkyvyyden todentamiseksi. Kaivannosta huomattiin, että väriaine ei ollut levinnyt
savikerroksessa juuri lainkaan lukuun ottamatta pieniä halkeamia savikerroksessa (kuva
15).



KUVA 15. Keskellä injektioireikä ja kuvan yläosassa hieman väriainetta näkyvissä (Sjölund 2018)

Koska ensimmäisessä injektiossa injektioaineen pinnalle nouseminen tapahtui melkein heti eikä väriainetta löytynyt savikerroksen alapuolella (kuva 16) on oletettavaa, että injektio korkeus ei yltänyt savi kerroksen alapuolelle vaan jäi hieman savikerroksen sisään.



KUVA 16. Injektio kohta 1 heti savikerroksen alapuolella (Sjölund 2018)

Tällöin injektoitava aine ei lähtenyt leviämään huonosti vettä johtavassa kerroksessa vaan nousi pinnalle.

Toinen injektio tehtiin suunnitellusti kahden metrin syvyyteen, mutta väriainetta injektoitiin vain 100 l joista 50 l injektoitiin 5 bar paineella ja 50 l 8 bar paineella. Injektio päätettiin tehdä suunniteltua pienemmällä injektiomäärällä koska väriainetta alkoi oikovirtaamaan pinnalle injektio pisteen läheisyydestä ja kairakoneen alta.



KUVA 17. Toisen injektio pisteen avaus (Sjölund 2018)

Kaivanto päätettiin avata ja tulokset dokumentoida. Kaivantoa avattaessa ongelmaksi muodostui märkä savi, joka valui kaivannon reunoilta kaivantoon (kuva 17) ja näin vaikeutti kaivuutyötä huomattavasti. Avatusta kaivannosta saattoi huomata väriaineen levinnein paikoin noin metrin säteelle injektio pisteestä, tarkkoja mittoja ei ollut mahdollista ottaa turvallisuussyistä. Kaivanto jätettiin auki seuraavan injektion leviämisen tarkkailun

helpottamiseksi. Ajan uhatessa loppua kesken kaikki loppu väriaine (600 l) päätettiin injektoida kolmanteen pisteeseen. Kolmatta injektointia alettiin injektoida kolmen metrin syvyyteen, josta sitä nostettiin vähitellen noin 5 cm/min samalla pyörittäen. Noin 300 l injektoinnin jälkeen väriainetta alkoi nousemaan pinnalle noin kahden metrin päästä injektio pisteestä (kuva 18). Injektoinnin paine oli noin 8-10 bar.



KUVA 18. Väriaine nousee pinnalle muutaman metrin päästä kairakoneesta. (Sjölund 2018)

Kun kaikki 600 l injektoitavaa ainetta oli injektoitu, kaivantoa alettiin avaamaan kerros kerrokselta väriaineen leviämisen todentamiseksi. Taas ongelmaksi muodostui märkä maaperä, joka valui kaivantoon sekoittaen aluetta ja tehden väriaineen huomioimisen vaikeammaksi. Kaivannosta pystyttiin kumminkin todentamaan väriainetta maksimissaan

noin kolmen metrin päässä injektio pisteestä ja koko kaivannon syvyydeltä (Kuvat 19, 20 ja 21).



KUVA 19. Väriainetta injektio pisteen läheisyydessä kahden metrin syvyydessä (Sjölund 2018)



KUVA 20. Väriainetta kaivannon reunoilla hieman alle kahden metrin syvyydessä. (Sjölund 2018)



KUVA 21. Väriainetta kaivannon pohjalla noin kolmessa metrissä. (Sjölund 2018)

Injektioiden suorituksen jälkeen injektioakaira ja putket huuhdeltiin puhtaalla vedellä. Kaivanto peitettiin siitä poistetulla maa-aineksella ja ylimääräinen maa-aines levitettiin ton-
tille tasaisesti.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

5.1 Virheet ja ongelmat

Suunnitteluvaiheen ongelmana oli tiedon puute laitteen toiminnasta, jolloin tilan ja ajan tarpeen arviointi oli erittäin hankalaa ja jouduttiin käyttämään omia oletuksia siitä, miten laitteen tulisi toimia. Suunnitelluista kuudesta (mahdollisesti useammasta) injektoinnista pystyttiin suorittamaan vain kolme ja nekin eri syvyyksille ja paineilla kuin mitä oli suunniteltu. Ongelmana oli injektiokärryn puute, jolloin käytettävä pumppu oli kairalaitteen oma pumppu, jonka tehoa ei tiedetty etukäteen.

Koeluetta rakentaessa maaperä oli erittäin kuivaa, jolloin kaivantoon saatiin melkein suorat seinämät ja maan vajoamista kaivantoon sen reunoilta ei tapahtunut. Koetilannetta itseään oli edeltänyt muutama sateinen päivä, jonka seurauksena kaivantoa avattaessa märkä maaperä valui kaivantoon sen reunoilta. Maaperän valuminen kaivantoon aiheutti ongelmia väriaineen tunnistamisessa kaivannosta koska kaivantoa ei saatu avattua niin siististi kuin oli suunniteltu.

5.2 Saadun tiedon hyöty

Kenttäkokeesta saatiin kerättyä jonkin verran tietoa laitteen toiminnasta ja kentällä mahdollisesti huomiota vaativista asioista. Kokeella saatiin todennettua laitteen jonkinlainen toimivuus ja injektoitavan aineen leviäminen ainakin hiekkamatriisissa. Erilaisia paineita ja virtaamia ei pystytty kokeilemaan pumpun yksinkertaisuuden vuoksi. Huomion arvoisia asioita oli muun muassa injektoitavan aineen pinnalle nousemisen helppous, jota täytyy pyrkiä estämään oikeissa kohteissa hapettimia tai muita aineita injektoitaessa.

Kaikkein hyödyllisin koe oli kairavalmistajalle, joka sai paljon hyödyllistä tietoa itse kairan käytöstä ja monta parannus ideaa putkien käyttöön ja kärjen muotoiluun. Pilotin perusteella on vaikea arvioida, mutta vaikuttaisi että injektointi nopeus on jonkin verran hitaampaa kuin alun perin arvioitu/toivottu.

5.3 Yhteenveto

Koeinjektiot eivät menneet suunnitelmien mukaan määstä maaperästä ja laitepuut- teista johtuen, mutta siitä huolimatta injektioinneista saatiin tietoa, jota pystytään hyödyn- tämään tulevaisuudessa. Injektioinnin säde oli parhaimmillaan hiekkamatriisissa noin kolme metriä ja injektioitava aine levisi myös pystysuunnassa hyvin nousten usein myös maanpinnalle. Injektoitavan aineen maanpinnalle nousemisen huomioitiin olevan ehkä suurin ongelma/riski, jonka estämiseen täytyy kehittää ratkaisuja ennen menetelmän käyt- tää kunnostustyömailla. Yhteenveto pilotin tuloksista on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Yhteenveto injektioista.

Injektio	Maamatriisi	Injektio määrä	Syöttö- paine	Injektion säde	Leviämä pystysuun- nassa
1	Savi/hiekka	50 l	8 bar	-	1 m
2	Hiekka	100 l	8 bar	1 m	2 m
3	Hiekka	600 l	8-10 bar	3 m	2,5 m

Opinnäytetyön kirjoituksen hetkellä menetelmää on käytetty kahdessa työkohteessa on- nistuneesti ja hyvin tuloksin. Toinen kohteista on vanhan huoltoaseman tontilta levinneen pilaantumun kunnostuksen pilotointi. Pilottialueen MTBE-pitoisuuksia saatiin laskettua kemiallisella hapetuksella 217 µg/l:n tasosta alle 0,2 µg/l:n määritysrajojen. Muutos ta- pahtui alle viikossa. Toisessa kohteessa alueen maaperä ja pohjavesi on kloorifenoleilla pilaantunutta vanhasta sahatoiminnasta johtuen. Saharakennuksen sisälle, noin viiden metrin syvyyteen, injektioitiin hitaasti happea luovuttavaa kemikaalia tehostamaan mik- robi toimintaa.

LÄHTEET

Battelle Memorial Institute and NAVFAC Alternative Restoration Technology Team, 2013, Best practices for injections and distribution of amendments, Port Hueneme, California 93043-4370, sivu 29, luettu 14.6.2018 (<https://clu-in.org/download/techfocus/chemox/Inject-amend-tr-navfac-exwc-ev-1303.pdf>)

EEA, 2014, progress in management of contaminated sites, luettu 25.8.2018 (<https://www.eea.europa.eu/highlights/soil-contamination-widespread-in-europe>.)

Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2015, ESAELY/1671/2014

Jaatinen Sanna (Tkt), Doranova Oy:n Asiantuntija ympäristöbiotekniikka Maaperän ja pohjaveden kunnostus, Keskustelu 10.4.2018 Vesilahdella.

Jadhav, S.B., Patil, N.S., Watharkar, A.D. et al. Environ Sci Pollut Res 2013 20: 2854. (<https://doi.org/10.1007/s11356-012-1155-y>)

Lepikkö, 2013, Pilaantuneiden alueiden in situ- kunnostus Suomessa, Lahdentiedepäivät 12.11.2013. Helsingin yliopisto, koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenia, luettu 2.7.2018 (http://www.lahdenyliopistokampus.fi/easydata/customers/lahdenyliopistokeskus/files/lahden_tiedepaiva/lahden_tiedepaiva_2013/esitykset_2013/lepikko.pdf)

Myllymäki, 2018, Uudentyyppisen suorainjektointilaitteen (DoAct® DIRECT) kehitys ja laitteen käyttö maaperäkunnostuksissa, Mutku-päivät 14.3.2018. (https://asiakas.kotisivukone.com/files/mutku.kotisivukone.com/tiedostot/Mutku_paivat_2018/9-10._Mikko_Myllymaki.pdf)

Myllymäki Mikko (MSc), Doranova Oy:n Tutkimuspäällikö, keskustelu 4.7.2018, Janakkala

Pyy, Haavisto, Niskala ja Silvola, 2013, Pilaantuneet maa-alueet Suomessa, SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 27 | 2013, Helsinki, luettu 20.9.2018 (<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/41048>)